

# **ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ: СПРАВОЧНИК**

Под редакцией  
**В.Н. Волковой и А.А. Емельянова**

Рекомендовано  
Учебно-методическим объединением  
по образованию в области прикладной информатики  
в качестве учебного пособия для студентов вузов,  
обучающихся по специальности  
“Прикладная информатика (по областям)”

*ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ*



**ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА  
МОСКВА  
2021**

УДК 005.7:004(035)  
ББК 65.291.21в631я2  
Т33

**АВТОРЫ:**

**В.А. Баринов, Л.С. Болотова, В.Н. Волкова, А.А. Денисов,  
В.А. Дуболазов, А.А. Емельянов, А.В. Катаев, Б.И. Кузин,  
В.А. Кузьменков, В.Е. Ланкин, Ю.И. Лыпарь, В.Д. Ногин,  
Л.К. Птицына, М.И. Старовойтова, В.Б. Ступак,  
А.В. Татарова, А.В. Федотов, В.В. Ходырев,  
Г.П. Чудесова, С.В. Широкова, В.Н. Юрьев**

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Кафедра экономической кибернетики  
и экономико-математических методов  
Санкт-Петербургского государственного  
университета экономики и финансов;**

**Г.Н. Хубаев,**

доктор экономических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Информационные системы»  
Ростовской государственной экономической академии

**Теория систем и системный анализ в управлении орга-**  
Т33 низациями: Справочник: учеб. пособие / под ред. В.Н. Вол-  
ковой и А.А. Емельянова. — Эл. изд. — 1 файл pdf: 847 с. —  
М.: Финансы и статистика, 2021. — Текст: электронный.

ISBN 978-5-00184-041-1

Приводится краткая характеристика основных понятий и терминов, рас-  
крываются закономерности теории систем, описываются методы и модели сис-  
темного анализа, применяемые для моделирования организационных социаль-  
но-экономических систем.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Прикладная ин-  
форматика (по областям)» и по другим экономическим специальностям, свя-  
занным с управлением социально-экономическими системами, а также для  
аспирантов, докторантов и преподавателей соответствующих дисциплин.

УДК 005.7:004(035)  
ББК 65.291.21в631я2

© Коллектив авторов, 2006, 2009,  
2012, 2021  
© ООО «Издательство «Финансы  
и статистика», 2021

ISBN 978-5-00184-041-1

# ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Теория систем и системный анализ – дисциплины, введенные в учебные планы различных специальностей (экономических, технических, социальных) около 20 лет назад. Эти дисциплины охватывают широкий спектр разнородных проблем – от анализа экономических ситуаций до разработки методик и моделей управления предприятиями и организациями, требуя от студентов знания специальной терминологии.

В связи с тем что теория систем и развившиеся на ее основе прикладные направления – относительно новые научные направления, имеющиеся учебники и учебные пособия по этой тематике ориентированы в большинстве своем на конкретные специальности, и нередко вводимые в них понятия и определения базируются на терминологии предшествовавших теории систем междисциплинарных направлений – кибернетики, исследования операций, теории принятия решений. В то же время при подготовке специалистов целесообразно иметь основное ядро общепризнанных в этой области понятий, а для этого нужно не только знакомить студентов, аспирантов и исследователей с различными точками зрения, неизбежными в развивающемся научном направлении, но и давать их в сопоставлении, так как сравнительный анализ способствует выбору эффективных методов и средств системного исследования, в большей мере соответствующих конкретным экономическим специальностям.

Особенно востребованы в настоящее время теория систем и системный анализ при управлении предприятиями и организациями.

Последнюю в широком смысле определяют как свойство систем обнаруживать взаимосвязанное поведение частей системы в рамках целого. Управление организацией – сложная проблема, требующая участия специалистов различных областей знаний. По мере усложнения производственных процессов и развития наукоемких технологий появились проблемы с большой начальной неопределенностью проблемной ситуации. В таких задачах все большее место стал занимать собственно процесс постановки задачи,

возросла роль лица, принимающего решение (ЛПР), в выборе экономико-математических методов, роль человека как носителя системы ценностей, критериев принятия решения, целостного восприятия, сохранения целостности при расчленении проблемы для облегчения ее решения.

С целью решения таких задач вначале стали разрабатывать новые разделы математики; оформилась в качестве самостоятельной прикладная математика, приближающая математические методы к практическим задачам; возникло понятие, а затем и направление «принятие решений», которое постановку задачи признает равноценным этапом ее решения.

В ходе решения подобных комплексных проблем широко используются понятия «система», «системный подход», «системный анализ». На определенной стадии развития научного знания теории систем оформилась в самостоятельную науку. В 30-е гг. XX в. возникла теория открытых систем Л. фон Берталанфи, имеющая большое значение для управления социально-экономическими объектами. Важный вклад в становление системных представлений внес в начале XX в. А.А. Богданов, предложивший всеобщую организационную науку – тектологию.

Обобщающие, междисциплинарные научные направления, занимающиеся исследованием сложных систем и носящие различные наименования, исторически иногда возникали параллельно, на разной прикладной или теоретической основе. Поэтому появилась потребность в упорядочении понятий и терминов, используемых при проведении системных исследований.

Теория систем изучает общие законы функционирования систем, классификации систем и их роль в выборе методов моделирования конкретных социально-экономических объектов.

Потребности практики почти одновременно со становлением теории систем привели к возникновению направления, названного исследованием операций. В 60-е гг. XX в. широкое распространение получили термины «системотехника», «системный подход», «системология», применительно к задачам управления – термин «кибернетика», которые в последующем стали объединять термином «системные исследования». Возник ряд родственных направлений – «имитационное моделирование», «ситуационное управление», «структурно-лингвистическое моделирование», «информационный подход» и др.

Наиболее конструктивным из направлений системных исследований в настоящее время считается системный анализ, занимающийся применением методов и моделей теории систем для практических ее приложений к задачам управления организацией.

Термин «системный анализ» используется в публикациях неоднозначно. В начальный период возникновения термина и в последнее время распространено его использование в смысле комплексного, системного подхода к решению многокритериальных задач.

С точки зрения представителей школы, подготовивших данный справочник, термин «системный анализ» используется для названия дисциплины, представляющей собой прикладное направление теории систем. В соответствии с этим для решения проблемы или задачи необходимо разрабатывать методику проведения системного исследования, организации процесса принятия решения, выбирать подходы к выполнению этапов методики в конкретных условиях. Важная функция системного анализа – работа с целями, организация процесса целеобразования, т.е. исследование факторов, влияющих на цель, формулирование, структуризация или декомпозиция обобщающей цели. При этом разработка методики и выбор методов и приемов выполнения ее этапов базируются на использовании понятий и закономерностей теории систем.

В подготовке специалистов по новым развивающимся направлениям всегда большую роль играет специальная справочная литература, которая помогает вырабатывать более четкое представление об основном терминологическом аппарате дисциплин.

В представляемом справочнике дается краткая характеристика основных понятий, закономерностей теории систем, методик и моделей системного анализа и родственных направлений. В книгу включена также характеристика основных экономико-математических методов, которые на основе использования методологии системного подхода позволяют разрабатывать формальные модели принятия решений.

Понятия отобраны с учетом их использования для управления организациями. Включена также краткая характеристика смежных направлений. Приводятся разные точки зрения со ссылками на соответствующие публикации. Связи между понятиями обеспечиваются ссылками в форме выделения понятия курсивом и с пометкой «(см.)».

Данное учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности «Прикладная информатика (по

областям)». Оно будет также полезно студентам, аспирантам и преподавателям других экономических специальностей, связанных с управлением социально-экономическими системами.

Пособие подготовлено коллективом авторов вузов Москвы, Санкт-Петербурга и других городов в результате многолетнего обсуждения проблем теории систем и системного анализа на совместных конференциях «Системный анализ в проектировании и управлении», проводимых на базе Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ) с 1994 г., на заседаниях постоянно действующего семинара «Системный анализ и его применение» (созданного в 1973 г. при Всесоюзном научно-техническом обществе радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова и работающего с 1980 г. в Ленинграде – Санкт-Петербурге при Доме ученых РАН им. М. Горького), а также на семинарах, проводимых в последние годы на базе Московского государственного университета экономики, статистики и информатики (МЭСИ).

В пособие включен ряд примеров применения методов и моделей системного анализа, подготовленных студентами и аспирантами в процессе выполнения ими научно-исследовательских работ.

Учитывая специфику системного подхода и назначение данного учебного пособия, справочник начинается с характеристики основных положений теории систем и системного анализа, что поможет учащимся ориентироваться в поиске понятий, требуемых для решения конкретных прикладных задач управления организацией.

Авторы выражают большую благодарность за предложения и замечания, способствовавшие улучшению учебного пособия, рецензентам – заведующему кафедрой экономической кибернетики и экономико-математических методов Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов, доктору экономических наук, профессору, действительному члену Международной академии наук высшей школы Дмитрию Викторовичу Соколову и заведующему кафедрой «Информационные системы» Ростовской государственной экономической академии, доктору экономических наук, профессору Георгию Николаевичу Хубаеву.

***В.Н. Волкова  
А.А. Емельянов***

# ВВЕДЕНИЕ

## Основные положения теории систем и системного анализа

---

**Возникновение теории систем и системного анализа и их место среди других научных направлений.** Развитие научного знания и его приложений к практической деятельности в XVIII – XIX вв. привело к возрастающей дифференциации научных и прикладных направлений. Возникло много специальных дисциплин, которые часто используют сходные формальные методы, но настолько преломляют их с учетом потребностей конкретных приложений, что специалисты, работающие в разных прикладных областях (так называемые «узкие специалисты»), перестают понимать друг друга. В то же время в конце XIX в. стало резко нарастать число комплексных проектов и проблем, требующих участия специалистов различных областей знаний.

Усложнилось управление экономикой стран и отдельных предприятий и организаций. Появилась потребность в специалистах «широкого профиля», обладающих знаниями не только в своей области, но и в смежных областях и умеющих эти знания обобщать, использовать аналогии, формировать комплексные модели. Понятие системы, ранее употреблявшееся в обыденном смысле, превратилось в специальную общенаучную категорию, начали появляться обобщающие научные направления, которые исторически возникали параллельно на разной прикладной или теоретической основе и носили различные наименования.

Роль интеграции наук, организации взаимосвязей и взаимодействия между различными научными направлениями во все времена выполняла философия – наука наук, которая одновременно являлась и источником возникновения ряда научных направлений. Так, и в 30-е гг. XX в. философия явилась источником возникновения обобщающего направления, названного *теорией систем*\*.

---

\* Выделенные во Введении курсивом термины представлены в словарных статьях раздела «Термины и понятия».

Л. фон Берталанфи [1], считающийся основоположником этого направления, хотя и является биологом по основной профессии, но первый доклад о своей новой концепции сделал на философском семинаре, пользуясь в качестве исходных понятий терминологией философии.

Отметим, что важный вклад в становление системных представлений внес в начале XIX в. (еще до Л. фон Берталанфи) наш соотечественник А.А. Богданов. Однако в силу исторических причин предложенная им всеобщая организационная наука *тектология* не нашла распространения и практического применения.

Проведенные после публикации концепции Л. фон Берталанфи международные симпозиумы, часть трудов которых переведена и издана, закрепили это направление как самостоятельное; расширили круг специалистов, принимавших участие в его развитии, хотя и не всегда пользовавшихся терминологией Л. фон Берталанфи. Здесь нужно отметить особую роль в становлении этого направления В.Н. Садовского, Э.Г. Юдина, И.В. Блауберга, С.П. Никанорова, инициировавших перевод ряда первых работ по системным исследованиям.

В нашей стране вначале теорию систем активно развивали философы. Ими были разработаны концептуальные основы, терминологический аппарат, исследованы *закономерности функционирования и развития систем*, поставлены другие проблемы, связанные с философскими и общенаучными основами системных исследований.

Однако философская терминология не всегда легко преломляется в практической деятельности. Поэтому потребности практики почти одновременно со становлением теории систем привели к возникновению направления, названного *исследование операций*.

Это направление возникло в связи с задачами военного характера, поэтому, несмотря на довольно широкое распространение в других прикладных областях благодаря развитому математическому аппарату, базирующемуся на методах *теории оптимизации, математического программирования* и математической статистики (см. *Статистические методы*), все же исходная терминология этого направления (в частности, само понятие «операция») часто трудно интерпретируется в практических условиях проектирования сложных технических комплексов, в экономических задачах, при решении проблем организации производства и управления

предприятиями, объединениями, научно-исследовательскими организациями, объектами непроизводственной сферы и т.п.

В 60-е гг. XX в. при постановке и исследовании сложных проблем проектирования и управления довольно широкое распространение получил термин *системотехника*, предложенный в 1962 г. д-ром техн. наук, профессором Ф.Е. Темниковым (основателем первой в стране кафедры «Системотехника» в Московском энергетическом институте) при переводе книги Г. Гуда и Р. Макола как эквивалент английского «System Engineering». Редакции не понравился буквальный перевод «системная инженерия» или «инженерия систем», что в принципе более соответствовало содержанию книги и становлению теории систем в стране.

В связи с неточным переводом термин довольно быстро стал использоваться в основном в приложениях системных методов только к техническим направлениям, а для других направлений был предложен термин *системология*, который в 1965 г. введен И.Б. Новиком и широко использовался В.Т. Куликом и Б.С. Флейшманом.

Применительно к задачам управления в определенный период более широкое распространение получил термин *кибернетика*, принятый Н. Винером для названия новой науки об управлении в живых организмах и машинах.

В нашей стране вначале кибернетика не признавалась наукой, а затем в период становления работ по автоматизации управления этот термин использовался как обобщающий для названия всех системных направлений.

В связи с неоднозначной трактовкой термина и употреблением его во многих работах (особенно зарубежных), связанных с разработкой технических аналогов живых организмов, этот термин в настоящее время используется в более узком смысле – как одно из направлений теории систем, занимающееся процессами управления техническими объектами. А для обобщения дисциплин, связанных с исследованием и проектированием сложных систем, используется термин *системные исследования*, а иногда сохраняется термин *системный подход*, который широко применялся в первые годы становления теории систем в двух смыслах – в смысле методологического направления философии и в прикладном аспекте, как синоним понятия комплексный подход.

Наиболее конструктивным из направлений системных исследований в настоящее время считается *системный анализ*, который

впервые появился в 1948 г. в работах корпорации RAND в связи с задачами военного управления, а в отечественной литературе получил распространение после перевода книги С. Оптнера «Системный анализ деловых и промышленных проблем».

Системный анализ нашел широкое применение в различных сферах деятельности: при исследовании и проектировании сложных технических комплексов, при моделировании процессов принятия решений в ситуациях с большой начальной неопределенностью, при исследовании и совершенствовании управления технологическими процессами, при исследовании систем организационного управления на уровнях предприятий, непромышленных организаций, регионов, государства в целом, при совершенствовании производственных и организационных структур предприятий и организаций, при разработке автоматизированных систем различного рода и т. п.

По мере развития научно-технического прогресса возникает еще одна потребность в приложении системного анализа. Усложняются выпускаемые изделия и технология производства промышленной продукции, расширяются ее номенклатура и ассортимент, увеличивается частота сменяемости выпускаемых изделий и технологий, возрастает наукоемкость продукции; по мере повышения жизненного уровня населения растут его потребности. Все это приводит к усложнению взаимоотношений человека с природой, к истощению ресурсов Земли, к экологическим проблемам. В результате возникает необходимость управления научно-техническим прогрессом.

Сложность управления экономикой и научно-техническим прогрессом привела к росту численности управленческого персонала. На эту проблему впервые в нашей стране в 60-е гг. XX в. обратил внимание академик В.М. Глушков, который ввел понятие информационного барьера.

Первый информационный барьер по Глушкову был преодолен в тот период, когда экономические связи полностью замыкались в рамках ограниченных коллективов (род, семья, племя) и сложность управления этим коллективом стала превосходить способности одного человека. Это произошло многие тысячелетия тому назад и вызвало соответствующие изменения в технологии управления, которые состояли в изобретении двух механизмов управления экономикой: первый механизм – создание иерархических систем управления, а второй – религиозные запреты, а в последующем – светские законы.

Второй информационный барьер связан с ограниченной способностью к переработке информации у всего населения страны. Исследования Института кибернетики АН Украинской ССР показали, что сложность задач управления экономикой растет быстрее числа занятых в ней людей и что если продолжить управлять страной прежними методами, на основе приоритета принципа контроля и переработки учетно-плановой информации, то в конце 70-х гг. XX в. в сфере управления только материальным производством нужно было бы занять чуть ли не все трудоспособное население страны.

Первоначально Глушков видел выход в создании автоматизированных информационных систем. Однако в последующем стало ясно, что необходимы новые специальные методы системных исследований.

В развитых капиталистических странах важность управления научно-техническим прогрессом и трудности, стоящие на пути решения этой проблемы, были осознаны примерно в те же годы, и с тех пор, более 50 лет, в США, в частности, ведутся интенсивные исследования по этой проблеме в специальных, так называемых «думающих», неприбыльных корпорациях (типа известной корпорации RAND).

В результате этих исследований были разработаны первая методика системного анализа – ПАТТЕРН (основой которой являются формирование и анализ *дерева целей*) и другие методы, используемые в США правительственными органами и крупными промышленными корпорациями для прогнозирования и управления в условиях ускоряющихся темпов НТП.

В нашей стране в 70-е гг. XX в. для повышения эффективности управления решили пойти по пути совершенствования программно-целевого механизма управления.

Был подготовлен и принят ряд постановлений ЦК КПСС и Совета Министров СССР и развивающих их документов, в которых определялся порядок разработки прогнозов, основных направлений развития, комплексных программ, перспективных планов на всех уровнях государственной структуры – от страны в целом до регионов, объединений и предприятий. Для управления НТП при Академии наук СССР, Совете Министров СССР и Госплане СССР были созданы специальные комиссии, которые готовили прогнозы и основные направления экономического и социального развития страны (эти реформы кратко именовались

косыгинскими, так как инициатором их был Председатель Совета Министров СССР того периода А.Н. Косыгин).

При реализации этих документов и в работе названных комиссий использовались методы системного анализа, в частности *закономерности целеобразования и методики структуризации целей*, что поставило системный анализ в особое положение среди других научных направлений и способствовало его развитию и введению в учебный процесс высшей школы.

В настоящее время, в условиях внедрения в экономику рыночных принципов, предоставления большой самостоятельности предприятиям и регионам роль методов и моделей системного анализа как наиболее конструктивного направления системных исследований возрастает, соответственно повышается необходимость развития этих методов и приближения их к практическим потребностям.

Междисциплинарные научные направления, возникшие между философией и специальными дисциплинами, можно расположить примерно так, как показано в таблице. Для того чтобы чита-

Междисциплинарное направление	Наиболее известные ученые
Ф и л о с о ф и я	
Теория систем	Л. фон Берталанфи, Дж. ван Гиг, М. Месарович, В.Г. Афанасьев, А.И. Уёмов, Ю.А. Урманцев
Системный подход	И.В. Блауберг, Э.Г. Юдин, В.С. Тюттин, С.П. Никаноров, Э. Квейд, С. Янг
Системология	И.Б.Новик, В.Т.Кулик, Б.С.Флейшман
Системный анализ	С. Оптнер, Д. Клиланд, В. Кинг, Н.Н. Моисеев, Ю.И. Черняк, Е.П. Голубков, Ф.И. Перегудов, В.Н. Сагатовский, В.З. Ямпольский, В.Н. Волкова, А.А. Денисов, А.А. Емельянов
Системотехника	Г. Гуд, Р. Макол, Ф.Е. Темников, В.И. Николаев, А. Холл, Г. Честнат, В.В. Дружинин, Д.С. Конторов
Кибернетика	Н. Винер, У.Р. Эшби, А.И. Берг, Л.П. Крайзмер, Л.Т. Кузин, Л.А. Растрингин, Н.Е. Кобринский, Е.З. Майминас
Исследование операций	У. Черчмен, Р. Акофф, М. Сасиени, Т. Саати, Е.С. Вентцель
С п е ц и а л ь н ы е д и с ц и п л и н ы	

тели могли самостоятельно расширить свои представления о названных системных направлениях, в таблицу включены также наиболее известные ученые, предложившие или развивающие эти направления (в таблицу включены и авторы данного издания).

В середине перечня направлений расположен *системный анализ*, так как он использует примерно в одинаковых пропорциях концептуально-методологические представления (что характерно для философии и теории систем) и формализованные методы и модели (что характерно для специальных дисциплин).

*Теория систем* и *системология* в большей мере используют философские понятия и качественные представления. *Исследование операций*, *кибернетика* и *системотехника*, напротив, имеют более развитый формальный аппарат, но менее развитые средства качественного анализа и постановки сложных задач с большой неопределенностью и активными элементами. Для понимания процессов организационного управления полезны общеметодологические представления и закономерности теории систем.

Основными сферами приложения системного анализа являются: разработка методик анализа целей, методов и моделей совершенствования организационной структуры, управления функционированием социально-экономических объектов.

Для того чтобы обосновать выбор понятий, включенных в справочник, которые нам представляются наиболее соответствующими нынешнему состоянию системного знания, приведем краткую характеристику терминологии в этой области.

**Определение системного анализа.** Термин «системный анализ» трактуется в публикациях неоднозначно. Поэтому на основе обобщения различных точек зрения дадим следующее расширенное определение, которое взято за основу в данном издании.

Системному анализу присущи следующие особенности:

1) применяется в тех случаях, когда задача (проблема) не может быть сразу представлена и решена с помощью формальных, математических методов, т.е. имеют место большая начальная неопределенность проблемной ситуации и многокритериальность задачи;

2) уделяет внимание процессу постановки задачи и использует не только формальные методы, но и методы качественного анализа. Эти группы методов назовем *методы формализованного представления систем* – МФПС и *методы активизации интуиции и опыта специалистов* – МАИС. В этой связи системный анализ

иногда определяют как «формализованный здравый смысл», или «здравый смысл, на службу которому поставлены математические методы»;

3) опирается на основные понятия теории систем и философские концепции, лежащие в основе исследования общесистемных закономерностей;

4) помогает организовать процесс коллективного принятия решения, объединяя специалистов различных областей знаний;

5) требует для организации процесса исследования и принятия решения обязательной разработки *методики системного анализа*, определяющей последовательность этапов проведения исследования и методы их выполнения, объединяющей методы из групп МАИС и МФПС, а соответственно и специалистов различных областей знаний;

6) исследует процессы *целеобразования* и разработки средств работы с целями (в том числе занимается разработкой *методик структуризации целей*);

7) предлагает в качестве основного метода расчленение большой неопределенности на более обозримые, лучше поддающиеся исследованию (что и соответствует понятию *анализ*), при сохранении целостного (*системного*) представления об объекте исследования и проблемной ситуации (благодаря понятиям *цель* и *целеобразование*).

Первые четыре особенности характерны для всех направлений *системных исследований*. В определении *системного анализа* наряду с этими особенностями отражены еще три (5, 6, 7), уточняющие его отличие от других системных направлений.

**Развитие определения системы.** Термин *система* используют в тех случаях, когда хотят охарактеризовать исследуемый или проектируемый объект как нечто целое (единое), сложное, о котором невозможно сразу дать представление, показав его, изобразив графически или описав математическим выражением (формулой, уравнением и т.п.), и желают подчеркнуть, что это что-то большое, сложное и при этом целое, единое.

Понятие системы подчеркивает упорядоченность, целостность, наличие определенных закономерностей.

Существует несколько десятков определений этого понятия. Их анализ показывает, что определение понятия *система* изменялось не только по форме, но и по содержанию. Рассмотрим основ-

ные и принципиальные изменения, которые происходили с определением системы по мере развития теории систем и использования этого понятия на практике.

В первых определениях в той или иной форме говорилось о том, что система – это э л е м е н т ы (части, компоненты) и с в я з и (отношения) между ними.

Так, Л. фон Берталанфи определял систему как «комплекс *взаимодействующих компонентов*» [1] или как «*совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой*» [2]. В Большой советской энциклопедии система определяется прямым переводом с греческого «*susthma*», что означает «состав», т.е. составленное, соединенное из частей\*.

Для уточнения *элементов и связей* в определениях включают с в о й с т в а . Так, в определении А. Холла свойства (атрибуты) дополняют понятие элемента (предмета). Затем в определениях системы появляется понятие «цель».

Далее, в определение системы начинают включать наряду с элементами, связями и целями еще и н а б л ю д а т е л я N, т.е. лицо, представляющее объект или процесс в виде системы при их исследовании или принятии решения.

На необходимость учета взаимодействия между изучаемой системой и исследователем указывал еще У.Р. Эшби. Но первое определение, в которое в явном виде включен наблюдатель, дал экономист Ю.И. Черняк: «Система есть отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания» [9].

В определениях системы бывает и большее число составляющих, что связано с необходимостью дифференциации в конкретных условиях видов элементов, связей и т.д.

Сопоставляя эволюцию определения системы (э л е м е н т ы и с в я з и , затем – ц е л ь , затем – н а б л ю д а т е л ь ) и эволюцию использования категорий теории познания в исследовательской деятельности, можно обнаружить сходство: вначале модели (особенно формальные) базировались на учете только *элементов и связей*, взаимодействий между ними, затем стали уделять внимание цели, поиску методов ее формализованного представления (целевая функция, критерий функционирования и т.п.), а начиная с

---

\* БСЭ. Изд. 2-е. – Т. 39. – С. 158.

60-х гг. XX в. все большее внимание обращают на *наблюдателя*, на лицо, осуществляющее моделирование или проводящее эксперимент (даже в физике), т.е. лицо, принимающее решение.

С учетом этого и опираясь на более глубокий анализ сущности понятия системы, приводимый далее в этой книге, следует, по видимому, относиться к данному понятию, как к категории теории познания, теории отражения. В связи с этим интересно обратить внимание на вопрос о материальности или нематериальности системы, рассматриваемый далее (см. *Система*), по поводу которого до недавнего времени довольно часто возникали дискуссии о том, материальны или нематериальны системы. Бесмысленность этих дискуссий показал В.Г. Афанасьев: «...объективно существующие системы – и понятие систем; понятие системы, используемое как инструмент познания системы, – и снова реальная система, знания о которой обогатились нашими системными представлениями; – такова диалектика объективного и субъективного в системе...»\*.

В Большой советской энциклопедии наряду с уже приведенным определением дается следующее: система – «...объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе»\*\*, т.е. подчеркивается, что понятие элемента (а следовательно, и системы) можно применять как к существующим, материально реализованным предметам, так и к *знаниям* об этих предметах или о будущих их реализациях.

Таким образом, в понятии *система* (как и любой другой категории познания) объективное и субъективное составляют диалектическое единство, и следует говорить не о материальности или нематериальности системы, а о подходе к объектам исследования, как к системам, о различном представлении их на разных стадиях познания или создания.

Так, Ю.И. Черняк показал, что один и тот же объект на разных этапах его рассмотрения может быть представлен в различных аспектах, и соответственно предлагает одну и ту же систему представлять на разных уровнях существования: философском (теоретико-познавательном), научно-исследовательском, проектном, инженерном и т.д., вплоть до материального воплощения.

---

\* Вопросы философии. – 1980. – № 6. – С. 62–78.

\*\* БСЭ. Изд. 2-е. – Т. 39. – С. 158.

Иными словами, в термин *система* на разных стадиях ее рассмотрения можно вкладывать разные понятия, говорить как бы о существовании системы в разных формах. М. Месарович, например, предлагает выделять *страты* рассмотрения системы.

Аналогичные страты могут существовать не только при создании, но и при познании объекта, т.е. при отображении реально существующих объектов в виде абстрактно представляемых в нашем сознании (в моделях) систем, что затем поможет создать новые объекты или разработать рекомендации по преобразованию (перестройке, реконструкции) существующих.

Методика системного анализа (или модель системного исследования) может разрабатываться не обязательно с охватом всего процесса познания или проектирования системы, а для одной из ее страт (что, как правило, и бывает на практике) и для того чтобы не возникало терминологических и иных разногласий между исследователями или разработчиками системы, нужно прежде всего четко уточнить, о какой именно страте рассмотрения системы идет речь.

Взгляд на определение системы, как на средство ее исследования, позволил осознать целесообразность определения, в котором объект не расчленяется на элементы, т.е. не разрушается, что делается в уже приведенных определениях, а представляется как совокупность укрупненных компонентов, принципиально необходимых для существования и функционирования исследуемой или создаваемой системы\*:

$$S_{def} \equiv \langle Z, STR, TECH, COND \rangle,$$

где  $Z = \{z\}$  – совокупность, или структура, целей;

$STR = \{STR_{пр}, STR_{орг}, \dots\}$  – совокупность структур, реализующих цели;  $STR_{пр}$  – производственная,  $STR_{орг}$  – организационная и т.п.;

$TECH = \{meth, means, alg, \dots\}$  – совокупность технологий (методы *meth*, средства *means*, алгоритмы *alg* и т.п.), реализующих систему;

$COND = \{\varphi_{ex}, \varphi_{in}\}$  – условия существования системы, т.е. факторы, влияющие на ее создание и функционирование ( $\varphi_{ex}$  – внешние,  $\varphi_{in}$  – внутренние).

---

\* Волкова В.Н. Развитие определения системы / В.Н. Волкова // В сб. тр. Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – С. 12–14.

Это определение соответствует подходу к исследованию систем от целей, а не от элементов и пространства состояний, как другие определения. Оно положено в основу *методики структуризации целей и функций, базирующейся на концепции деятельности*.

В различных конкретных ситуациях целесообразно пользоваться разными определениями. Причем по мере уточнения представлений о системе или при переходе на другую ступень ее исследования определение системы не только может, но и должно уточняться.

При проведении системного анализа целесообразно вначале сформулировать «рабочее» определение, которое может уточняться, расширяться или сужаться в зависимости от хода анализа.

Выбор определения системы отражает принимаемую концепцию и является фактически началом моделирования.

**Система и среда.** На первых этапах системного анализа важно уметь отделить (отграничить, как предлагают называть этот первый этап исследователи систем, чтобы точнее его определить) систему от *среды*, с которой взаимодействует система. Иногда даже определения системы, применяющиеся на начальных этапах исследования, базируются на отделении системы от среды.

Частным случаем выделения системы из среды является определение ее через входы и выходы, посредством которых система общается со средой. В кибернетике и теории систем такое представление системы называют *черным ящиком*. На этой модели базировалось начальное определение системы У.Р. Эшби.

Сложное взаимодействие системы с ее окружением отражено в определении В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина [2]: «...2) она образует особое единство со средой; 3) как правило, любая исследуемая система представляет собой элемент системы более высокого порядка; 4) элементы любой исследуемой системы, в свою очередь, обычно выступают как системы более низкого порядка».

Это определение является основой закономерности *коммуникативности*. Согласуется с этим определением и развивает его предлагаемое в одной из методик системного анализа целей (см. *Методика структуризации целей и функций, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание*) разделение сложной среды на *надсистему*, или *вышестоящие* системы; *ниже лежащие*, или *подведомственные* системы; системы *актуальной*, или *существенной*, среды.

Уточнение, или конкретизация, определения системы в процессе исследования влечет за собой соответствующее уточнение ее взаимодействия со средой и определения среды. В этой связи важно прогнозировать не только состояние системы, но и состояние среды. В последнем случае следует учитывать неоднородность среды, наряду с естественно-природной средой существуют искусственные – техническая среда созданных человеком машин и механизмов, экономическая среда, информационная, социальная среда.

В процессе исследования граница между системой и средой может деформироваться. Уточняя модель системы, наблюдатель может выделять в среду некоторые составляющие, которые он первоначально включал в систему. И, наоборот, исследуя корреляцию между компонентами системы и среды, он может посчитать целесообразным составляющие среды, имеющие сильные связи с элементами системы, включить в систему.

**Понятия, характеризующие строение и функционирование систем.** Обыденная трактовка рассматриваемых далее понятий (элемент, связь и др.) не всегда совпадает с их значением как специальных терминов системного описания и анализа объектов. Поэтому кратко рассмотрим основные понятия, помогающие уточнять представление о системе.

Понятия, входящие в определение системы, тесно связаны между собой и, по мнению Л. фон Берталанфи, не могут быть определены независимо, а определяются, как правило, одно через другое, уточняя друг друга, и поэтому принятую здесь последовательность их изложения следует считать условной.

*Элемент* – простейшая, неделимая часть системы. Однако ответ на вопрос, что является такой частью, может быть неоднозначным. Например, в системе управления предприятием элементами можно считать подразделения аппарата управления, а можно – каждого сотрудника или каждую операцию, которую он выполняет.

Поэтому необходимо уточнить определение: элемент – это предел членения системы с точки зрения аспекта рассмотрения, решения конкретной задачи, поставленной цели.

Определить предел членения системы не всегда легко. Систему можно расчленять на элементы различными способами в зависимости от формулировки задачи, цели и ее уточнения в процессе проведения системного исследования. При необходимости можно изменять принцип расчленения, выделять другие элементы и по-

лучать с помощью нового расчленения более адекватное представление об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

Определяя элемент, пришлось употребить понятие *цель*, которое будет охарактеризовано далее (понятия, входящие в определение системы, как было уже отмечено, не могут быть определены независимо одно от другого), поэтому была сделана попытка не использовать понятие цели, а поставить рядом с ним понятия аспекта рассмотрения, задачи, хотя точнее использовать понятие *цель*.

*Компоненты и подсистемы.* Иногда термин *элемент* используют в более широком смысле, даже в тех случаях, когда система не может быть сразу разделена на составляющие, являющиеся пределом ее членения. Однако при многоуровневом расчленении системы лучше использовать другие термины, предусмотренные в теории систем: сложные системы принято вначале делить на *подсистемы*, или на *компоненты*.

Понятие *подсистема* подразумевает, что выделяется относительно независимая часть системы, обладающая свойствами системы и, в частности, имеющая подцель, на достижение которой ориентирована подсистема, а также другие свойства – свойство целостности, коммуникативности и т.п., определяемые *закономерностями систем*.

Если же части системы не обладают такими свойствами, а представляют собой просто совокупности однородных элементов, то такие части принято называть *компонентами*.

Расчленяя систему на подсистемы, следует иметь в виду, что так же, как и при расчленении на элементы, выделение подсистем зависит от цели и может меняться по мере ее уточнения и развития представлений исследователя об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

*Связь* – понятие, входящее в любое определение системы и обеспечивающее возникновение и сохранение ее целостных свойств. Это понятие одновременно характеризует и строение (статику), и функционирование (динамику) системы.

Связь определяют как ограничение степени свободы элементов. Действительно, элементы, вступая во взаимодействие (связь) между собой, утрачивают часть своих свойств, которыми они потенциально обладали в свободном состоянии.

В определениях системы термины *связь* и *отношение* обычно используются как синонимы. Однако существуют разные точки

зрения: одни исследователи считают связь частным случаем отношения; другие, напротив, отношение рассматривают как частный случай связи; третьи предлагают понятие *связь* применять для описания статики системы, ее структуры, а понятием отношение характеризовать некоторые действия в процессе функционирования (динамики) системы.

Связи в конкретных системах могут быть одновременно охарактеризованы несколькими признаками: направлением, силой, характером (или видом).

Важную роль в моделировании систем играет понятие *обратная связь*. Обратная связь является основой саморегулирования, развития систем, приспособления их к изменяющимся условиям существования.

Предлагались многоконтурные модели управления экономическими системами. При разработке моделей функционирования сложных саморегулирующихся, самоорганизующихся систем в них, как правило, одновременно присутствуют и отрицательные, и положительные обратные связи. На использовании этих понятий базируется, в частности, *имитационное динамическое моделирование*.

*Цель* и связанные с ней понятия целесообразности, целенаправленности лежат в основе развития системы.

Процесс целеобразования и соответствующий ему процесс обоснования целей в организационных системах весьма сложен. На протяжении всего периода развития философии и теории познания происходило развитие представлений о цели. Анализ определений цели и связанных с ней понятий показывает, что в зависимости от стадии познания объекта, этапа системного анализа в понятие *цель* вкладывают различные оттенки – от идеальных устремлений до конкретных целей – конечных результатов, достижимых в пределах некоторого интервала времени и формулируемых иногда в терминах конечного продукта деятельности. В некоторых определениях цель как бы трансформируется, принимая различные оттенки в пределах условной «шкалы» – от идеальных устремлений к материальному воплощению, конечному результату деятельности.

Противоречие, заключенное в понятии *цель*, – необходимость быть побуждением к действию, «опережающим отражением» (термин введен П.К. Анохиным), или «опережающей идеей», и одновременно материальным воплощением этой идеи, т.е. быть дос-

тижимой, проявлялось с момента возникновения этого понятия: так, древнеиндийское «артха» означало одновременно «мотив», «причину», «желание», «цель» и даже – «способ».

Для того чтобы отразить диалектическое противоречие, заключенное в понятии *цель*, в БСЭ дается следующее определение: *цель* – «заранее мыслимый результат сознательной деятельности человека, группы людей»\* («заранее мыслимый», но все же «результат», воплощение замысла; подчеркивается также, что понятие цели связано с человеком, его «сознательной деятельностью», т.е. с наличием сознания, а для характеристики целеустремленных, негэнтропийных тенденций на более низких ступенях развития материи принято использовать другие термины).

Диалектико-материалистическое понимание цели очень важно при организации процессов коллективного принятия решений в системах управления. В реальных ситуациях необходимо оговаривать, в каком смысле на данном этапе рассмотрения системы используется понятие *цель*, что в большей степени должно быть отражено в ее формулировке – *идеальные устремления*, которые помогут коллективу ЛПР увидеть перспективы, или *реальные возможности*, обеспечивающие своевременность завершения очередного этапа на пути к желаемому будущему.

При формулировании целей нужно учитывать *закономерности целеобразования* и применять *методики структуризации целей и функций*.

**Структура.** Система может быть представлена простым перечислением элементов или «черным ящиком» (моделью «вход – выход»). Однако чаще всего при исследовании объекта такого представления недостаточно, так как требуется выяснить, что собой представляет объект, что в нем обеспечивает выполнение поставленной цели, получение требуемых результатов. В этих случаях систему отображают путем расчленения на подсистемы, компоненты, элементы с взаимосвязями, которые могут носить различный характер, и вводят понятие структуры.

*Структура* (от латинского «structure» – строение, расположение, порядок) отражает определенные взаимосвязи, взаиморасположение составных частей системы, ее устройство (строение)\*\*.

---

\* БСЭ. Изд. 2-е. – Т. 46. – С. 498.

\*\* БСЭ. Изд. 2-е. – Т. 41. – С. 154.

При этом в сложных системах структура включает не все элементы и связи между ними, а лишь наиболее существенные компоненты и связи, которые мало меняются при текущем функционировании системы и обеспечивают ее существование и основные свойства (в предельном случае, когда пытаются применить понятие структуры к простым, полностью детерминированным объектам, понятия структуры и системы совпадают). Иными словами, структура характеризует организованность системы, устойчивую упорядоченность элементов и связей.

Структурные связи обладают относительной независимостью от элементов и могут выступать как инвариант при переходе от одной системы к другой, перенося закономерности, выявленные и отраженные в структуре одной из них, на другие. При этом системы могут иметь различную физическую природу.

Одна и та же система может быть представлена разными структурами в зависимости от стадии познания объектов или процессов, от аспекта их рассмотрения, цели создания. При этом по мере развития исследований или в ходе проектирования структура системы может изменяться.

Структуры, особенно иерархические, могут помочь в раскрытии неопределенности сложных систем. Иными словами, структурные представления систем могут являться средством их исследования.

Обычно понятие *структура* связывают с графическим отображением. Однако это не обязательно. Структура может быть представлена в матричной форме, в форме теоретико-множественных описаний, с помощью языка топологии, алгебры и других средств моделирования систем.

Различают следующие основные виды структур:

*сетевая структура*, или сеть представляет собой декомпозицию системы *во времени*;

*иерархические структуры* представляют собой декомпозицию системы в *пространстве*; они бывают древовидными, структурами типа «дерева» (или с «сильными» связями) и со «слабыми» связями;

*матричные структуры*;

*многоуровневые иерархические структуры*, предложенные в теории систем М. Месаровича, типа «страт», «слоев», «эшелонов»;

*смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями*;

*структуры с произвольными связями* могут иметь любую форму, объединять принципы разных видов структур и нарушать их.

**Понятия, характеризующие функционирование и развитие систем.** Процессы, происходящие в сложных системах, как правило, сразу не удастся представить в виде математических соотношений или хотя бы алгоритмов. Поэтому для того, чтобы хоть как-то охарактеризовать стабильную ситуацию или ее изменения, используются специальные термины, заимствованные теорией систем из теории автоматического регулирования, биологии, философии.

Основные из этих терминов: *состояние* – понятие, характеризующее мгновенную фотографию, «срез» системы, остановку в ее развитии; *поведение* – понятие, характеризующее переход из одного состояния в другое (например,  $s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow \dots$ ); *равновесие* – способность системы в отсутствие внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) сохранять свое состояние сколь угодно долго; *устойчивость* – способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием *внешних* (или в системах с активными элементами – *внутренних*) возмущающих воздействий; состояние равновесия, в которое система способна возвращаться, называют устойчивым состоянием равновесия. Возврат в это состояние может сопровождаться колебательным процессом. Соответственно в сложных системах возможны неустойчивые состояния равновесия; *развитие* – понятие, помогающее объяснить сложные термодинамические и информационные процессы в природе и обществе.

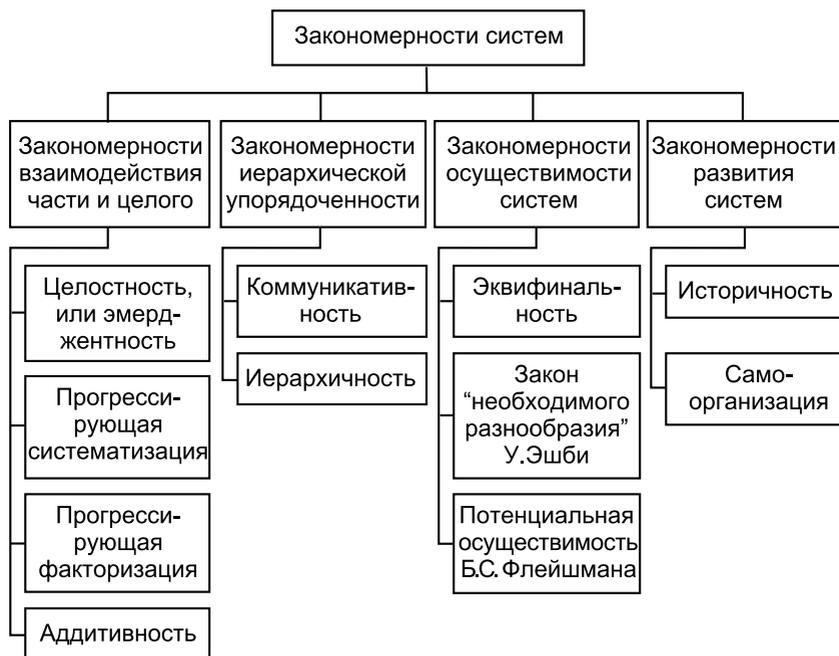
Исследование процесса развития, соотношения *развития* и *устойчивости*, изучение механизмов, лежащих в их основе, – наиболее сложные задачи теории систем. В особый класс выделяют *развивающиеся (самоорганизующиеся) системы*, обладающие особыми свойствами и требующие использования специальных подходов к их моделированию.

Равновесие и устойчивость в социально-экономических системах, несмотря на кажущуюся аналогию с техническими, – гораздо более сложные понятия, и ими можно пользоваться в основном как некоторыми аналогиями для предварительного описания поведения системы. В самоорганизующихся, развивающихся системах говорят о динамическом равновесии (см. *Устойчивость*).

**Закономерности функционирования и развития систем** (в более краткой формулировке – **закономерности систем**) – общесистемные закономерности, характеризующие принципиальные особенности построения, функционирования и развития сложных систем.

Такие закономерности Л. фон Берталанфи вначале называл системными параметрами, а А. Холл – макроскопическими закономерностями.

Закономерности систем можно условно разделить на четыре группы [3] (рис. 1).



**Рис. 1**

1. Закономерности взаимодействия части и целого: *закономерность целостности (эмерджентности), закономерность аддитивности, прогрессирующая систематизация, прогрессирующая факторизация, закономерность интегративности*, которую выделяют иногда в самостоятельную, характеризуя причины возникновения и сохранения целостности.

2. Закономерности иерархической упорядоченности: *закономерность коммуникативности, закономерность иерархичности.*

3. Закономерности осуществимости систем: *закон «необходимого разнообразия» У.Р. Эшби, закономерность эквивиальности, закономерность потенциальной эффективности Б.С. Флейшмана.*

4. Закономерности развития систем: *закономерность историчности, самоорганизация.*

Использование закономерностей построения, функционирования и развития систем помогает уточнить представление об изучаемом или проектируемом объекте, позволяет разрабатывать рекомендации по совершенствованию организационных систем, методик системного анализа, выбору подхода и методов исследования системы.

При работе с целями в таких системах важно учитывать основные *закономерности целеобразования*: зависимость формулировки цели от стадии познания объекта и от времени, зависимость цели от внешних и внутренних факторов (которые являются такими же важными, как и внешние), необходимость сведения задачи формулирования глобальной цели к задаче ее структуризации.

**Классификации систем.** Системы разделяют на классы по различным признакам. В зависимости от решаемой задачи можно выбирать разные принципы классификации.

Предпринимались попытки классифицировать системы по виду отображаемого объекта (технические, биологические, экономические и другие системы); по виду научного направления, используемого для их моделирования (математические, физические, химические и др.). Системы делят на детерминированные и стохастические; открытые и закрытые; абстрактные и материальные (существующие в объективной реальности) и т.д.

Классификации всегда относительны.

Так, в детерминированной системе можно найти элементы стохастичности, и, напротив, детерминированную систему можно считать частным случаем стохастической (при вероятности, равной единице). Аналогично, если принять во внимание диалектику субъективного и объективного в системе, то станет понятной относительность разделения системы на абстрактные и объективно существующие: это могут быть стадии развития одной и той же системы.

Однако относительность классификаций не должна останавливать исследователей. Цель любой классификации – ограничить

выбор подходов к отображению системы, сопоставить выделенным классам приемы и методы системного анализа и дать рекомендации по выбору методов для соответствующего класса систем. При этом система в принципе может быть одновременно охарактеризована несколькими признаками, т.е. ей может быть найдено место одновременно в разных классификациях, каждая из которых может оказаться полезной при выборе методов моделирования.

Наиболее значимыми для социально-экономических систем являются классификации по сложности и по степени организованности.

**Классификации систем по сложности.** Существует несколько подходов к разделению систем по сложности.

Сложность иногда связывают с размерами системы. В то же время существует точка зрения, что большие по величине, количеству элементов и сложные по многообразию связей, алгоритмов поведения системы – это разные классы систем. Б.С. Флейшман за основу классификации принимает сложность поведения системы. Одна из наиболее полных и интересных классификаций по уровням сложности предложена К. Боулдингом, в которой каждый последующий класс включает в себя предыдущий, характеризуется большим проявлением свойств открытости и стохастичности поведения, более ярко выраженными проявлениями закономерностей иерархичности и историчности.

Однако в этих классификациях нет рекомендаций по выбору методов моделирования. Поэтому далее подробнее рассматривается классификация, в которой делается попытка связать выбор методов моделирования со всеми классами систем. Основанием для этой классификации является степень организованности.

**Классификация систем по степени организованности и ее роль в выборе методов моделирования систем.** Впервые разделение систем по степени организованности, по аналогии с классификацией Г. Саймона и А. Ньюэлла (хорошо структуризованные, плохо структуризованные и неструктуризованные проблемы), было предложено В.В. Налимовым\*, который выделил класс *хорошо организованных* и класс *плохо организованных*, или *диффузных*, систем.

Позднее к этим двум классам был добавлен [6, 7] еще класс *самоорганизующихся* систем, который включает рассматриваемые иногда в литературе раздельно классы систем саморегулирующихся, самообучающихся, самонастраивающихся и т.п.

---

\* Методологические проблемы кибернетики: В 2 т. – М.: МГУ, 1970.

Выделенные классы практически можно рассматривать как подходы к отображению объекта или решаемой задачи, которые могут выбираться в зависимости от стадии познания объекта и возможности получения информации о нем.

Кратко охарактеризуем эти классы.

1. Представление объекта или процесса принятия решения в виде *хорошо организованной системы* возможно в тех случаях, когда исследователю удастся определить все элементы системы и их взаимосвязи между собой и с целями системы в виде детерминированных (аналитических, графических) зависимостей.

Для отображения сложного объекта в виде хорошо организованной системы приходится выделять существенные и не учитывать относительно несущественные для конкретной цели рассмотрения компоненты.

Представление объекта в виде хорошо организованной системы используется в тех случаях, когда может быть предложено детерминированное описание и экспериментально показана правомерность его применения, т.е. экспериментально доказана адекватность модели реальному объекту или процессу.

Для сложных многокомпонентных многокритериальных задач найти требуемые аналитические зависимости между компонентами и целями системы крайне сложно. Более того, если даже это и удастся, то практически невозможно поставить эксперимент, доказывающий адекватность модели. Поэтому в большинстве случаев при представлении сложных объектов и проблем на начальных этапах исследования их отображают классами, характеризующимися далее.

2. При представлении объекта в виде *плохо организованной* (или *диффузной*) *системы* не ставится задача определить все учитываемые компоненты и их связи с целями системы. Система характеризуется некоторым набором макропараметров и закономерностями, которые выявляются на основе исследования не всего объекта или класса явлений, а путем изучения определенной с помощью некоторых правил достаточной представительной выборки компонентов, характеризующих исследуемый объект или процесс. На основе такого (выборочного) исследования получают характеристики, или закономерности (статистические, экономические и т.п.) и распространяют эти закономерности на поведение системы в целом. При этом делаются соответствующие оговорки. Например, при получении статистических закономерностей их распространя-

ют на поведение системы с какой-то *вероятностью*, которая оценивается с помощью специальных приемов, изучаемых математической статистикой.

Отображение объектов в виде диффузных систем находит широкое применение при определении пропускной способности систем разного рода, численности штатов в обслуживающих, например ремонтных, цехах предприятия и в обслуживающих учреждениях (для решения подобных задач применяют методы теории массового обслуживания), при исследовании документальных потоков информации и т.д.

3. Отображение объектов в виде *самоорганизующейся (развивающейся) системы* позволяет исследовать наименее изученные объекты и процессы с большой неопределенностью на начальном этапе постановки задачи.

Класс самоорганизующихся, или развивающихся, систем характеризуется рядом признаков, особенностей, приближающих их к реальным развивающимся объектам.

Эти особенности, как правило, обусловлены наличием в системе активных элементов и носят двойственный характер: они являются новыми свойствами, полезными для существования системы, приспособляемости ее к изменяющимся условиям среды, но в то же время вызывают неопределенность, затрудняют управление системой.

Основные из этих особенностей следующие: нестационарность параметров и стохастичность поведения; уникальность и непредсказуемость поведения системы в конкретных условиях (благодаря наличию активных элементов у системы как бы проявляется «свобода воли»); способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды и помехам (причем как к внешним, так и к внутренним, что весьма затрудняет управление системой); способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям и проявлять неэнтропийные тенденции; способность вырабатывать варианты поведения и изменять свою структуру, сохраняя при этом целостность и основные свойства; способность и стремление к целеобразованию; стремление использовать энергию не для поддержания стабильности, устойчивости, а для поддержания себя в неравновесном состоянии (особенность впервые обнаружена Э. Бауэрмом\*); неоднозначность использования понятий (например, «цель» – «средство», «система» – «подсистема» и т.п.).

---

\* Общая биология: Учебник / Под ред. Э.С. Бауэра. – М.: Учпедгиз, 1936.

Перечисленные на рис. 2 особенности объясняются с помощью *закономерностей систем*, основные группы которых приведены на этом же рисунке.



Рис. 2

Между особенностями и закономерностями существуют непростые взаимосвязи, объясняющие сложность учета указанных закономерностей на практике.

В то же время анализ деятельности предприятий показывает, что если не создавать условия для развития предприятия, такие,

как способность адаптироваться, вырабатывать варианты поведения, формулировать цели, изменять структуру и т.п., то предприятие не выживет в условиях нестабильной среды. А реализацию этих свойств можно обеспечить, изучая и используя закономерности функционирования и развития самоорганизующихся систем.

По мере накопления опыта исследования и преобразования систем, обладающих подобными свойствами, была осознана их основная особенность – принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся, самоорганизующихся систем. Эта особенность, т.е. необходимость сочетания формальных методов и методов качественного анализа, и положена в основу большинства моделей и методик системного анализа. При формировании таких моделей меняется привычное представление о моделях, характерное для математического моделирования и прикладной математики. Изменяется представление и о доказательстве адекватности таких моделей.

Основную конструктивную идею моделирования при отображении объекта классом самоорганизующихся систем можно сформулировать следующим образом: разрабатывается знаковая система, с помощью которой фиксируют известные на данный момент компоненты и связи, а затем путем преобразования полученного отображения с помощью установленных (принятых) правил (структуризации или декомпозиции; композиции, поиска мер близости на пространстве состояний) получают новые, не известные ранее компоненты, взаимоотношения, зависимости, которые могут либо послужить основой для принятия решений, либо подсказать следующие шаги на пути подготовки решения.

Таким образом, можно накапливать информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты и связи (правила взаимодействия компонент) и, применяя их, получать отображения последовательных состояний развивающейся системы, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или проектируемого объекта. При этом информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения (в процессе познания объекта).

Адекватность модели также доказывается последовательно (по мере ее формирования) в ходе оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.

Иными словами, такое моделирование становится как бы своеобразным «механизмом» развития системы. Практическая реализация этого «механизма» связана с необходимостью разработки языка моделирования процесса принятия решения. В основу такого языка (знаковой системы) может быть положен один из методов моделирования систем: например, *теоретико-множественные представления, математическая логика, математическая лингвистика, имитационное динамическое моделирование, информационный подход* и т.д. По мере развития модели методы могут меняться.

Представление объекта в виде самоорганизующейся системы применяется для решения наиболее сложных проблем с большой начальной неопределенностью, которая снимается постепенно. При этом «механизм» развития (самоорганизации) может быть реализован в форме соответствующего подхода (см. *Постепенная формализация модели принятия решения, Графо-семиотическое моделирование* или *методики системного анализа*) с использованием различных методов для реализации ее этапов.

Именно этим классом систем удается наиболее адекватно отображать предприятия, научно-производственные объединения, территориальные образования и другие организации.

Кратко охарактеризованные классы систем удобно использовать как подходы на начальном этапе моделирования любой задачи. Этим классам поставлены в соответствие *методы формализованного представления систем\**, и, определив класс системы, можно дать рекомендации по выбору метода, который позволит более адекватно ее отобразить.

Если предварительный анализ проблемной ситуации показывает, что она может быть представлена в виде хорошо организованной системы, то можно выбирать методы моделирования из классов *аналитических* и *графических* методов. Если специалисты по теории систем и системному анализу рекомендуют представить ситуацию в виде плохо организованных, или диффузных, систем, то следует обратиться прежде всего к статистическому моделированию (см. *Статистические методы*). Если не удастся доказать адекватность ее представления в виде системы такого класса, то нужно искать закономерности в прикладных направ-

---

\* Темников Ф.Е. Подход к выбору метода формализованного представления системы / Ф.Е. Темников, В.Н. Волкова // Моделирование сложных систем. – М.: МДНТП, 1978. – С. 38–40.

лениях (например, в экономике, социологии и т. п.); при представлении ситуации классом самоорганизующихся систем следует применять методы дискретной математики, в частности, теоретико-множественные представления, математическую логику, математическую лингвистику, разрабатывая на их основе языки моделирования и автоматизации проектирования, и, как правило, формировать модель, сочетая методы из групп МАИС (см. *Методы активизации интуиции и опыта специалистов*) и МФПС (см. *Методы формализованного представления систем*).

Для выбора метода моделирования систем разрабатывают их классификации.

**Классификации методов моделирования систем.** Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести ее словесное, вербальное, описание в формальное.

В случае относительно простых задач такой переход осуществляется в сознании человека, который не всегда даже может объяснить, как он это сделал. Если полученная формальная модель (математическая зависимость между величинами в виде формулы, уравнения, системы уравнений) опирается на фундаментальный закон или подтверждается экспериментом, то этим доказывается ее *адекватность* отображаемой ситуации, и модель рекомендуется для решения задач соответствующего класса.

По мере усложнения задач получение модели и доказательство ее адекватности усложняются, а применительно к социально-экономическим объектам эксперимент становится практически нереализуемым, задача переходит в класс проблем принятия решений, и постановка задачи, формирование модели, т.е. перевод вербального описания в формальное становится важной составной частью процесса принятия решения.

Перевод вербального описания в формальное, осмысление, интерпретация модели и получаемых результатов становятся неотъемлемой частью практически каждого этапа моделирования сложной развивающейся системы.

Для решения проблемы перевода вербального описания в формальное в различных областях деятельности стали развиваться специальные приемы и методы. Так, возникли методы типа «мозговой атаки», «сценариев», экспертных оценок, «дерева целей» и т.п.

В свою очередь, развитие математики шло по пути расширения средств постановки и решения трудноформализуемых задач.

Наряду с детерминированными, *аналитическими методами* классической математики возникла теория вероятностей и математическая статистика (см. *Статистические методы*) как средство доказательства адекватности модели на основе представительной (репрезентативной) выборки и понятия вероятности, правомерности использования модели и результатов моделирования.

Для задач с большей степенью неопределенности инженеры стали привлекать *теорию множеств, математическую логику, математическую лингвистику, теорию графов*, что во многом стимулировало развитие этих направлений. Математика стала постепенно накапливать средства работы с неопределенностью, со смыслом, который классическая математика исключала из объектов своего рассмотрения.

Таким образом, между неформальным, образным мышлением человека и формальными моделями классической математики сложился как бы «спектр» методов, которые помогают получать и уточнять (формализовывать) вербальное описание проблемной ситуации, с одной стороны, и интерпретировать формальные модели, связывать их с реальной действительностью – с другой. Этот спектр условно представлен на рис. 3, а.

Развитие методов моделирования, разумеется, шло не так последовательно, как показано на рис. 3, а. Они возникали и развивались параллельно. Существуют различные модификации сходных методов. Их по-разному объединяли в группы, т.е. исследователи предлагали разные классификации (в основном – для формальных методов). Постоянно возникают новые методы моделирования как бы на «пересечении» уже сложившихся групп. Однако основную идею – существование «спектра» методов между вербальным и формальным представлением проблемной ситуации – этот рисунок иллюстрирует.

Первоначально исследователи, развивающие теорию систем, предлагали классификации систем и старались поставить им в соответствие определенные методы моделирования, позволяющие наилучшим образом отразить особенности того или иного класса. Такой подход к выбору методов моделирования подобен используемому в прикладной математике. Однако в отличие от последней, в основу которой положены классы прикладных задач, системный анализ может один и тот же объект или одну и ту же проблемную ситуацию (в зависимости от степени неопределен-

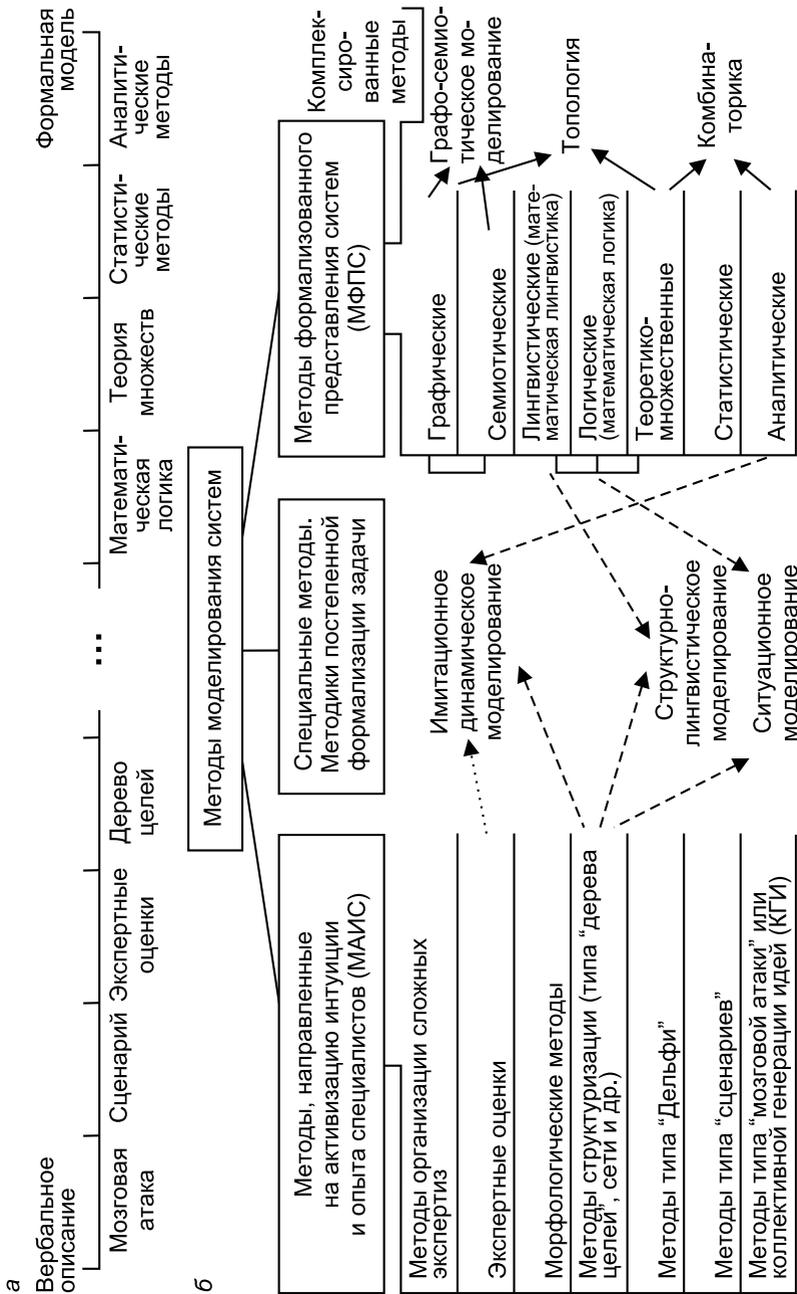


Рис. 3

ности и по мере познания) отображать разными классами систем и соответственно различными моделями, организуя таким образом как бы процесс постепенной формализации задачи, т.е. «выращивание» ее формальной модели. Неверно выбранный метод моделирования может привести к неверным результатам, к невозможности доказательства адекватности модели, к увеличению числа итераций и затягиванию решения проблемы.

Существует и другая точка зрения. Если последовательно менять методы приведенного на рис. 3, *а* «спектра» (не обязательно используя все), то можно постепенно, ограничивая полноту описания проблемной ситуации (что неизбежно при формализации), но сохраняя наиболее существенные с точки зрения цели (структуры целей) компоненты и связи между ними, перейти к формальной модели.

В то же время анализ процессов изобретательской деятельности, опыта формирования сложных моделей принятия решений показал, что практика не подчиняется такой логике, т.е. человек поступает иначе: он попеременно выбирает методы из левой и правой частей «спектра»\*, приведенного на рис. 3, *а*.

Поэтому удобно как бы «переломить» этот «спектр» методов примерно в середине, где графические методы смыкаются с методами структуризации, т.е. разделить методы моделирования систем на два больших класса: *методы формализованного представления систем* (МФПС) и *методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов*, или более кратко – *методы активизации интуиции специалистов* (МАИС).

Возможные классификации этих двух групп методов представлены на рис. 3, *б*.

Такое разделение методов находится в соответствии с основной идеей системного анализа, которая состоит в сочетании в моделях и методиках формальных и неформальных представлений, что помогает в разработке методик, выборе методов постепенной формализации отображения и анализа проблемной ситуации. Возможные варианты последовательного использования методов из групп МАИС и МФПС системного анализа приводятся далее в примерах методик.

Отметим, что на рис. 3, *б* в группе МАИС методы расположены сверху вниз примерно в порядке возрастания возможностей форма-

---

\* См., напр., А д а м а р Ж. Исследование психологии процесса изобретения. – М.: Сов. радио, 1977.

лизации, а в группе МФПС – снизу вверх возрастает внимание к содержательному анализу проблемы и появляется все больше средств для такого анализа. Такое упорядочение помогает сравнивать методы и выбирать их при формировании развивающихся моделей принятия решений, при разработке методик системного анализа.

Классификации МАИС и особенно МФПС могут быть разными. На рис. 3, б дана классификация МФПС, предложенная Ф.Е. Темниковым (см. *Методы формализованного представления систем*).

Необходимо отметить, что иногда для наименования групп МАИС и МФПС используются термины – соответственные качественные и количественные методы\*. Однако, с одной стороны, методы, отнесенные к группе МАИС, могут использовать и формализованные представления (при разработке *сценариев* могут применяться статистические данные, возможны и некоторые расчеты; с формализацией связаны получение и обработка *экспертных оценок*, методы *морфологического моделирования*), а с другой стороны, в силу теоремы Гёделя о неполноте, в рамках любой формальной системы, сколь бы полной и непротиворечивой она ни казалась, есть положения (соотношения, высказывания), истинность или ложность которых нельзя доказать формальными средствами этой системы; для преодоления же неразрешимой проблемы нужно расширять формальную систему, опираясь на содержательный, качественный анализ. Поэтому были предложены названия групп методов МАИС и МФПС, что представляется более предпочтительным.

Специалист по системному анализу должен понимать, что любая классификация условна. Она лишь средство, помогающее ориентироваться в огромном числе разнообразных методов и моделей. Поэтому разрабатывать классификацию нужно обязательно с учетом конкретных условий, особенностей моделируемых систем (процессов принятия решений) и предпочтений ЛПР, которым можно предложить выбрать классификацию.

Следует также подчеркнуть, что новые методы моделирования часто создаются на основе сочетания ранее существовавших классов методов.

Так, методы, отнесенные на рис. 3 к группе *комплексированных* (комбинаторика, топология), начинали развиваться параллельно в рамках линейной алгебры, теории множеств, теории графов, а затем оформились в самостоятельные направления.

---

\* Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983.

Существуют также методы, базирующиеся на сочетании средств МАИС и МФПС. Эта группа методов представлена на рис. 1 в качестве самостоятельной группы методов моделирования, обобщенно названной *специальными методами*.

Наибольшее распространение получили следующие специальные методы моделирования систем.

*Имитационное моделирование.* В широком смысле термин (англ. Simulation) означает целенаправленные серии многовариантных исследований, выполняемых на компьютере с применением математических моделей\*. Известны различные подходы к имитационному моделированию. Но в любом варианте это направление соответствует основной идее системного анализа – сочетанию возможностей человека как носителя ценностей, генератора идей для принятия решений, с формальными методами, обеспечивающими возможности применения ЭВМ.

*Имитационное динамическое моделирование.* Предложено Дж. Форрестером (США) [8] в 50-х гг. XX в., использует удобный для человека структурный язык, помогающий выражать реальные взаимосвязи, отображающие в системе замкнутые контуры управления, и аналитические представления (линейные конечно-разностные уравнения), позволяющие реализовывать формальное исследование полученных моделей на ЭВМ с использованием специализированного языка DYNAMO.

*Ситуационное моделирование.* Идея предложена Д.А. Поспеловым, развита и реализована Ю.И. Клыковым и Л.С. Загадской (Болотовой) [8, гл. 7]. Это направление базируется на отображении в памяти ЭВМ и анализе проблемных ситуаций с применением специализированного языка, разрабатываемого с помощью выразительных средств теории множеств, математической логики и теории языков.

*Структурно-лингвистическое моделирование.* Подход возник в 70-е гг. XX в. в инженерной практике и основан на использовании для реализации идей комбинаторики структурных представлений разного рода, с одной стороны, и средств математической лингвистики – с другой. В расширенном понимании подхода в качестве языковых (лингвистических) средств используются и дру-

---

\* Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума. – М.: Финансы и статистика, 2002.

гие методы дискретной математики, языки, основанные на *теоретико-множественных представлениях*, на использовании средств *математической логики, математической лингвистики, семиотики*.

*Теория информационного поля и информационный подход к моделированию и анализу систем.* Концепция информационного поля предложена А.А. Денисовым и основана на использовании для активизации интуиции ЛПР законов диалектики, а в качестве средства формализованного отображения – аппарата математической теории поля и теории цепей. Этот подход для краткости в последующем назван *информационным*, поскольку в его основе лежит отображение реальных ситуаций с помощью информационных моделей.

*Метод постепенной формализации задач и проблемных ситуаций с неопределенностью на основе поочередного использования средств МАИС и МФПС.* Этот подход к моделированию самоорганизующихся (развивающихся) систем был первоначально предложен одним из авторов [4, 8] данного раздела на базе концепции *структурно-лингвистического моделирования*, но в последующем стал основой практически всех методик системного анализа.

Классификация методов моделирования, подобная рассмотренной, помогает осознанно выбирать методы моделирования и должна входить в состав методического обеспечения работ по проектированию сложных технических комплексов, по управлению предприятиями и организациями. Она может развиваться, дополняться конкретными методами, т.е. аккумулировать опыт, накапливаемый в процессе проектирования и управления.

Рассмотренные основные понятия и закономерности теории систем являются основой для создания *методик системного анализа*, определяющих подходы к исследованию и разработке системы, последовательность этапов и методы их выполнения.

Учитывая особую роль человека как носителя системы ценностей и целостности системы, для обеспечения большей объективности при получении экспертных оценок разработан ряд *методов организации сложных экспертиз*.

Системный анализ находит широкое применение в различных сферах деятельности организации. Наибольшую полезность методы и модели системного анализа могут оказать в реализации идей и подходов *стратегического и инновационного менеджмен-*

*та.* Все этапы стратегического менеджмента связаны с применением подходов, методов и методик системного анализа. И в то же время достижения, подходы, выработанные в теории стратегического менеджмента независимо от теории систем, полезны для развития системного анализа. Поэтому основные из этих подходов и понятий – STEP- и SWOT-анализ, модели анализа конкурентных стратегий на основе матриц БКГ, подходов Ансоффа и Портера, понятие ключевой компетенции и др. – также включены в справочник.

Для практического использования понятий и закономерностей теории систем, методов моделирования систем и процессов принятия решений, методик системного анализа с ними нужно знакомиться более подробно, обращаясь к помещенным в этой книге статьям, подготовленным авторами справочника, которые в большинстве случаев являются также авторами соответствующих подходов и методик.

- 1. Бергаланфи Л. фон. История и статус общей теории систем / Л.фон Бергаланфи // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37. 2. Исследования по общей теории систем / под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 45–54. 4. Волкова В.Н. Искусство формализации / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 5. Волкова В.Н. Из истории теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. 6. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. 7. Системный анализ в экономике и организации производства: учебник / под ред. С.А. Валугева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 44–50. 8. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 40–44. 9. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. *В.Н. Волкова*

# ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

А

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ** – применение технических средств в помощь человеку при управлении техническими объектами, технологическими процессами производства или для обработки информации, используемой при принятии решений.

В истории автоматизированной технологии обработки информации выделяют несколько периодов: 1) механизация управления и процессов обработки данных; 2) разработка *систем обработки данных* (СОД, см.); 3) разработка *автоматизированных информационных систем* (АИС, см.), автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП); предприятиями (АСУП) (см. *Автоматизированная система управления*); 4) разработки автоматизированных информационно-советующих систем (АИСС); 5) разработка локальных *автоматизированных информационных систем* (см.) на основе персональных ЭВМ и сетевых технологий; 6) интегрированная информационная поддержка принятия решений на всех стадиях «жизненного цикла» системы (CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологии, см. *Интегрированные автоматизированные системы управления производственными системами*).

- 1. Автоматизированные системы управления предприятиями: учеб. пособие / под ред. В.Н. Четверикова. – М.: Высшая школа, 1979. 2. Автоматизированные системы управления предприятиями и объединениями; под ред. В.И. Терещенко. – Киев: Техніка, 1978. 3. А вен О.И. Что же такое АСУ? / О.И. Авен. – М.: Наука, 1981. 4. АСУ на промышленном предприятии: Методы создания. Справочник / С.Б. Михалев, Р.С. Седегов, А.С. Гринберг и др. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 5. Глушков В.М. Введение в АСУ / В.М. Глушков. – Киев: Техніка, 1972. 6. Мишенин А.И. Теория экономических информационных систем / А.И. Мишенин. – М.: Финансы и статистика, 2004. 7. Модин А.А. Справочник разработчика АСУ / А.А. Модин Е.Г. Яковенко, Е.П. Погребной; под ред. Н.П. Федоренко и В.В. Карбиского. – М.: Экономика, 1978. Б.И. Кузин, В.Н. Юрьев

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СТРУКТУР ЦЕЛЕЙ И ФУНКЦИЙ СИСТЕМ** – средство, обеспечивающее процесс формирования и анализа структур целей и функций (ЦФ) систем, который является одной из принципиальных особенностей системного анализа, отличающей его от других направлений системных исследований.

Изучение процесса формирования и анализа структур ЦФ показало, что это – сложный, итеративный процесс, требующий уточнения признаков структуризации, классификаторов по этим признакам, изменения их последовательности, обсуждения вариантов структуры и внесения изменений в классификаторы. При использовании различных *методик структуризации целей и функций* (см.) и признаков структуризации можно получить различные варианты структуры ЦФ. Кроме того, если структуру параллельно формируют разные специалисты, то даже при использовании одной и той же методики они, как правило, получают разные варианты структуры, что обусловлено проявлением *закономерности целостности* (см.) на каждом уровне иерархической структуры.

При сопоставлении вариантов структуры, согласовании мнений экспертов нужно обеспечить быструю повторяемость формирования новых, уточненных структур, что весьма трудоемко.

Анализ пошагового формирования структуры ЦФ с использованием методик структуризации позволяет частично формализовать этот процесс и подготовить возможность автоматизации. Анализ показал, что при помещении рядом составляющих классификаторов смежных – вышестоящего и нижележащего – уровней иерархической структуры и при продвижении по структуре сверху вниз происходит уточнение содержания функций управления, т.е. как бы появляется новый смысл помещенных рядом компонентов (вследствие осмысления формируемых сочетаний человеком, их воспринимающим и оценивающим).

Эффект появления нового смысла исследуется в теории множеств (при формировании множеств из «пар», «троек», «*n*-ок» элементов исходных множеств), в математической лингвистике и теории языков (при создании тезаурусов).

В соответствии с лингвистическим представлением рассматриваемой ситуации можно сформировать списки понятий (классификаторы по признакам структуризации) и, помещая рядом составляющие из разных списков (операция конкатенации), по-

лучить таким образом все возможные конкретизированные функции, которые должны быть в структуре целей и функций при принятой концепции представления системы и соответствующей методике.

Сопоставляя такие конкретизированные подцели (функции), можно определить, какие из них в условиях конкретной организации являются более значимыми, по каким нужно осуществлять централизованное управление, создавать автоматизированные процедуры поддержки принятия решений и т.п.

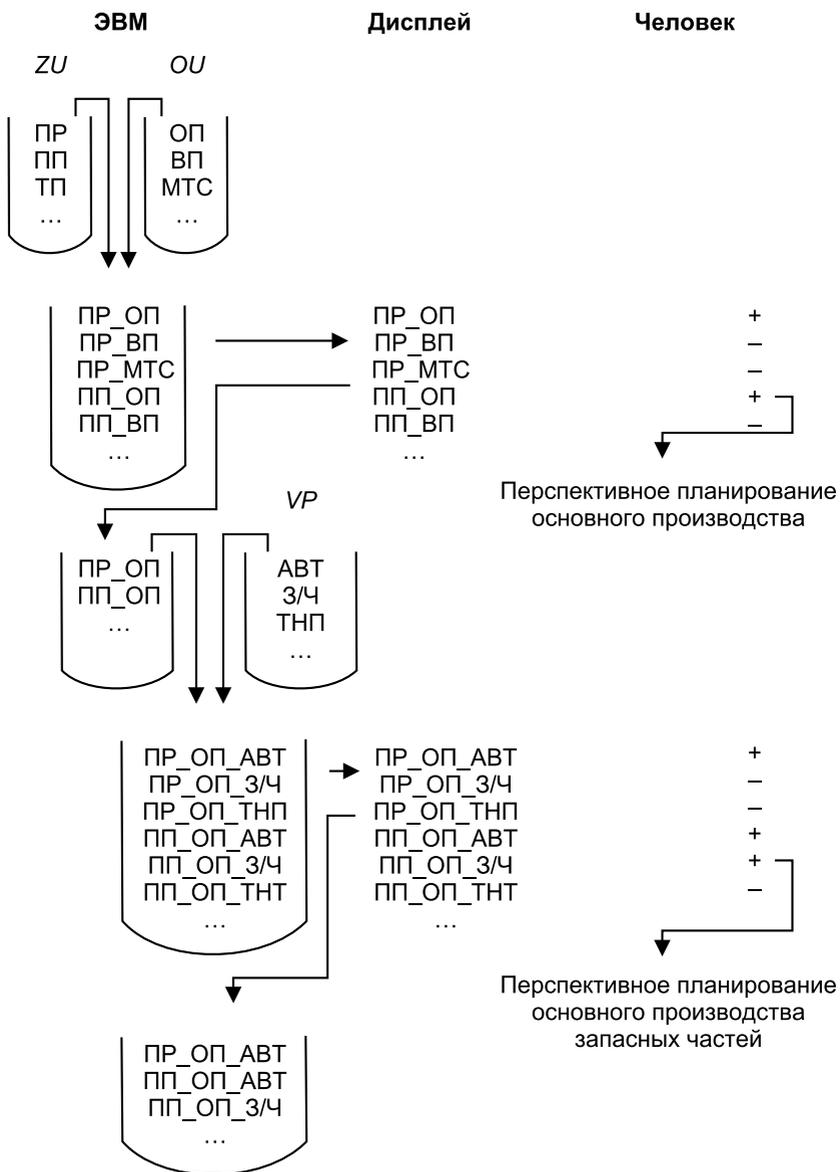
С математической точки зрения процедура базируется на получении размещений с повторениями, число которых согласно известной теореме комбинаторики определяется как  $R = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n$ , где  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – числа элементов в исходных списках (классификаторах). Если число списков (признаков структуризации), например, равно 7 и в каждом классификаторе содержится хотя бы по 7 составляющих, то  $R = 7 \cdot 7$ , что много не только для человека, но и для ЭВМ, или если элементов и списков больше, то перебор (хотя число размещений с повторениями меньше, чем число сочетаний) становится практически нереализуемым.

Поэтому решение проблемы автоматизации формирования структуры ЦФ оказалось возможным только в диалоговом режиме.

Опираясь на основную идею «*дерева целей*» (см.) – отсечение малозначимых (несущественных или несуществующих) элементов «дерева» на каждом шаге структуризации – можно существенно сократить перебор при автоматизации формирования структуры ЦФ. Для реализации этой идеи разрабатывают автоматизированные диалоговые процедуры анализа целей и функций.

Процедура базируется на получении размещений с повторениями из исходных списков классификаторов по используемым признакам структуризации (в результате чего возникает эффект появления нового смысла) и позволяет сократить перебор путем отсечения малозначимых или не имеющих смысла размещений на каждом шаге структуризации.

Идея организации такой человеко-машинной процедуры иллюстрируется на рисунке, где приводится пример применения методики Уёмова – Кошарского (см. *Методика структуризации целей и функций, основанная на двойственном определении системы*), согласно которой на верхних уровнях иерархической структуры используются признаки структуризации «объект управления» (OU) – «цикл управления»(ZU). В качестве третьего признака



структуризации – любой другой (напр., признак «виды продукции» – *VP*), классификатор которого включает автомобили (АВТ), запасные части (З/Ч), товары народного потребления (ТНП).

Классификаторы *ZU* и *OU* содержат следующие составляющие для *ZU* (ПР – прогнозирование, ПП – перспективное планирование, ТП – текущее планирование и т.д.); для *OU* (ОП – основное производство, ВП – вспомогательное производство, МТС – материально-техническое снабжение и т. д.). Участие человека-эксперта показано ответами по двоичной системе «+» – «-», что осуществляется экспертом в режиме диалога (нажатием клавиш «д»-«н» или «у»-«п»). Результаты опроса экспертов хранятся в соответствующих файлах, которые можно редактировать и выводить на дисплей или принтер (по выбору пользователя).

Предусмотрена возможность распределения функций по подразделениям *организационной структуры* (см.) и инвертирования формируемой структуры взаимосвязей функций и подразделений, чтобы на верхний уровень структуры вынести названия подразделений, а на нижележащие уровни – выполняемые ими функции.

В Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (Ленинградском политехническом институте) разработано несколько вариантов автоматизированных диалоговых процедур формирования и анализа структур целей и функций [2–8].

- 1. Волкова В.Н. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 157–166. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учебник / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 163–168. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учебник / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 281–286. 4. Волкова В.Н. Опыт проектирования и использования диалоговой процедуры анализа целей и функций системы управления / В.Н. Волкова, М.И. Старовойтова // Проблемы построения проблемно-ориентированных диалоговых систем: сб. трудов конф. – Батуми, 1985. – С. 194–199. 5. Волкова В.Н. Автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций систем управления на ПЭВМ / В.Н. Волкова, В.А. Аксенов, М.И. Старовойтова // Новые информационные технологии в системотехнике: Сб. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 30–34. 6. Волкова В.Н. Автоматизация формирования и анализа структур целей и функций систем управления / В.Н. Волкова, А.А. Кошкина. – СПб.: Изд. СПбГТУ, 2000. 7. Волкова В.Н. Автоматизированные диалоговые процедуры анализа целей / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд. СПбГТУ, 2001. 8. Семенов Д.А. Автоматизированная диалоговая процедура «Структурайзер» и ее применение для реструктуризации организационного

управления предприятием / Д.А. Семенов // Системный анализ в проектировании и управлении: Сб. тр. VII Международной научно-практич. конференции. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 298–300.

*В.Н. Волкова, М.И. Старовойтова*

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА (АИС)** – термин, используемый в широком смысле для названия всех информационных систем, в которых для сбора, хранения, обработки и поиска информации используются средства вычислительной техники.

В истории становления информационных систем относительно независимо развивались несколько направлений. Вначале, когда появилась возможность обработки информации с помощью ЭВМ, был распространен термин *системы обработки данных* – СОД (см).

Термин СОД широко использовался при разработке систем радиоуправления ракетами и другими космическими объектами, при создании информационных систем сбора и обработки статистической информации о состоянии атмосферы и т.п.

По мере увеличения памяти ЭВМ основное внимание стали уделять проблемам организации баз данных (БД). Это направление сохраняет определенную самостоятельность и в настоящее время занимается в основном разработкой и освоением средств технической и программной реализации обработки данных с помощью вычислительных машин разного рода.

Для сохранения этого направления по мере его развития появились термины «базы знаний», «базы целей», позволяющие расширить толкование проблемы собственно создания и обработки баз данных до задач, которые ставятся в дальнейшем при разработке информационных систем.

Начиная с 60-х гг. XX в. в истории развития информационных систем в нашей стране относительно независимо сформировались два направления: 1) разработка *автоматизированных информационных систем* – АСУ (см.) как первой очереди *автоматизированных систем управления* (АСУ) (см.); 2) разработка *автоматизированных систем научно-технической информации* – АСНТИ (см.).

Работы по их созданию начались практически одновременно.

Первое направление – разработка АИС и АСУ – было инициировано научно-техническим прогрессом и возникшими в связи с этим проблемами организационного управления.

Зарубежная практика шла по пути разработки отдельных программных процедур для бухгалтерских, материально-складских систем и т.п., и основные работы проводились в направлении исследования и совершенствования возможностей вычислительной техники, разработки средств, обеспечивающих наиболее рациональную организацию информационных массивов, удобный для пользователя интерфейс, наращивание памяти ЭВМ и т.п.

В нашей стране проблема обеспечения информацией управленческих работников была поставлена сразу системно. Была разработана классификация АСУ, ориентированная на разные уровни управления предприятием и отраслями (см. *Автоматизированная система управления*).

Для управления разработками автоматизированных систем были подготовлены соответствующие руководящие методические материалы [11], в которых АСУ трактовалась как развивающаяся система и вводилось понятие очереди. АСУ первой очереди разрабатывались как информационная система (АИС), а по мере осознания сложности проблемы разработки АСУ и последующие очереди иногда создавались как развитие АИС.

АИС создавались как *фактографические информационно-поисковые системы* с предоставлением информации пользователям в виде регламентированных форм, в которых фактографическая информация группировалась в соответствии с решаемыми на ее основе прикладными задачами.

В большинстве случаев ввод (как и вывод) информации в целях удобства сбора данных осуществлялся с помощью предварительно заполняемых форм документов. И теоретически АИС можно считать *документально-фактографическими ИПС*. Однако, как правило, эта терминология в практике разработки АИС не использовалась.

Второе направление – разработка автоматизированной системы научно-технической информации – было инициировано пониманием возрастания роли информации во всех сферах деятельности.

Зарубежные работы в этой области первоначально проводились в форме создания разрозненных локальных центров сбора и анализа информации (см. *Интегральные системы научно-технической информации*), а в последующем стала наблюдаться тенденция к их объединению, по крайней мере в рамках одной отрасли.

В нашей стране задача обеспечения производственной, научно-исследовательской и управленческой деятельности научно-тех-

нической информацией сразу, как и при создании АСУ, была поставлена системно.

Были подготовлены и утверждены Техническое задание [13] и Единый порядок [6] разработки общегосударственной *автоматизированной системы научно-технической информации* (АСНТИ), в структуре которой предусматривались общегосударственные, отраслевые и региональные органы НТИ, отделы или бюро научно-технической информации (ОНТИ, БТИ) на предприятиях, в научно-исследовательских институтах и в других организациях.

Благодаря возросшим возможностям вычислительной техники, особенно в результате появления персональных ЭВМ, рассмотренные направления сближаются. По мере роста объемов и усложнения структуры массивов АИС возникает необходимость в заимствовании понятий теории информационного поиска, разработанной ранее для систем НТИ. В свою очередь, решению проблемы разработки информационно-поискового языка (ИПЯ) с высокими смысловыражающими возможностями может помочь структуризация, которая всегда была основой классификации и кодирования фактографической информации, а при разработке АСНТИ полезны понятия функциональной и обеспечивающей частей, введенные в нормативных документах по разработке АИС и АСУ. Кроме того, для управления современными предприятиями и организациями необходим спектр информации разного вида и назначения – от фактографической до документальной.

Работы по созданию централизованных АСУ и АСНТИ были приостановлены в связи с преобразованиями 1990–1991 гг. И какое-то время в основном создавались локальные информационные системы и базы данных в различных фирмах, страницы документальной и фактографической информации в сети Интернет. Но затем происходит постепенная адаптация к новым экономическим условиям. В частности, информационные ресурсы и некоторые принципы организации ГСНТИ сохранились в системе, которую в настоящее время условно называют российской ГСНТИ – РГСНТИ.

При переходе к рыночной экономике, к правовому государству возрастает роль новых видов информации – нормативно-правовой и нормативно-методической, регламентирующих деятельность предприятий при предоставлении им большей самостоятельности, для чего разрабатываются системы нормативно-методического обеспе-

чения управления (СНМОУ) и их автоматизированный вариант – АСНМОУ (см. *Автоматизированная система нормативно-методического обеспечения управления*).

Учитывая важную роль нормативно-правовой информации при внедрении рыночных принципов управления экономикой, создаются автоматизированные системы нормативно-правовой документации (АС НПД) разного рода и назначения (типа систем «Консультант», «Кодекс», «Гарант» и т.п.).

Появился широкий спектр специализированных автоматизированных информационных систем на основе персональных ЭВМ.

В их числе экономические информационные системы (ЭИС), бухгалтерские информационные системы (БУИС), банковские информационные системы (БИС), информационные системы рынка ценных бумаг, маркетинговые ИС (МИС) и т.п.

Пока еще не существует единой классификации автоматизированных информационных систем.

Поскольку долгое время различные направления (СОД, АИС и АСУ, АСНТИ) развивались относительно независимо, классификации предлагались в каждом из этих классов независимые (см. *Информационная система*).

- 1. Автоматизированные системы управления предприятиями: учеб. пособие / под ред. В.Н. Четверикова. – М.: Высшая школа, 1979.
- 2. Автоматизированные системы управления предприятиями и объединениями / под ред. В.И. Терещенко. – Киев: Техніка, 1978.
- 3. А вен О.И. Что же такое АСУ? / О.И. Авен. – М.: Наука, 1981.
- 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997.
- 5. Глушков В.М. Что такое ОГАС / В.М. Глушков, В.Я. Валах. – М.: Наука, 1981.
- 6. Единый порядок и технические условия разработки и внедрения автоматизированных подсистем обработки, поиска, хранения, выдачи и передачи информации. – М.: ГКНТ при СМ СССР, 1972.
- 7. Информационные системы / под общ. ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998.
- 8. Информационные системы в экономике / под ред. В.В. Дика. – М.: Финансы и статистика, 1996.
- 9. Михайлов А.И. Основы информатики / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1968.
- 10. Михайлов А.И. Научные коммуникации и информатика / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1976.
- 11. Общественные руководящие методические материалы по созданию автоматизированных систем управления предприятиями и производственными объединениями (АСУП). – М.: Статистика, 1977.
- 12. Совершенствование структуры функциональной части АСУ автомобильным производством / В.И. Тихонов, В.Н. Авдий-

ский, В.Н. Волкова, М.И. Старовойтова. – Тольятти: Филиал ЦНИИТЭИ-Автопрома, 1988. 13. Т е х н и ч е с к о е задание на совершенствование Единой системы научно-технической информации в стране. – М.: ГКНТ СМ СССР, 1972. *В.Н. Волкова, Б.И. Кузин, В.Н. Юрьев*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ (АСНМОУ)**

является автоматизированной информационной системой, обеспечивающей *систему нормативно-методического обеспечения управления* (СНМОУ) предприятием или организацией. АСНМОУ должна содержать нормативно-правовые, нормативно-методические, нормативно-технические и организационно-распорядительные документы (НПД, НМД, НТД и ОРД), которые обеспечивают реализацию принятых проектных и управленческих решений в процессе функционирования предприятия (организации).

Пример структуры СНМОУ и АСНМОУ, соответствующей основным функциям, которые должна выполнять СНМОУ, приведен на рис. 1.

В качестве методической основы создания АСНМОУ можно использовать идею стратифицированного представления процедуры поиска информации с углублением на каждой ступени анализа документов, содержащихся в АСНМОУ, путем структуризации их текстов (рис. 2): на верхней ступени – поиск документов по функциям управления; на второй ступени – поиск разделов документов в соответствии с запросом пользователя, взаимоотношений между разделами связанных один с другим документов; на третьей ступени – вывод текстов на дисплей или принтер (полный текст или его разделы); на четвертой ступени (которая реализуется не для всех документов) – аналитико-синтетическая обработка (АСО) текстов документов (например, необходимая при поиске информации в текстах законов и других НПД).

Согласно теории информационного поиска базы данных (БД) и информационно-поисковые процедуры АСНМОУ создаются как автоматизированные документально-фактографические информационно-поисковые системы (АДФИПС). При этом виды БД определяются спецификой конкретного предприятия (организации).

Например, БД можно выделить таким образом: создать базу данных НПД (общегосударственных, региональных), БД о НМД, НТД и ОРД органов управления отраслью и предприятием.

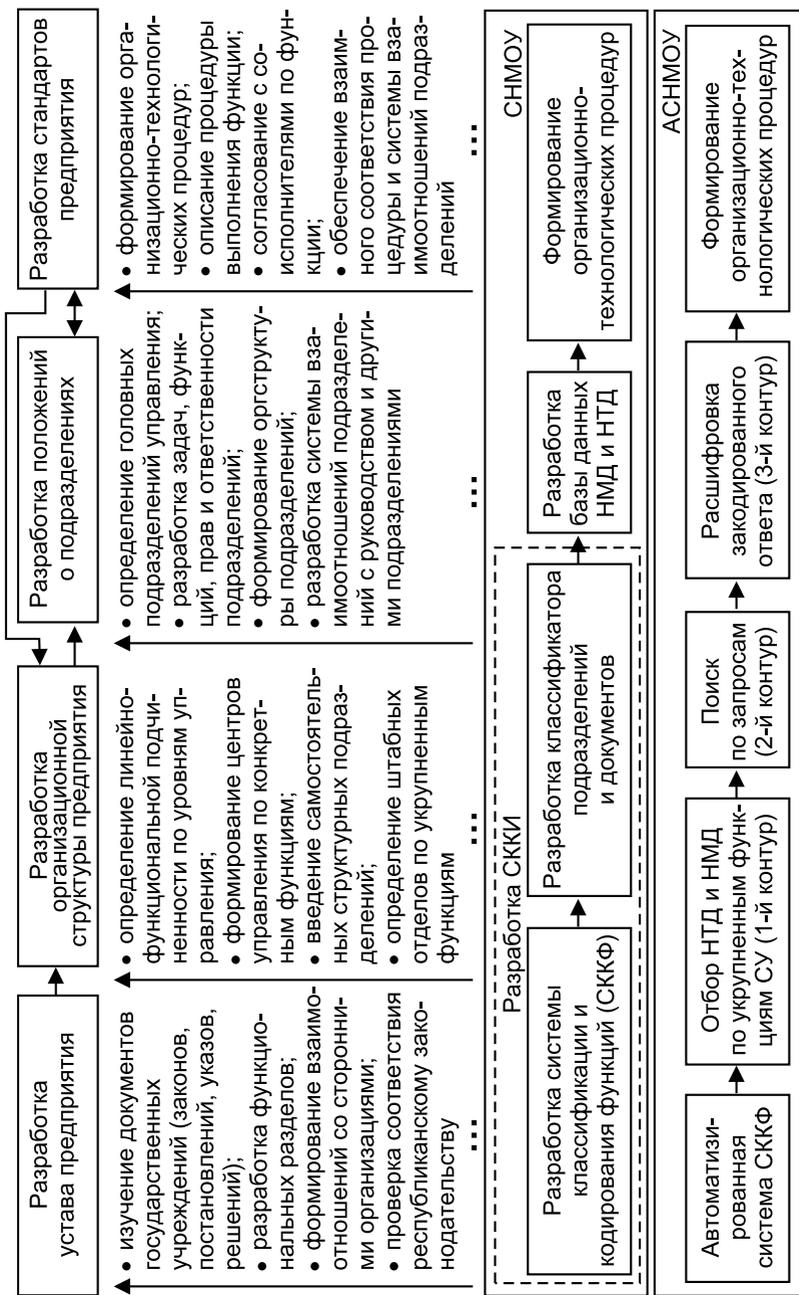


Рис. 1

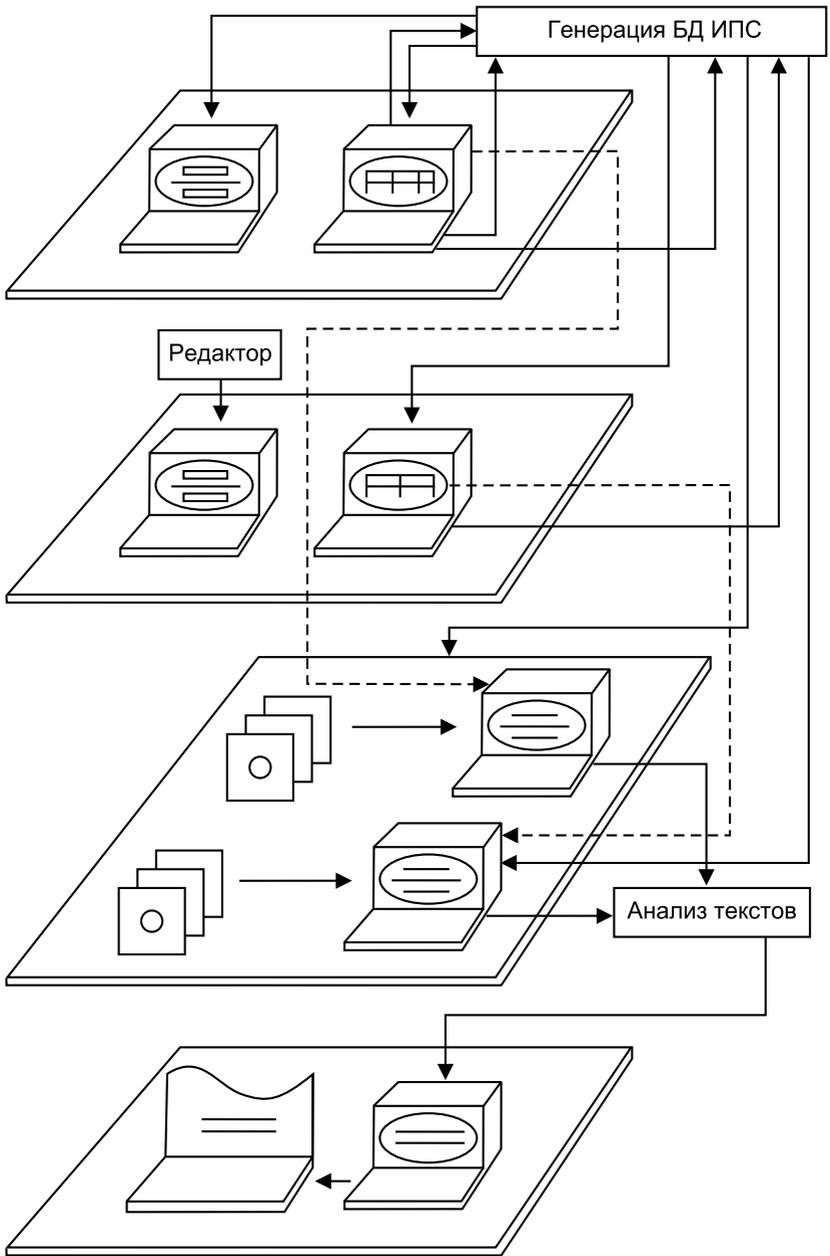


Рис. 2

Для АСНМОУ предприятием может оказаться целесообразным создать отдельные базы стандартов предприятия (СТП), должностных инструкций, положений о подразделениях и т.п.

БД для крупных предприятий и организаций имеют значительный объем. Для организации эффективных процедур поиска и корректировки информации их нужно структурировать. Исследование особенностей БД АСНМОУ и работы с ними показало, что выбрать наиболее целесообразную жесткую структуру БД практически невозможно, так как, с одной стороны, подразделения предприятия принимают участие в выполнении нескольких укрупненных функций управления, а с другой – одна и та же функция выполняется несколькими подразделениями. Кроме того, одна и та же функция регламентируется в документах разного вида – и в положениях о подразделениях, и в СТП, и в ОРД, и т. п. При этом одинаковые или сходные, с различной степенью детализации и с несколько модифицированными формулировками функции в разных документах закодированы по-разному, в соответствии с группированием и индексированием функций, принимаемыми при разработке документа его авторами.

Для того чтобы объединить все документы АСНМОУ в единую систему и реализовать идею стратифицированного углубления анализа текстов, необходим единый *информационно-поисковый язык* (см. *Информационный поиск*), который должен устранить синонимию, омонимию и другие недостатки естественного языка и позволить более точно описывать наименования и содержание документов, помогая их сопоставлять, сортировать по определенным показателям, осуществляя поиск по запросам, также переведенным на этот язык.

В соответствии с идеей стратификации необходимо создавать сопряженные БД для различных страт. Используя терминологию теории НТИ, удобно говорить не о создании БД для различных страт, а о создании двух-, трехконтурных или более автоматизированных документально-фактографических ИПС (АДФИПС).

В частности, при создании БД нормативно-правовых документов исследованы два варианта АДФИПС: двухконтурный – с поиском документов в первом контуре и извлечением из них разделов (которые содержат сведения о правовых нормах, представляющих собой фактографическую информацию для пользователя) во втором; трехконтурный с поиском в контурах последовательно в первом – документов, во втором – разделов и в третьем – статей (содержащих еще более конкретную фактографическую информацию о правовых нормах).

Аналогично могут быть организованы БД нормативно-методических документов.

Например, при создании АДФИПС положений о подразделениях предприятия или БД НМД, НТД и ОРД могут быть образованы следующие контуры: 1) отбор положений или других НМД, НТД, ОРД, соответствующих запросу (т.е. структуризация под запрос, к примеру, по укрупненным функциям, по группам подразделений); 2) поиск в базе отобранных документов по запросам пользователя необходимых ему сведений о функциях, сроках и способах выполнения функций и тому подобной фактографической информации (поиск может осуществляться по признакам, предусмотренным при разработке АДФИПС); 3) вывод фрагментов документов, отобранных в соответствии с запросами во втором контуре, на дисплей или принтер в удобной для пользователя форме (например, разделов положений, содержащих необходимые сведения о функциях и сроках их выполнения исполнителями, в виде таблицы и т.п.).

Пример трехконтурной АДФИПС нормативно-методических документов АСНМОУ (положений о подразделениях оргструктуры предприятия) приведен на рис. 3, где обозначены массивы:

*KFD* – коды (индексы) НТД и НМД по укрупненным функциям системы управления предприятием;

*OKFD* – отобранные коды НТД и НМД;

*KNTD* – фасетные коды НТД и НМД для поиска по запросам;

*OKNTD* – отобранные фасетные коды НТД и НМД для поиска по запросам;

*NTD* – индексированные тексты НТД и НМД для расшифровки кодов (индексов);

*ONTD* – отобранные индексированные тексты НТД и НМД (их разделов) для расшифровки кодов и вывода результатов поиска на дисплей или принтер и для моделирования оргтехпроцедур.

Структуры БД в этом примере имеют следующий вид (в приводимом примере принята фасетная классификация).

• Структура первого контура БД положений о подразделениях:

$\langle N1, N2, F1, F2, F3 \rangle$ ,

где *N1* – номер отдела в существующей СНМОУ;

*N2* – наименование отдела;

*F1, F2, F3* – индексы укрупненной функции в структуре целей и функций предприятия, выполнение которой регламентируются в положении.

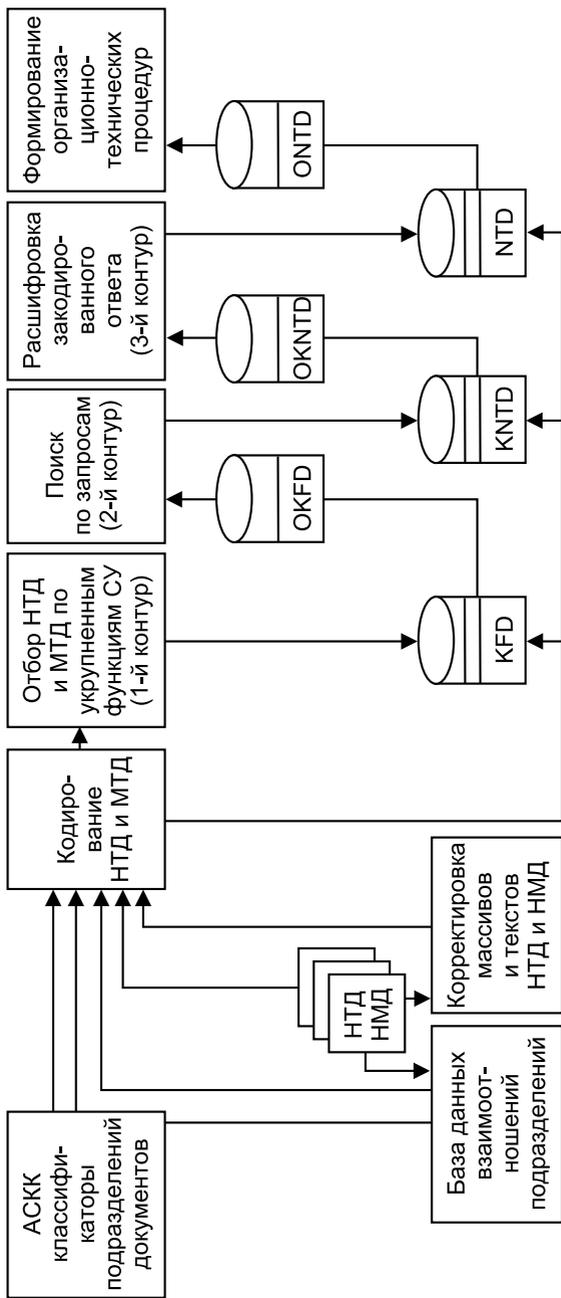


Рис. 3

- Структура БД второго контура (АДФИПС) – раздела «Взаимосвязь» положений о подразделениях предприятия, составляющими которого являются функции положения:

*<F1, F2, F3, NI, DI, FJ, DK, NP>*,

где *F1, F2, F3* – индексы укрупненной функции в структуре целей и функций предприятия, выполнение которой регламентирует подготавливаемый документ;

*NI* – номер отдела – изготовителя документа в существующей СНМОУ;

*DI* – наименование вида исходного документа (или конкретного документа), для подготовки которого выполняется функция;

*FJ* – индекс функции внутри положения;

*DK* – индекс документа, получаемого в результате выполнения функции;

*NP* – номер отдела, в который передается документ для дальнейшей обработки (согласования). Поиск фактографической информации в этом контуре может осуществляться по любому параметру.

Третий контур – вывод текстов, соответствующих отобранным кодам.

В приведенном примере АДФИПС предусмотрен также блок формирования и анализа организационно-технологических процедур (ОТП) подготовки и реализации управленческих решений.

С целью ускорения разработки АСНМОУ для конкретных предприятий и организаций разрабатываются системы генерации АДФИПС.

С примерами систем генерации АДФИПС можно познакомиться в [1, 2].

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 450–470. 2. Информационные системы / под общ. ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998. – С. 126–144. 3. Волкова В.Н. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 244–287. 4. Чудесова Г.П. Преобразование организационной структуры при изменении формы собственности предприятия / Г.П. Чудесова. – СПб.: СПбГТУ, 1995.

*В.Н. Волкова, Г.П. Чудесова*

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ (АСУ)** – термин, введенный в 60-е гг. XX в. в качестве названия широкого класса автоматизированных систем, предназначенных для сбора, хранения, обработки, поиска и представления информации, используемой при принятии организационно-управленческих решений.

Разработка АСУ была обусловлена научно-техническим прогрессом и возникшими в связи с этим проблемами организационного управления.

*Из истории АСУ и АИС.* Этапы развития машинной (механизированной) обработки экономической информации (МОЭИ) и АСУ в нашей стране можно рассматривать в двух аспектах: историческом и аспекте научно-технической революции.

В историческом аспекте можно выделить несколько периодов [6]:

1. До 1931 г. создавались машиносчетные бюро (МСБ) и машиносчетные установки (МСУ) на транспорте, связи и др. Технические средства – арифмометры и механические счетные машины.

2. С 1931 по 1941 г. создавалась отрасль машиностроения по выпуску клавишных вычислительных машин (КВМ) и перфорационных вычислительных машин (ПВМ). Обработка данных переписи населения в 1939 г. проводилась с помощью отечественной техники. Большое количество МСБ и МСУ возникло на крупных промышленных предприятиях и в органах статистики.

3. В 50-х гг. XX в. появились ЭВМ первого поколения. Создаются в городах (Киев, Минск, Орел и др.) заводы, выпускающие вычислительную технику. В 1949 г. принято постановление о подготовке кадров по организации механизированной обработки экономической информации (ОМОЭИ).

4. Период с 1960 по 1970 г. характеризуется широким использованием ЭВМ для решения экономических задач. В министерствах, центральных органах управления (ЦСУ, Госплан и т.д.) создаются отделы управления ВТ. В 1963 г. вышло постановление о создании АСУ и об улучшении руководства внедрением ВТ.

5. С 1971 по 1980 г. приняты на правительственном уровне основные решения по разработке АСУ, в том числе о создании общегосударственной автоматизированной системы (ОГАС), обеспечивающей информацией принятие решений по управлению народным хозяйством страны. Развитие АСУ пошло по пути повышения эффективности и качества, перехода на ЭВМ третьего и четвертого поколений.

6. С 1985 г. создается отрасль материального производства «Информационно-вычислительное обслуживание». В этот период разрабатывается общегосударственная программа создания, развития производства

и эффективного использования ВТ и автоматизированных систем (АС) в период до 2000 г. Разработаны системы автоматизированного проектирования (САПР) и автоматизированные системы научных исследований (АСНИ).

Этапы развития МОЭИ и АСУ с позиций научно-технического прогресса:

- 1) до 1950 г. – частичная механизация;
- 2) 1950 –1959 гг. – комплексная механизация;
- 3) с 1960 г. – частичная автоматизация;
- 4) 70-е гг. – комплексная автоматизация.

Зарубежная практика шла по пути разработки отдельных программных процедур, и основные работы велись в направлении исследования и совершенствования возможностей ВТ, разработки средств, обеспечивающих наиболее рациональную организацию информационных массивов, удобный для пользователя интерфейс, наращивание памяти ЭВМ и т.п.

В нашей стране проблему обеспечения информацией управленческих работников поставили сразу системно. Была разработана классификация АСУ, в которой выделялись АСУ разных уровней управления – АСУП (для уровня предприятий и организаций), ОАСУ (отраслевые АСУ), республиканские и региональные АСУ (РАСУ) и, наконец, – ОГАС.

Эти уровни составили основу концепции идеолога АСУ академика В.М. Глушкова по разработке стратифицированной структуры ОГАС [5].

На уровне предприятий, особенно создаваемых в 70-е гг. XX в. научно-производственных объединений (НПО), выделяли АСУ технологическими процессами (АСУ ТП), АСУ технической подготовки производства (АСУ ТПП) и АСУ организационного управления предприятием (АСУП, или АСОУ), а в структуре АСУП выделялись уровни (страты) – АСУ объединения, АСУ предприятий и организаций (научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро и т.п.), входящих в НПО, АСУ производств, комплексов цехов, АСУ цехов и участков и т.д.

В начале 80-х гг. XX в. была осознана целесообразность создания объединенных организационно-технологических АСУ (АСУОТ), в которых информация, регистрируемая при управлении технологическими процессами, использовалась и при организационном управлении. Инициатором создания АСУОТ было объединение АвтоВАЗ [12].

В последующем автоматизированные системы управления предприятиями стали создаваться как *интегрированные АСУ промышленными предприятиями* (см.).

В настоящее время разновидностью АСУ можно считать *корпоративные информационные системы*.

**Принципы построения АСУ.** Системы такой сложности, как АСУ, обладают рядом специфических особенностей, присущих *открытым системам* (см.) с активными элементами, к которым, в частности, относятся неоднозначность использования понятий «цели» – «средства», «система» – «подсистема»; трудность прогнозирования (а иногда и принципиальная непредсказуемость) поведения системы при внесении в нее изменений. Для *адаптивности* (см. *Адаптация*) системы, способности ее к самоорганизации необходимо предусмотреть соответствующие средства, обеспечивающие целеобразование, способность вырабатывать варианты поведения, а при необходимости – изменять структуру системы управления и АСУ. Эти особенности были осознаны с самого начала разработки АСУ и обусловили необходимость привлечения для их объяснения и обеспечения системных представлений, *закономерностей функционирования и развития систем* (см. *Введение*).

Понимая неизбежность и необходимость проявления названных особенностей и обуславливающих их закономерностей, которые действуют в системе независимо от того, учитывают их или нет, и затрудняют управление разработками АСУ, некоторые специалисты уже на ранних стадиях создания этих систем предлагали создавать системы проектирования и развития АСУ, разрабатывать единые принципы проектирования и терминологию.

В понимании принципов построения и организации функционирования АСУ большую роль играет выделение функциональной и обеспечивающей частей, что не утрачивает актуальности и в настоящее время при разработке любых автоматизированных информационных и управляющих систем.

На стадии проектирования АСУ любой страты (общегосударственной, региональной, предприятия и организаций и т.п.) возникает необходимость разделить сложную систему на части, чтобы распределить работы между исполнителями, занимающимися разработкой и организацией функционирования АСУ. Прежде всего в соответствии с постановкой задачи принятия решения по аналогии с понятиями «цель» и «средства» введены понятия функциональной и обеспечивающей части АСУ (ФЧ и ОЧ).

Структура ФЧ определяется на основе анализа целей и функций системы управления, для обеспечения деятельности которой создается АСУ, т.е. ФЧ определяет цели и основные функции АСУ и включает подсистемы и задачи, выбранные для автоматизации.

Структура ОЧ включает различные виды обеспечения (организационное, информационное, техническое, программное, лингвистическое, эргономическое и т.п.), необходимые для реализации подсистем и задач ФЧ АСУ, т.е. ОЧ представляет собой средства для достижения целей, реализации задач АСУ.

При этом под структурой ОЧ понимается не просто совокупность средств информационного, технического, алгоритмического, программного и других видов обеспечения, а организационная форма взаимодействия всех видов обеспечения, необходимых для реализации подсистем и задач (входящих в структуру ФЧ) на всех уровнях иерархии структуры ОЧ.

Необходимость введения новых терминов ФЧ и ОЧ вместо привычных понятий «цели» и «средства» можно объяснить с помощью особенностей и закономерностей сложных систем.

В таких системах каждый уровень иерархической структуры ведет себя как «двуликий Янус» – как средство по отношению к вышестоящему уровню и как цель по отношению к нижележащему [4, 11] (см. *Закономерность коммуникативности*). Соответственно составляющие любого промежуточного уровня в структуре АСУ можно рассматривать как подсистемы по отношению к вышестоящему уровню, к системе в целом, их объединяющей, и в то же время, взятые сами по себе, они могут рассматриваться как системы. Поэтому часто при разработке АСУ возникали противоречивые ситуации; отдельные подсистемы «Кадры», «Качество» и т. п. на определенной стадии развития АСУ начинали называть «АСУ-Кадры», «АСУ-Качество», т.е. считали их как бы самостоятельными системами – АСУ, в то время как по отношению к общей системе предприятия они продолжали оставаться подсистемами.

Более того, на каждом уровне иерархической структуры ФЧ в силу закономерности иерархической упорядоченности всегда следует определять свои цели, функции, задачи, средства. Иными словами, понятия «цели» и «средства» в иерархической структуре всегда используются неоднозначно, и это должны осознавать разработчики АСУ, не тратя время на бессмысленные дискуссии по поводу терминов.

Следует также подчеркнуть, что введенные термины ФЧ и ОЧ нельзя однозначно отождествлять с понятиями «цели» и «средства». Они являются более сложными понятиями.

Действительно, иногда говорят об обеспечивающих подсистемах, имея в виду определенным образом организованные совокупности информационных, программных, технических средств, используемых для реализации не укрупненной функции (для которой используется термин «функциональная подсистема»), а какой-либо вспомогательной функции нижележащих уровней или определенной их совокупности (например, такого рода обеспечивающими подсистемами были банки данных опре-

деленного назначения, типа ИНЭС, СИОД, БАНК [3, 7 и др.] и т.п., используемые как средства для хранения и предоставления лицам, принимающим решения, информации о состоянии производства). С другой стороны, когда сдают в эксплуатацию функциональную подсистему, то имеют в виду не только совокупность задач и функций, включаемых в нее, но и технические средства, алгоритмы, программы, инструкции по их использованию, т.е. и совокупность средств реализации этой подсистемы.

Таким образом, термины ФЧ и ОЧ являются обобщающими условными понятиями, которые помогают охарактеризовать автоматизированную систему как целое, выделив в ней работы, в большей мере связанные с анализом и описанием целей системы (формирование структуры ФЧ АСУ), и работы, связанные с определением общей структуры средств реализации целей (разработка структуры ОЧ АСУ).

Соответственно при управлении разработками автоматизированных систем вначале выделяли две основные проблемы.

1. Формирование структуры ФЧ АСУ и выбор на ее основе первоочередных задач автоматизации (для АСУ соответствующей очереди).

2. Разработка структуры ОЧ АСУ.

Решение этих двух основных проблем взаимосвязано. С одной стороны, структура ОЧ определяется структурой ФЧ. В то же время выбор структуры ФЧ во многом зависит от имеющихся технических, программных и иных средств, т.е. потенциальных возможностей ОЧ.

Основные проблемы управления разработками АСУ, в свою очередь, делят на задачи, которые часто можно решать параллельно.

Например, первую проблему можно разделить на следующие подэтапы:

1.1. Прогнозирование структуры ФЧ АСУ. Разработка прогнозного варианта структуры ФЧ АСУ (на 20 лет) и основных направлений развития АСУ (на 10 лет).

1.2. Разработка структуры ФЧ АСУ последующей очереди (на 5 лет). Эту задачу называют также «Выбор первоочередных подсистем (комплексов задач) автоматизации для последующей очереди АСУ».

1.3. Выбор первоочередных (наиболее значимых) задач в подсистемах АСУ и последовательности их проектирования и внедрения.

1.4. Проектирование подсистем АСУ.

Вторую проблему можно представить следующим образом.

2.1. Выбор (обоснование) структуры ОЧ АСУ.

2.2. Проектирование отдельных видов обеспечения.

Кроме того, в действующей АСУ важно создавать организационную структуру АСУ, которая определяется составом и взаимосвязью отдельных структурных подразделений в условиях эксплуатации АСУ.

Поэтому к названным основным проблемам позже была добавлена проблема управления разработками АСУ.

Систему управления разработками АСУ можно считать 3-й составляющей АСУ и разделить ее на следующие задачи.

3.1. Разработка структуры организационного обеспечения управлением разработками АСУ (на первых этапах эта задача сводится к определению структуры подразделения, разрабатывающего АСУ, а по мере развития – к определению взаимоотношений между подразделениями-разработчиками и подразделениями, использующими результаты разработки в практической деятельности, а также подразделениями, подготавливающими и контролирующими вводимую информацию). Иногда эту составляющую выделяют в самостоятельную проблему.

3.2. Создание информационной системы для обеспечения проектирования подсистем и задач АСУ.

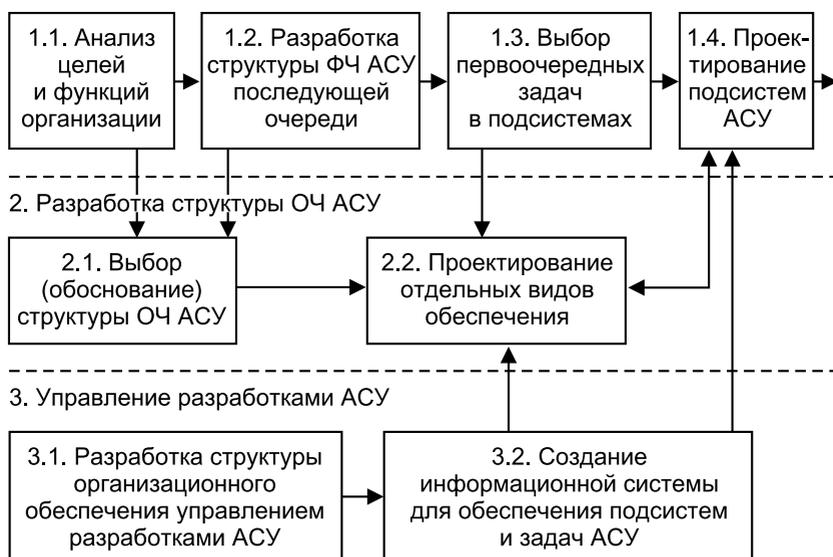
Структура этапов разработки АСУ приведена на рисунке.

Для управления разработками автоматизированных систем были подготовлены соответствующие руководящие методические материалы [9], в которых АСУ трактовалась как развивающаяся система и вводилось понятие очереди. АСУ первой очереди разрабатывалась как *автоматизированная информационная система* (АИС).

В руководящих материалах оговаривался также порядок разработки соответствующей очереди АСУ (АИС) и ввода ее в эксплуатацию. Были разработаны типовые положения, типовые структуры, порядок разработки и другие методические материалы, объединенные затем в единый документ – *Общепромышленные руководящие методические материалы (ОРММ)* [8–10].

Четкий порядок, установленный ОРММ, ускорил распространение опыта организации работ по проектированию АСУ, облегчил учет и сравнительный анализ хода работ по созданию АСУ на предприятиях и в отраслях. Однако одновременно он ограни-

## 1. Формирование структуры ФЧ АСУ



чил развитие АСУ ряда предприятий и НПО, что неизбежно в силу «закона необходимого разнообразия» У.Р. Эшби [2, 4, 11, 13] (именно за счет ограничения «разнообразия», т.е. упрощения, типизации и в конечном счете примитивизации систем, было достигнуто облегчение в управлении разработками АСУ).

Негативная роль ОРММ была в дальнейшем осознана, особенно в период перехода предприятий на самокупаемость и хозрасчет. Типовые решения и структуры можно использовать лишь на начальных стадиях создания АСУ, а по мере их развития все больше начинают проявляться индивидуальные особенности конкретных предприятий и объединений и связанная с этим индивидуальность АСУ.

В этих условиях для управления разработками АСУ потребовались методические материалы, в которых не только определялось бы, что нужно делать в процессе разработки АСУ, и диктовались бы готовые типовые проектные решения, а давались бы рекомендации о том, как нужно принимать решения по выбору структуры АСУ, средств ее реализации в конкретных условиях.

Начались разработки соответствующих методик и моделей для принятия решений по управлению разработками АИС и АСУ с учетом конкретных особенностей предприятий и организаций.

Очевидно, что принципы построения и эффективность АСУ существенно зависят от уровня развития информационных технологий.

С появлением в середине 70-х гг. XX в. персональных ЭВМ происходит корректировка идеи АСУ: от ВЦ и централизации управления – к распределенному вычислительному ресурсу и децентрализации управления. Такой подход нашел свое применение в системах поддержки принятия решений (СППР), которые характеризуют новый этап компьютерной информационной технологии организационного управления. При этом уменьшается нагрузка на централизованные вычислительные ресурсы и верхние уровни управления, что позволяет сосредоточить в них решение крупных долгосрочных стратегических задач.

В то же время для обеспечения эффективного управления крупными предприятиями остается актуальной идея создания *интегрированных АСУ промышленными предприятиями* (см.), а для обеспечения информацией по группам основных функций организационного управления предприятиями – *корпоративных информационных систем* (см.) – КИС в настоящее время ставится задача интеграции КИС.

- 1. Автоматизированные системы управления предприятиями: учеб. пособие / под ред. В.Н. Четверикова. – М.: Высшая школа, 1979. 2. Автоматизированные системы управления предприятиями и объединениями / под ред. В.И. Терещенко. – Киев: Техніка, 1978. 3. Авен О.И. Что же такое АСУ? – М.: Наука, 1981. 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 5. Глушков В.М. Что такое ОГАС / В.М. Глушков, В.Я. Валах. – М.: Наука, 1981. 6. Информационные системы / под общ. ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998. 7. Келехсаев А.А. Системы интеграции и обработки данных СИОД1, СИОД2 / А.А. Келехсаев, А.П. Беляев. – М., 1977. 8. Комплекс общепромышленных руководящих методических материалов по созданию АСУ и САПР. – М.: Статистика, 1980. 9. Общепромышленные руководящие методические материалы по созданию автоматизированных систем управления предприятиями и производственными объединениями (АСУП). – М.: Статистика, 1977. 10. Общепромышленные руководящие методические материалы по созданию многоуровневых интегрированных автоматизированных систем управления производственными объединениями (предприятиями). – М.: Статистика, 1986.

11. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.
12. Тихонов В.И. Совершенствование структуры функциональной части АСУ автомобильным производством / В.И. Тихонов, В.Н. Авдийский, В.Н. Волкова, М.И. Старовойтова. – Тольятти: Филиал ЦНИИТЭИ Автопрома, 1988.
13. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Иностран. лит., 1959.  
*В.Н. Волкова, В.Н. Юрьев*

**АДАПТАЦИЯ** – в широком смысле способность системы приспособляться к изменяющимся условиям *среды*, помехам, исходящим от среды и оказывающим влияние на систему [2–4, 6].

Адаптация определялась также как «способность системы обнаруживать целенаправленное приспособляющееся поведение в сложных средах» [4, С. 20].

Адаптация к среде, характеризующейся высокой неопределенностью, позволяет системе обеспечивать достижение целей в условиях недостаточной априорной информации о среде. Если система не может приспособляться к изменениям окружающей среды, то она погибает.

В процессе приспособления могут изменяться: *количественные характеристики* системы (например, параметры автопилота при изменении динамических характеристик летательного аппарата); структура системы (например, ящерица способна при необходимости отбрасывать хвост, аналогично способность корректировки организационной структуры считается полезной характеристикой предприятия и организации, обеспечивающей их адаптивность); корректироваться закон функционирования, поведение системы.

В развивающихся системах существуют различные формы адаптации: рост системы, настройка и самонастройка, обучение и самообучение, объединение систем в коллектив и, наоборот, распад системы на части и т.д.

Высокоорганизованные адаптивные системы обладают, кроме того, способностью изменять внешнюю среду для того, чтобы не было необходимости изменять свое поведение, т.е. способны адаптировать внешние условия для достижения своих целей.

Простые формы адаптивного поведения наблюдаются у регуляторов, в технических системах с обратной связью (см. *Обратная связь*).

Наиболее развитую теорию адаптации применительно к техническим системам разработал Я.З. Цыпкин [5]. Он исследовал различные формы регулирования в технических системах и по-

казал, что моделью адаптивного поведения можно считать управление с упреждением (или компенсационное управление). При этом устройство, измеряющее помехи и вырабатывающее компенсирующие воздействия, которые корректируют закон управления, в теории Цыпкина представлено как *интегратор* или *дигратор* (при дискретных помехах) для накопления помех до уровня, при котором необходима корректировка закона управления.

Принцип иллюстрируется рис. 1, на котором показаны: устройство, вырабатывающее программу или закон функционирования  $x(t)$ ; устройство управления (обозначенное специальным знаком – кругом, разделенным на сектора), вырабатывающее совокупность управляющих воздействий  $u(t)$ ; объект управления; помехи  $z_j$ ; выходной результат  $y_{\text{вых}}$ ; компенсационное устройство – интегратор или дигратор;  $Z_{\text{кр}}$  – критический уровень помех, после достижения которого скачком изменяются закон управления  $x(t)$  и соответственно набор управляющих воздействий  $u(t)$ .

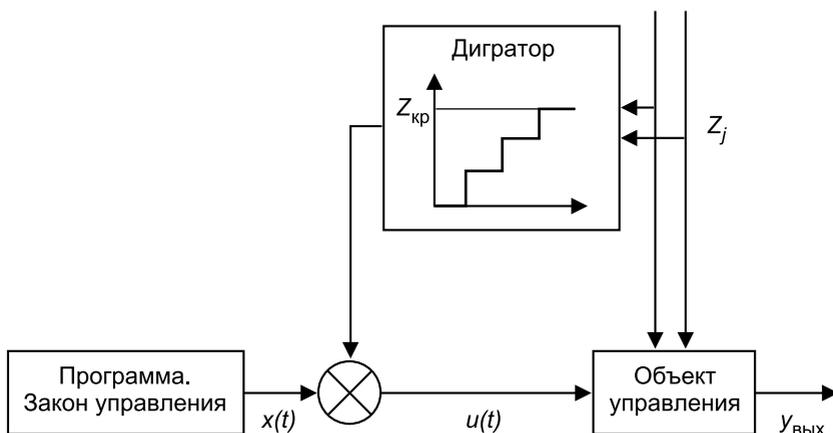


Рис. 1

Такой принцип применяется, например, в устройствах, обеспечивающих стабилизацию напряжения при колебаниях постоянного тока, в бортовой аппаратуре автоматически управляемых космических летательных аппаратов и т.п.

В более развитых моделях адаптивного поведения применяется сочетание принципов обратной связи и дигратора (рис. 2).

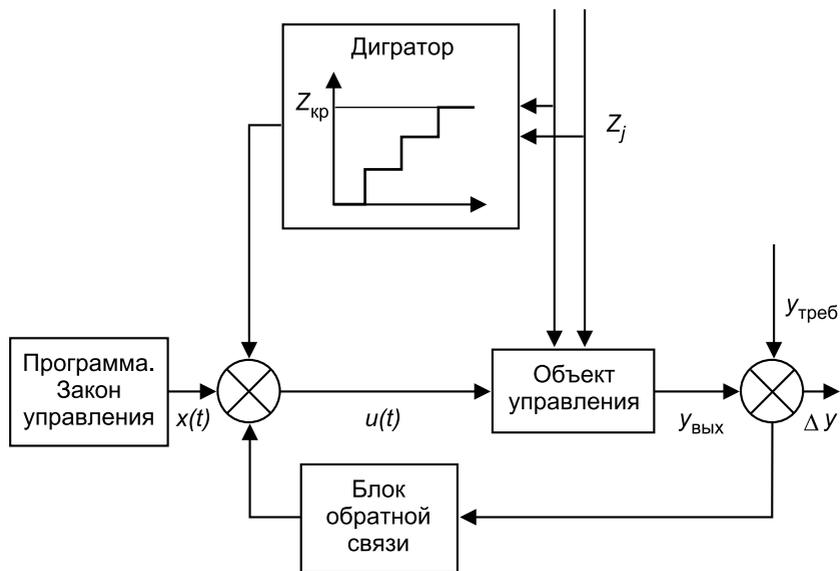


Рис. 2

С помощью такой модели можно объяснить функционирование основных регуляторов организма человека, формирование условных рефлексов (например, при накоплении опыта прикосновения к горячему уютю человек в дальнейшем автоматически отдергивает руку, даже если уют не горячий, и т.п.).

Сочетание принципов обратной связи и дигратора (см. рис. 2) представляет собой одну из моделей *гомеостата*, которую исследовали в первых работах по моделированию процессов адаптации.

Проблему адаптации применительно к живым, биологическим системам, в частности при моделировании мозга, исследовал У.Р. Эшби [6]. В дальнейшем понятие адаптации, наблюдаемое в биологических системах и исследуемое вначале для технических систем, стали применять для социально-экономических систем.

Формы адаптационного поведения социально-экономических систем весьма разнообразны. Адаптационное поведение проявляется в изменении поведения системы в условиях нестабильной

среды с целью поддержания существенных переменных в определенных границах, сохранения основных свойств системы или ее структуры.

Поддержание в определенных границах существенных переменных экономических систем (таких, например, как прибыль, рентабельность, объем выпуска продукции, объем реализации, себестоимость продукции, фонд зарплаты и т.п.), сохранение основных свойств системы называют иногда *экономическим гомеостазом* (см.) [3].

В последующем стал осознаваться тот факт, что на нестабильность системы могут влиять не только *внешние* помехи, но и *внутренние* факторы нестабильности системы, применительно к которым тоже можно говорить об адаптации и о необходимости создания адаптационных механизмов.

Исследования нелинейных развивающихся систем с неопределенностью показали, что каждая из них в своем развитии проходит через максимум адаптационных возможностей, после чего наступает фаза размножения. В результате этих исследований М.Б. Игнатьевым [1] был открыт феномен *адаптационного максимума*.

Наиболее сложной формой адаптации обладают *самоорганизующиеся системы*. При этом исследование адаптационных механизмов приводит к анализу сложных проблем противоречия стабильности (управляемости) и свободы инициатив, которые играют важную роль в обеспечении развития системы и приспособляемости к изменяющимся условиям (как внешним, так и внутренним), т.е. к исследованию проблемы *устойчивости развивающихся систем* (см. *Устойчивость*).

- 1. Игнатьев М.Б. Голономные автоматические системы / М.Б. Игнатьев. – М.: Изд. АН СССР, 1963. 2. Куликовски Р. Оптимальные и адаптивные процессы в системе автоматического регулирования / Р. Куликовски. – М.: Наука, 1967. 3. Математика и кибернетика в экономике: Словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. 4. Приспособляющиеся автоматические системы. – М.: Иностран. лит., 1963. 5. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968. 6. Эшби У.Р. Конструкция мозга / У.Р. Эшби. – М.: Мир, 1964.

*В.Н. Волкова*

**АДЕКВАТНОСТЬ (МОДЕЛИ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ)** – правомерность применения модели для исследования решаемой задачи, отображения проблемной ситуации. В более узком смысле под адекватностью модели понимают ее соответствие моделируемому объекту или процессу.

При этом следует иметь в виду, что полного соответствия модели объекту быть не может. Имеется в виду доказательство соответствия модели и объекта по наиболее существенным свойствам объекта.

Адекватность модели при разработке и исследовании технических систем доказывается экспериментом.

Основой доказательства адекватности статистических моделей является доказательство репрезентативности (представительности) выборки (см. *Статистические методы*).

По мере усложнения систем эксперимент затрудняется, усложняется и доказательство репрезентативности выборочного исследования. Доказательство адекватности становится проблемой.

При отображении проблемных ситуаций методами математического программирования и в случае применения имитационного моделирования используют специальные методы доказательства адекватности, основанные на *верификации* модели.

При этом в случае имитационного моделирования (особенно с применением ЭВМ) оценку адекватности модели выполняют в виде двух этапов: оценки адекватности принципиальной структуры модели, т.е. ее замысла, принципов построения, легенды компьютерной модели (собственно *верификация*), и доказательства достоверности ее реализации – *валидация* имитационной модели.

При доказательстве адекватности прогнозов предложен ряд методов верификации прогнозов: *прямая верификация* (путем разработки прогноза методом, отличным от первоначально используемого), *косвенная верификация* (другим прогнозом, полученным из источников информации), верификация *повторным опросом*, верификация *оппонентом* и др. [2].

Доказательство адекватности моделей развивающихся систем с активными элементами осуществляют пошагово (см. *Самоорганизующаяся, или развивающаяся система*) [3].

- 1. Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума. – М.: Финансы и статистика, 2002. 2. Лопатников Л.И. Краткий экономико-математический словарь / Л.И. Лопатников. – М.: Наука, 1979. – С. 15–16, 33, 36. 3. Рабочая книга по прогнозированию / отв. ред. И.В.Бестужев-Лада. – М.: Мысль, 1982. – С. 409–410. 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 3-е изд., перераб. и доп. – СПбГПУ, 2003. В.Н. Волкова

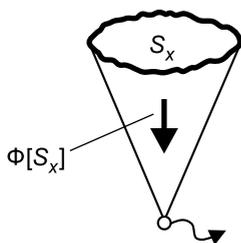
**АКСИОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ** – отображение системы в терминах *целей* (см. *Цель*) и целевых функционалов.

Термин используется в тех случаях, когда необходимо выбрать подход к отображению системы на начальном этапе моделирования и противопоставить это отображение описанию системы в терминах «перечисления» элементов системы и их непосредственного влияния один на другой, т.е. *каузального представления*, характерного для традиционных математических моделей.

- 1. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 355, 622. В.Н. Волкова

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ** – термин, введенный в классификации *методов формализованного представления* (см.) систем Ф.Е. Темникова [1].

*Аналитическими* в этой классификации названы методы, которые отображают (см. рисунок) реальные объекты и процессы в виде точек (безразмерных в строгих математических доказательствах), совершающих какие-либо перемещения в пространстве (либо взаимодействующих между собой) или обладающих каким-то поведением, посредством оператора (функции, функционала)  $\Phi[S_x]$ . Поведение отдельных точек или их взаимодействие описывается строгими соотношениями, имеющими силу *закона*.



Отметим, что термин «аналитические» используется и в более широком смысле. Например, «аналитические модели», для представления которых могут использоваться не только детерминированные, но и статистические, и теоретико-множественные, и иные методы моделирования.

Основу понятийного (терминологического) аппарата этих представлений составляют понятия классической математики (величина, формула, функция, уравнение, система уравнений, логарифм, дифференциал, интеграл и т.д.).

Аналитические представления имеют многовековую историю развития, для них характерно стремление не только к строгости терминологии, но и к закреплению за некоторыми специальными величинами определенных символов (напр., удвоенное

отношение площади круга к площади вписанного в него квадрата  $\pi \approx 3,14$ ; основание натурального логарифма  $e \approx 2,7$  и т.д.).

На базе аналитических представлений возникли и развиваются математические теории различной сложности – от аппарата классического *математического анализа* (методов исследования функций, их вида, способов представления, поиска экстремумов функций и т. п.) до таких новых разделов современной математики, как *математическое программирование* (линейное, нелинейное, динамическое и т.п.), *теория игр* (матричные игры с чистыми стратегиями, дифференциальные игры и т. п.).

Эти теоретические направления стали основой многих прикладных направлений, в том числе теории автоматического управления, теории оптимальных решений и т.д.

При моделировании систем применяется широкий спектр символических представлений, использующих «язык» классической математики. Однако далеко не всегда эти символические представления адекватно отражают реальные сложные процессы, и их в этих случаях, вообще говоря, нельзя считать строгими математическими моделями.

Большинство из направлений математики не содержат средств постановки задачи и доказательства адекватности модели. Адекватность доказывается экспериментом, который по мере усложнения проблем становится также все более сложным, дорогостоящим, не всегда бесспорен и реализуем.

В то же время в состав этого класса методов входит относительно новое направление математики – *математическое программирование*, которое содержит средства постановки задачи и расширяет возможности доказательства адекватности моделей.

Аналитические методы применяются в тех случаях, когда свойства системы можно отобразить с помощью детерминированных величин или зависимостей, т. е. когда знания о процессах и событиях в некотором интервале времени позволяют полностью определить поведение их вне этого интервала. Эти методы используются при решении задач движения и устойчивости, оптимального размещения, распределения работ и ресурсов, выбора наилучшего пути, оптимальной стратегии поведения, в том числе в конфликтных ситуациях, и т. п.

В то же время при практическом применении аналитических представлений для отображения сложных систем следует иметь в виду, что они требуют установления всех детерминированных

связей между учитываемыми компонентами и целями системы в виде аналитических зависимостей. Для сложных многокомпонентных, многокритериальных систем получить требуемые аналитические зависимости крайне трудно. Более того, даже если это и удастся, то практически невозможно доказать правомерность применения таких выражений, т.е. адекватность модели рассматриваемой задаче. В таких ситуациях следует обратиться к другим методам моделирования.

- 1. Волкова В.Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974. 2. Волкова В.Н. Методы формализованного представления систем: учеб. пос. / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1993. 3. Денисов А.А. Теория больших систем управления: учеб. пос. для вузов / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 92–96. *В.Н. Волкова*

## Б

**БАЛАНСОВЫЕ МОДЕЛИ** – экономико-математические модели, построенные в виде системы уравнений, представляющих балансовые соотношения произведенного и распределенного продукта.

Статистические и динамические балансовые модели широко применяются при моделировании экономических систем и процессов. В основе создания таких моделей лежит балансовый метод, заключающийся во взаимном сопоставлении материальных, трудовых и финансовых ресурсов и потребностей в них. Под балансовой моделью экономической системы в целом понимается система уравнений, каждое из которых выражает требование баланса между производимым отдельными экономическими объектами количеством продукции и совокупной потребностью в ней. Рассматриваемая система состоит из экономических объектов, каждый из которых выпускает некоторый продукт, одна часть которого потребляется другими объектами системы, а другая выводится за пределы системы в качестве конечного продукта. Кроме требования соответствия производства каждого продукта и потребности в нем существуют такие балансовые соотношения, как соответствие рабочей силы и количества рабочих мест, пла-

тежеспособного спроса населения и предложения товаров (услуг) и т.п. При этом соответствие понимается либо как равенство, либо (не жестко) как достаточность ресурсов для покрытия потребности, т.е. наличие некоторого резерва.

Важнейшими видами балансовых моделей являются частные материальные, трудовые и финансовые балансы народного хозяйства и отдельных отраслей, межотраслевые балансы, а на уровне промышленных предприятий – матричные техпромфинпланы.

Идея балансовых моделей впервые была сформулирована в СССР, а первая таблица межотраслевого баланса опубликована ЦСУ в 1926 г. Однако развитая математическая модель межотраслевого баланса, открывающая большие возможности для анализа, предложена в 1936 г. в трудах американского экономиста русского происхождения В.В. Леонтьева.

Принципиальная схема межотраслевого баланса производства и распределения общественного продукта в стоимостном выражении приведена в таблице. Народное хозяйство представлено в виде совокупности  $n$  отраслей, каждая из которых фигурирует и как производящая, и как потребляющая. Совокупный продукт разделен на две части: промежуточный и конечный продукт. Речь идет о некотором определенном промежутке времени (как правило, это плановый год).

Производящие отрасли	Потребляющие отрасли				Конечный продукт	Валовой продукт
	1	2	...	$n$		
1	$X_{11}$	$X_{12}$	...	$X_{1n}$	$Y_1$	$X_1$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	...	$X_{2n}$	$Y_2$	$X_2$
...	...	...	...	...	...	...
$n$	$X_{n1}$	$X_{n2}$	...	$X_{nn}$	$Y_n$	$X_n$
Амортизация	$C_1$	$C_2$	...	$c_n$		
Оплата труда	$v_1$	$v_2$	...	$v_n$		
Чистый доход	$m_1$	$m_2$	...	$m_n$		
Валовой продукт	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$		

В таблице приняты следующие обозначения:  $X_i$  – общий объем продукции отрасли  $i$  за данный промежуток времени – так называемый валовой выпуск отрасли  $i$ ;  $X_{ij}$  – объем продукции отрасли  $i$ ,

расходуемый отраслью  $j$  в процессе производства;  $Y_i$  – объем продукции отрасли  $i$ , предназначенный к потреблению в непродуцственной сфере – объем конечного потребления.

Балансовый характер этой таблицы выражается в виде двух важнейших соотношений. Во-первых, итог материальных затрат любой потребляющей отрасли и ее условно-чистой продукции равен валовой продукции этой отрасли:

$$X_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} + Z_j; \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Величина условно-чистой продукции  $Z_j$  равна сумме амортизации  $c_j$ , оплаты труда  $v_j$  и чистого дохода  $m_j$  отрасли  $j$ .

Во-вторых, валовая продукция любой отрасли равна сумме материальных затрат потребляющих ее продукцию отраслей и конечной продукции данной отрасли:

$$X_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} + Y_i; \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Суммируя по всем отраслям уравнения (1) и (2), соответственно получим:

$$\sum_{j=1}^n X_j = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n X_{ij} + \sum_{j=1}^n Z_j.$$

$$\sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} + \sum_{i=1}^n Y_i.$$

Отсюда следует, что должно выполняться соотношение

$$\sum_{j=1}^n Z_j = \sum_{i=1}^n Y_i.$$

В. Леонтьев, рассматривая развитие американской экономики, установил, что величины  $a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j}$  остаются постоянными в течение

ряда лет, будучи обусловлены примерным постоянством применяемой технологии. Таким образом, для выпуска любого объема  $X_j$  продукции отрасли  $j$  необходимо затратить продукции отрасли  $i$  в количестве  $a_{ij} X_j$ , где  $a_{ij}$  – постоянный коэффициент. Другими словами, материальные издержки пропорциональны объему производимой продукции. Это допущение характеризует линейность существующей технологии. Согласно гипотезе линейности имеем:

$$X_{ij} = a_{ij} X_j \quad (i, j = 1, \dots, n).$$

Коэффициенты  $a_{ij}$  называют коэффициентами прямых затрат. Уравнения (2) в матричной записи принимают следующий вид:

$$X = AX + Y, \quad (3)$$

где  $A = (a_{ij})$  – матрица коэффициентов прямых материальных затрат;

$X$  – вектор-столбец валовой продукции;

$Y$  – вектор-столбец конечной продукции.

Система уравнений (3) называется экономико-математической моделью межотраслевого баланса (моделью В. Леонтьева), или моделью «затраты – выпуск», с помощью которой можно выполнить следующие расчеты:

1) подставив в модель объемы  $X_i$  валовой продукции каждой отрасли, можно определить объем  $Y_j$  конечной продукции отрасли:

$$Y = (E - A) X;$$

2) задав величины  $Y_i$  конечной продукции всех отраслей, можно определить величины  $X_i$  валовой продукции каждой отрасли:

$$X = (E - A)^{-1} Y;$$

3) установив для ряда отраслей величины валовой продукции, а для всех остальных отраслей задав объемы конечной продукции, можно найти объемы конечной продукции первых отраслей и объемы валовой продукции вторых.

Балансовые модели не содержат механизма сравнения отдельных вариантов экономических решений и не предусматривают

взаимозаменяемость ресурсов, что не позволяет осуществить выбор оптимального варианта развития экономической системы. Этим определяется ограниченность применения балансовых моделей.

- 1. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 37–40. 2. Новичков Б.Ф. Материальные балансы / Б.Ф. Новичков. – М.: Экономика, 1972. 3. Леонтьев В.В. Экономические эссе / В.В. Леонтьев. – М.: Политиздат, 1990. 4. Данилин В.И. Система матричных моделей технико-экономического управления на предприятии / В.И. Данилин. – М.: Экономика, 1977. В.Н. Юрьев

**БЕСКОНЕЧНОМЕРНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – раздел математического программирования, изучающий задачи оптимизации в бесконечномерных пространствах.

Общая задача бесконечномерного программирования состоит в максимизации функционала  $f(x)$ , определенного на некотором множестве  $K$  топологического линейного пространства  $X$  при ограничениях  $\mathbf{F}(x) \leq \mathbf{0}$ ,  $\mathbf{H}(x) = \mathbf{0}$ . Здесь  $\mathbf{F} : X \rightarrow V$ ,  $\mathbf{H} : X \rightarrow W$  – отображения (операторы);  $V$ ,  $W$  – некоторые (в общем случае другие) топологические линейные пространства; в  $V$  задан выпуклый конус  $K_V$ , и неравенство  $\mathbf{v}_1 \leq \mathbf{v}_2$  в  $V$  означает по определению, что  $\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2 \in K_V$ . Векторы  $x \in K$ , удовлетворяющие ограничениям  $\mathbf{F}(x) \leq \mathbf{0}$ ,  $\mathbf{H}(x) = \mathbf{0}$ , называются допустимыми, а искомые векторы – оптимальными. Обычно предполагается, что  $K$  и  $K_V$  замкнутые множества, а  $f$ ,  $\mathbf{F}$  и  $\mathbf{H}$  непрерывны.

Задачи минимизации, а также задачи, в которых ограничение задается противоположным неравенством (т.е. «больше, равно»), укладываются в эту схему, так как умножением на  $(-1)$  функционала или неравенства они сводятся к задаче максимизации с ограничением вида «меньше, равно».

Иногда рассматривают задачи с несколькими ограничениями типа неравенств и равенств:

$$\mathbf{F}_1(x) \leq \mathbf{0}, \dots, \mathbf{F}_{m_1}(x) \leq \mathbf{0}, \quad \mathbf{H}_1(x) = \mathbf{0}, \dots, \mathbf{H}_{m_2}(x) = \mathbf{0},$$

где  $\mathbf{F}_i : X \rightarrow V_i$  ( $i = 1, \dots, m_1$ );

$\mathbf{H}_k : X \rightarrow W_k$  ( $k = 1, \dots, m_2$ ), и неравенства в  $V_i$  определяются некоторым выпуклым конусом  $K_i \subset V_i$ .

Эта задача является частным случаем первоначальной и формально сводится к ней, если положить  $V = V_1 \times \dots \times V_{m_1}$ ,  $W = W_1 \times \dots \times W_{m_2}$ ,  $K_V = K_1 \times \dots \times K_m$  и рассмотреть отображения  $\mathbf{F}(\mathbf{x}) = (\mathbf{F}_1(\mathbf{x}), \dots, \mathbf{F}_{m_1}(\mathbf{x}))$ ,  $\mathbf{H}(\mathbf{x}) = (\mathbf{H}_1(\mathbf{x}), \dots, \mathbf{H}_{m_2}(\mathbf{x}))$ .

Класс задач бесконечномерного программирования с конечным числом функциональных ограничений сводится к задачам конечномерного математического программирования.

Теоретически наиболее разработаны *бесконечномерное выпуклое программирование* [1, 2, 4] и его часть – *бесконечномерное линейное программирование* [1, 3]. Отдельные результаты (например, обобщенная теорема двойственности) разработаны для общей задачи бесконечномерного программирования [2].

В теории бесконечномерного выпуклого программирования изучаются задачи, в которых отображение  $\mathbf{H}$  линейно, а множество  $K$ , функционал  $f$  и отображение  $\mathbf{F}$  выпуклы. Задачи, где  $K$  выпуклое множество, а  $f$ ,  $\mathbf{F}$  и  $\mathbf{H}$  линейны, относятся к бесконечномерному линейному программированию. Основным результатом бесконечномерного выпуклого программирования является теорема о седловой точке, обобщающая теорему Куна–Таккера в конечномерном выпуклом программировании.

С теоремой о седловой точке и ее обобщениями тесно связана *теория двойственности*, которая изучает взаимозависимость пары задач бесконечномерного программирования – исходной задачи и некоторой другой, построенной специальным образом *двойственной задачи* (см.). Эта теория аналогична конечномерной *теории двойственности в математическом программировании* (см.), но она обладает рядом специфических особенностей, обусловленных бесконечной размерностью.

Бесконечномерное программирование тесно связано с такими математическими дисциплинами, как *теория приближений*, *теория бесконечных игр*, *математическая теория оптимальных процессов* и *динамическое программирование* (см.). Методы, используемые в бесконечномерном программировании, – это методы функционального анализа, в первую очередь выпуклого анализа, изучающего общие свойства выпуклых функций и множеств в линейных пространствах.

Из практических применений бесконечномерного программирования наибольшее распространение при моделировании процессов в социально-экономических системах получили *непре-*

*рывные транспортные задачи* (в том числе классическая задача Монжа о перемещении масс, исследованная акад. Л.В. Канторовичем), динамические и стохастические модели экономики.

- 1. Эрроу К.Дж. Исследования по линейному и нелинейному программированию: пер. с англ. / К.Дж. Эрроу, Х. Гурвиц, Х. Удзава. – М.: Инostr. лит., 1962. 2. Гольштейн Е.Г. Теория двойственности в математическом программировании и ее приложениях / Е.Г. Гольштейн. – М.: Наука, 1971. 3. Левин В.Л. Условия экстремума в бесконечномерных линейных задачах с операторными ограничениями / В.Л. Левин // Исследования по математическому программированию: Сб. – М.: Наука, 1968. 4. Математика и кибернетика в экономике: Словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 40–42. Б.И. Кузин, В.Н. Юрьев

**БЛОЧНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – раздел *математического программирования* (см.), изучающий свойства и методы решения задач оптимизации, которые могут быть представлены как система двух или более взаимосвязанных подзадач-блоков.

В практике решения задач математического программирования встречаются такие, системы ограничений которых включают ограничения, содержащие все переменные (эти ограничения образуют блок-связку), и ограничения, содержащие некоторые части их (эти ограничения образуют блоки). Система ограничений таких задач с двумя блоками изображена на рисунке. В общем случае число блоков может быть достаточно большим, а задачи, имеющие блочную структуру, могут быть задачами как *линейного*, так и *нелинейного программирования*.



Расчленение задачи проводится таким образом, чтобы выделить подзадачу, которая может быть решена посредством достаточно эффективного алгоритма, применение которого для задачи

в целом нерационально. В блочном программировании допускается применение как точных, так и приближенных методов решения подзадач и предусматривается реализация последовательности итераций, при этом исследование на каждом последующем шаге осуществляется с учетом результатов предшествующих шагов, что помогает постепенно решить все выделяемые задачи. В этой связи указанные методы представляют интерес для систем с большой начальной неопределенностью.

Начиная с 80-х гг. XX в. данные методы использовались в экономико-математическом анализе как модели процессов планирования и функционирования в экономических системах. В частности, блочное программирование с успехом применяется в отраслевых задачах оптимизации, где естественна декомпозиция общей модели отрасли на блоки – модели предприятий либо на блоки, соответствующие последовательным стадиям переработки сырья.

Для решения задач с блочной структурой могут быть использованы:

1) *метод разложения Данцига–Вулфа* (для задач линейного программирования);

2) *метод планирования на двух уровнях Корнаи–Липтака*.

Оба метода представляют собой последовательные (итерационные) пересчеты, увязывающие решение главной и локальных задач. Различие между ними состоит в том, что в первом итерационный процесс основан на корректировке двойственных оценок ресурсов и продукции (такая корректировка делает для предприятия выгодными планы, все более приближающиеся к оптимальному плану отрасли), а во втором – на корректировке лимитов общетраслевых ресурсов, выделяемых предприятиям. При этом задача сводится к игре между центром, варьирующим допустимые распределения ресурсов, и предприятиями, варьирующими допустимые двойственные оценки ресурсов. Ценой игры является сумма целевых функций предприятий. В обоих методах важную роль играют двойственные оценки, причем их оптимальный уровень определяется вместе с оптимальным распределением ресурсов. Так, метод Данцига–Вулфа как бы моделирует «распродажу» глобальных ресурсов с учетом эффективности  $p_i$  использования  $i$ -го ресурса. Однако в конечном итоге планы локальных объектов устанавливаются с учетом решения задачи центра.

Методы блочного программирования активно применялись в исследованиях декомпозиционного централизованного планирования. При этом они, во-первых, предполагают распределение вычислительных функций между элементами системы и не требуют концентрации информации и, во-вторых, могут включать моделирование элементов децентрализованного управления. Централизм методов блочного программирования находит выражение в том, что критерий оптимальности и правые части ограничений локальных задач определяются алгоритмом решения исходной задачи. Они «предписываются» локальному объекту, представляя собой редукцию на локальный объект глобального критерия (как в методе Данцига–Вулфа) или глобальных ограничений (как в методе Корнаи–Липтака), а не выявляются при его анализе как самоорганизующейся системы.

- 1. Данциг Дж. Линейное программирование, его применение и обобщение. пер. с англ. / Дж. Данциг. – М.: Прогресс, 1966. 2. Гольштейн Б.Г. Новые направления в линейном программировании / Б.Г. Гольштейн, Д.Б. Юдин. – М.: Советское радио, 1966. 3. Корнаи Я. Планирование на двух уровнях: в 3-х т. / Я. Корнаи, Т. Липтак // Применение математики в экономических исследованиях. Т. 3. – М.: Мысль, 1965. 4. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь / Л.И. Лопатников; отв. ред. Н.П. Федоренко. – М.: Наука, 1987. – С. 44–45. 5. Полтерович В.М. Блочные методы вогнутого программирования и их математическая интерпретация / В.М. Полтерович // Экономика и математические методы. Т. V, вып. 2, 1969. – С. 73–85. *Б.И. Кузин, В.Н. Юрьев*

**БОЛЬШАЯ СИСТЕМА** – термин, нашедший широкое использование в период становления системных исследований, чтобы подчеркнуть принципиальные особенности объектов и проблем, требующих применения системного подхода. Эти особенности могли и не характеризоваться вначале, а уточнялись в процессе постановки задачи.

Наиболее широко этот термин использовался при исследовании технических систем и систем автоматизированного и автоматического управления. В частности, был распространен термин *большие системы управления* (БСУ).

В качестве признаков *большой* системы предлагалось использовать различные понятия: понятие *иерархической структуры*, что, естественно, сужало класс структур, с помощью которых может отображаться система; понятие *«человеко-машинная» система*

(но тогда выпадали полностью автоматические комплексы); наличие больших *потоков информации* или большого числа *алгоритмов* ее переработки.

У.Р. Эшби считал, что система является *большой* с точки зрения *наблюдателя*, возможности которого она превосходит в каком-то аспекте, важном для достижения *цели* (см. *Цель*). При этом один и тот же материальный объект в зависимости от цели наблюдателя и средств, имеющихся в его распоряжении, можно отображать или не отображать *большой* системой и, кроме того, физические размеры объекта не являются критерием отнесения объекта к классу *больших* систем.

С появлением и развитием автоматизированных систем управления (АСУ) часто стали отождествлять понятие БСУ с понятием АСУ [2]. Но тогда из класса БСУ исключались транспортные и телефонные сети.

Н.П. Бусленко [1] предложил в силу отсутствия четкого определения отнесения системы к разряду больших и относительной условности этого понятия связывать понятие *большая система* с тем, какую роль играют при изучении системы *комплексные общесистемные вопросы*, что, естественно, зависит от свойств систем и классов решаемых задач. Этой точки зрения придерживаются и авторы первого в нашей стране учебника по теории БСУ [3]. Поэтому часто БСУ определяли на примерах, что сделано и в [3].

Для сфер биологических, экономических, социальных систем иногда понятие большой системы связывали с понятиями *эмерджентности* (см. *Закономерность целостности* (эмерджентности), *открытости* (см. *Открытая система*)), с *активностью элементов*, в результате чего такая система обладает как бы «свободой воли», нестабильным и непредсказуемым поведением и другими характеристиками *развивающихся, самоорганизующихся систем*.

Первоначально, а иногда и до сих пор термины *большая* и *сложная* система используются как синонимы. Некоторые исследователи даже связывали сложность с числом элементов [4, 5] (см. подробнее *Сложная система*).

В то же время были и иные точки зрения: поскольку это разные слова в естественном языке, то и использовать их нужно как разные понятия.

Например, связывали понятие *большая* с *величиной* системы, количеством элементов (часто относительно однородных), а по-

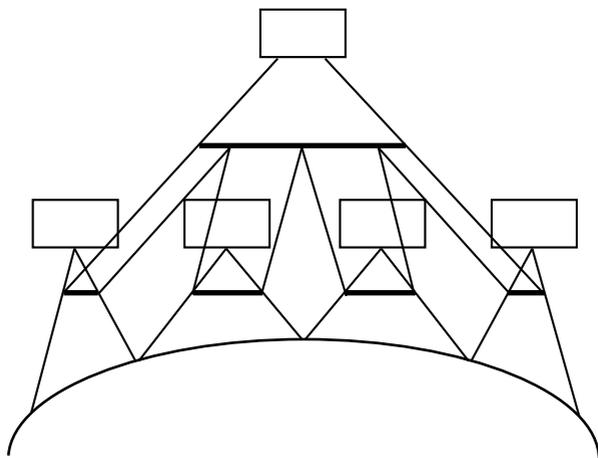
нятие *сложная* – со *сложностью отношений, алгоритмов, или сложностью поведения* [4].

Существуют и более убедительные обоснования различия понятий *большая* и *сложная* система.

В частности, Ю.И. Черняк предлагает называть *большой* системой «такую, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам», а *сложной* – «такую систему, которая строится для решения многоцелевой, многоаспектной задачи» [6, с. 22].

Поясняя эти понятия на примерах, Ю.И. Черняк подчеркивает, что в случае *большой* системы объект может быть описан как бы на одном *языке*, т.е. с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям, подсистемам. А *сложная* система (см.) отражает объект «с разных сторон в нескольких моделях, каждая из которых имеет свой язык», а для согласования этих моделей нужен особый *мета-язык*.

Для того чтобы точнее пояснить понятие *большой* системы, Ю.И. Черняк иллюстрирует его рисунком.



Ю.И. Черняк также в явном виде связывает понятия *большой* и *сложной* системы с понятием *наблюдателя* (см.): для изучения *большой* системы необходим *один наблюдатель* (имеется в виду относительная однородность их квалификации: напр., инженер, или экономист), а для понимания *сложной* системы нужно *несколько*

*наблюдателей* принципиально разной квалификации (например, инженер-машинист, программист, специалист по вычислительной технике, экономист, а возможно и юрист, психолог и т. п.).

- 1. Бусленко Н.П. Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. – М.: Советское радио, 1973. 2. Глушков В.М. Введение в АСУ / В.М. Глушков. – Киев: Техніка, 1974. 3. Денисов А.А. Теория больших систем управления / А.А. Денисов, Д.П. Колесников. – М.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. 4. Методологические проблемы кибернетики: в 2 т. – М.: МГУ, 1970. 5. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б.С. Флейшман. – М.: Сов. радио, 1971. 6. Черняк Ю.И. Анализ и синтез систем в экономике / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1970. 7. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. 8. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Инстр. лит., 1959. В.Н. Волкова

**БУЛЕВО ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – класс задач *дискретного программирования*, в которых все или некоторые переменные могут принимать лишь одно из двух значений: 0 или 1. Математическая модель такой задачи имеет вид:

$$C(X) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max,$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = \overline{1, m},$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & j = \overline{1, n_1}, \quad n_1 \leq n. \\ 0 & \end{cases}$$

Решают эти задачи методами *целочисленного линейного программирования*. Булево линейное программирование открыло путь к трактовке *комбинаторных экстремальных задач* общего вида как задач линейного программирования.

- 1. Корбут А.А. Дискретное программирование / А.А. Корбут, Ю.Ю. Финкельштейн. – М.: Наука, 1969. 2. Финкельштейн Ю.Ю. Алгоритм для решения задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными / Ю.Ю. Финкельштейн // Экономика и математические методы. – 1965. – № 5. – С. 746–759. 3. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь / Л.И. Лопатников; отв. ред. Н.П. Федоренко. – М.: Наука, 1987. В.Н. Юрьев

**ВЕКТОРНАЯ (МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ) ОПТИМИЗАЦИЯ** – направление в теории оптимизации, в котором критерием оптимальности является вектор с несколькими компонентами (критериями).

Пусть  $X$  обозначает множество возможных решений, содержащее по крайней мере два элемента. Через  $\text{Sel}X$  обозначим подмножество множества  $X$ , которое называют *множеством выбираемых (выбранных) решений*. Часто это множество состоит из одного элемента, но в некоторых задачах оно может содержать и большее число элементов. *Задача принятия решений* состоит в осуществлении выбора, т.е. в отыскании множества  $\text{Sel}X$  с использованием всей имеющейся в наличии информации.

Процесс выбора невозможен без того, кто осуществляет выбор, преследуя свои собственные цели. Человека (или коллектив, подчиненный достижению определенной цели), который делает выбор и несет ответственность за его последствия, называют *лицом, принимающим решение* (ЛПР).

Обычно выбранным (наилучшим) оказывается такое решение, которое наиболее полно удовлетворяет стремлениям, интересам и целям ЛПР. Желание ЛПР достичь определенной цели нередко удается выразить в математических терминах в виде максимизации (или минимизации) некоторой числовой функции, которую называют *целевой функцией*, или *критерием*. Однако в более сложных ситуациях ЛПР приходится иметь дело не с одной, а сразу с несколькими функциями подобного типа.

Пусть есть  $m$  ( $m \geq 2$ ) целевых функций, определенных на множестве  $X$ . Они образуют так называемый *векторный критерий*  $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ , который принимает значения в  $m$ -мерном арифметическом пространстве  $R^m$ . Это пространство называют *критериальным пространством*.

Задачу выбора решений, включающую множество возможных решений  $X$  и векторный критерий  $f$ , называют *многокритериальной задачей* (или *задачей векторной оптимизации*).

Ключевую роль в многокритериальной оптимизации играет понятие парето-оптимального решения. Решение  $x^* \in X$  называют *парето-оптимальным* (*оптимальным по Парето*, *эффективным* или *неулучшаемым*), если не существует другого возможного реше-

ния  $x \in X$ , такого, что  $f_i(x) \geq f_i(x^*)$  для всех номеров  $i = 1, 2, \dots, m$ , причем по крайней мере для одного номера  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$  имеет место строгое неравенство  $f_j(x) > f_j(x^*)$ . Другими словами, парето-оптимальное решение не может быть улучшено (в данном случае увеличено) ни по какому критерию (ни по какой группе критериев) при условии сохранения значений по всем остальным критериям. Множество всех парето-оптимальных решений часто обозначают  $P_f(X)$  и называют *множеством Парето (множеством Эджворта–Парето)*, или *областью компромиссов*.

Заметим, что в частном случае, когда критерий всего один, т.е.  $m = 1$ , определение парето-оптимального решения превращается в определение точки максимума функции  $f_1$  на множестве  $X$ . Это означает, что парето-оптимальное решение представляет собой обобщение обычной точки максимума числовой функции.

Если каждый критерий  $f_i$  трактовать как функцию полезности  $i$ -го участника экономики, то к понятию парето-оптимального решения приводит воплощение идеи социальной справедливости, состоящей в том, что для коллектива всех участников более выгодным будет только то решение, которое не ущемляет интересы ни одного из них в отдельности. При этом в случае перехода от одного парето-оптимального решения к другому если и происходит улучшение (увеличение) одного из критериев, то обязательно это улучшение будет сопровождаться ухудшением (уменьшением) какого-то другого критерия (или сразу нескольких критериев). Таким образом, переход от одного парето-оптимального решения к другому невозможен без определенного компромисса. Отсюда и наименование множества Парето – область компромиссов.

При анализе и решении многокритериальных задач обычно считают выполненной так называемую *аксиому Парето*, согласно которой в случае выполнения неравенств  $f_i(x') \geq f_i(x'')$  для всех номеров  $i = 1, 2, \dots, m$ , где по крайней мере для одного номера  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$  имеет место строгое неравенство  $f_j(x') > f_j(x'')$ , ЛПР среди двух данных возможных решений  $x'$  и  $x''$  всегда отдаст предпочтение первому из них.

Аксиома Парето фиксирует стремление ЛПР получить максимально возможные значения по всем имеющимся критериям. Кроме того, она показывает, что из пары произвольных решений то из них, которое не является в этой паре парето-оптимальным, из указанной пары никогда выбирать не следует. Так как

решения, которые не выбираются из пары, разумно не выбирать и из всего множества возможных решений, то в итоге приходим к так называемому *принципу Парето* (*принципу Эджворта-Парето*), в соответствии с которым выбирать (наилучшие) решения следует только среди парето-оптимальных.

Математическим выражением этого принципа служит включение

$$\text{Sel}X \subset P_f(X),$$

которое имеет место для любого множества выбираемых решений  $\text{Sel}X$ .

Основной проблемой в теории принятия решений при наличии нескольких критериев считается *проблема сужения множества Парето*, т.е. выбор наилучшего решения (или наилучших решений) в пределах множества Парето. Эта проблема не может быть решена без привлечения дополнительной информации о многокритериальной задаче. Чаще всего такой информацией являются сведения об относительной важности критериев.

Недавно проведенные исследования показали [5], что принцип Парето, т.е. упомянутое включение, не является универсальным, пригодным во всех без исключения многокритериальных задачах и иногда может нарушаться. Принципа Парето следует придерживаться в тех случаях, когда ЛПР в процессе выбора ведет себя достаточно «рационально». Если же ЛПР действует в определенном смысле «нерационально», то для него наилучшим (выбранным) может оказаться и то решение, которое парето-оптимальным не является.

К настоящему времени свойства множества Парето изучены достаточно подробно [3]. В общем случае множество Парето может: 1) оказаться пустым; 2) состоять из одного элемента; 3) содержать бесконечное число элементов; 4) совпадать с исходным множеством возможных решений.

Легко доказывается, что для конечного множества возможных решений множество Парето всегда не пусто, т.е. имеет место неравенство  $P_f(X) \neq \emptyset$ . Следует также отметить, что в случае непрерывных целевых функций  $f_1, f_2, \dots, f_m$  и непустого компактного множества  $X$ ,  $X \subset \mathbb{R}^n$  обязательно существует хотя бы одно парето-оптимальное решение.

Важную роль в многокритериальной оптимизации играют различного рода необходимые и/или достаточные условия парето-оптимальности. Здесь в первую очередь необходимо отметить следующий легко проверяемый результат.

Если существует такой набор положительных чисел  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ,  $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$ , что для некоторого возможного решения  $x^* \in X$  выполняется неравенство

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x^*) \geq \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x) \text{ для всех } x \in X, \quad (1)$$

то  $x^*$  – парето-оптимальное решение.

Согласно приведенному достаточному условию парето-оптимальности максимизация скалярной функции  $\sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x)$  с положительными коэффициентами  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  на множестве  $X$ , которую называют *аддитивной сверткой критериев*, всегда приводит к парето-оптимальному решению (при условии, что указанная задача максимизации имеет решение).

При определенных дополнительных условиях имеет место и обратный результат, т.е. необходимое условие парето-оптимальности. Сформулируем этот результат.

Пусть множество возможных решений  $X$ ,  $X \subset \mathbb{R}^n$ , является выпуклым и все целевые функции  $f_1, f_2, \dots, f_m$  вогнуты на этом множестве. Для всякого парето-оптимального решения  $x^*$  существует соответствующий набор неотрицательных чисел  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ,  $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$ , при котором имеет место неравенство (1).

Нетрудно заметить, что между достаточным (первым) и необходимым (вторым) условием парето-оптимальности имеется определенная «нестыковка». В достаточном условии требуется строгая положительность всех чисел  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ , тогда как в необходимом условии эти числа неотрицательны и в сумме равны единице, а значит, они одновременно в нуль не обращаются, но среди них могут встречаться равные нулю.

Действительно, известны примеры, когда максимизация аддитивной свертки  $\sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x)$ , среди коэффициентов  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  которой могут встречаться нули, на множестве  $X$  приводит к решению, лежащему за пределами множества Парето.

Тем не менее указанные результаты свидетельствуют о том, что задача многокритериальной оптимизации (точнее говоря, задача построения множества парето-оптимальных решений) в принципе может быть сведена к решению определенного семейства скалярных задач (т.е. задач с одним критерием). Такое сведение многокритериальной задачи к семейству скалярных задач называют *скаляризацией*. Тем самым приведенные два результата служат фундаментом скаляризации на основе аддитивной свертки критериев.

Следует отметить, что к настоящему времени разработан богатый арсенал самых различных типов скаляризации многокритериальных задач [3].

Существуют определенные модификации понятия парето-оптимального решения. Например, возможное решение  $x^*$  называют *оптимальным по Слейтеру (слабо эффективным)*, если не существует  $x \in X$ , для которого имеют место строгие неравенства  $f_i(x) > f_i(x^*)$ , для всех  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Из приведенных определений следует, что всякое парето-оптимальное решение является оптимальным по Слейтеру. Обратное в общем случае места не имеет, так как существуют оптимальные по Слейтеру решения, не являющиеся парето-оптимальными. Таким образом, множество решений, оптимальных по Слейтеру, в общем случае шире множества Парето.

Имеются и другие разновидности понятия решения многокритериальной задачи. Среди них наиболее важным является понятие *собственно эффективного решения* [3]. Для него выполняются аналогичные уже приведенным необходимые и достаточные условия, использующие аддитивную свертку, что и для парето-оптимального решения, но с коэффициентами  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ , которые все строго положительны. Тем самым для собственно эффективного решения отмеченная «нестыковка» необходимых и достаточных условий отсутствует.

Часто числа  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  трактуют как коэффициенты относительной важности критериев. Следует отметить, что это чисто

эвристический подход, не имеющий под собой математической основы. В настоящее время можно в общих чертах считать построенной математическую теорию относительной важности критериев [6], в рамках которой разработаны определения относительной важности как для пары критериев, так и в общем случае – для произвольной пары групп критериев. Показано, каким образом информацию об относительной важности критериев можно использовать для сужения множества Парето. Более того, установлено, что только на основе информации подобного типа (т.е. информации об относительной важности критериев) можно получить сколь угодно точное приближение для множества тех решений, которые претендуют на роль выбранных. Это говорит о принципиально важной роли, которую выполняет информация об относительной важности критериев в решении проблемы сужения множества Парето. Иными словами, в процессах принятия решений нужно лишь научиться выявлять такую информацию у ЛПР, а затем с помощью результатов теории относительной важности критериев уметь ее использовать.

- 1. Вилкас Э.Й. К проблеме сложных решений (постановка и подходы) / Э.Й. Вилкас, Е.З. Майминас // Кибернетика. – 1969. – № 5. – С. 68–73. 2. Карлин С. Математические методы в теории игр, программирование в экономике: пер. с англ. / С. Карлин. – М.: Мир, 1964. – С. 253–256. 3. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. 4. Ногин В.Д. Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин, И.О. Протодьяконов, И.И. Евлампиев. – М.: Высшая школа, 1986. 5. Ногин В.Д. Логическое обоснование принципа Эджворта-Парето / В.Д. Ногин // ЖВМиМФ, 2002, т. 42, № 7. – С. 951–957. 6. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002. В.Д. Ногин

**ВЕРОЯТНОСТЬ** – фундаментальное понятие теории вероятностей, науки, изучающей математические модели случайных явлений (событий).

Существуют различные определения вероятности: *философское, интуитивное, статистическое, аксиоматическое* и др. Однако ни одно из них не дает исчерпывающего определения реального содержания понятия вероятности, являясь лишь приближениями ко все более полному его раскрытию.

*Математическая вероятность* – это числовая характеристика степени возможности появления какой-либо определенной си-

туации при определенных условиях, которые могут повторяться неограниченное число раз.

Численное значение вероятности в некоторых случаях получается как отношение числа случаев, «благоприятствующих» данному явлению, к общему числу «равновозможных» случаев.

Например, если при поступлении в вуз конкурс составляет 4 человека на одно место, то вероятность поступления равна 0,25.

В более сложных случаях определение численного значения вероятности требует так называемого *статистического подхода*, в соответствии с которым под вероятностью события  $A$  понимается

$$p(A) = m / n, \quad (1)$$

где  $m$  – число появлений события  $A$ ;

$n$  – общее число опытов, если при  $n \rightarrow \infty$  ( $m/n$ )  $\rightarrow$  const, т.е. выполняется закон больших чисел (теорема Бернулли).

Поясним суть этого определения с помощью следующего примера.

Предположим, что мы хотим оценить меткость некоторого стрелка. Если, сделав 100 выстрелов, в 39 случаях стрелок попал в цель (мишень), то вероятность попадания в цель  $p \approx 0,4$ . Отношение числа случаев  $m$ , в которых данное событие появилось, к общему числу испытаний  $n$ , так называемая частота  $m/n$ , дает приближение к вероятности  $p$ , тем лучшее, чем больше  $n$ .

В рассмотренном примере  $m = 39$ ,  $n = 100$ . В то же время, если из пяти первых выстрелов два попали в цель, то мы сильно рискуем ошибиться, утверждая, что 40% выстрелов нашего стрелка окажутся удачными.

По вероятности, вычисленной статистическим способом, т.е. приближенно, могут быть вычислены по правилам теории вероятностей новые вероятности.

Например, для упомянутого стрелка вероятность того, что хотя бы один из двух выстрелов попадет в цель, равна  $1 - (1 - 0,4)^2 = 0,64$ .

Для многих практических применений статистическое определение вероятности оказывается вполне достаточным. Из определения вероятности как частоты следует, что вероятность  $p$  любого события есть некоторое постоянное число, удовлетворяющее условию  $0 \leq p \leq 1$ .

Важное значение статистического определения заключается в том, что оно дает нам принцип физического выбора величины вероятности и требует учитывать данные опыта.

Логически непротиворечивым математическим определением вероятности является аксиоматическое определение [5], которое устраняет некоторую неопределенность.

С другими определениями вероятности можно ознакомиться в [6]. Там же дано описание истории возникновения понятия вероятности.

В общем случае вероятность  $p_i$  может иметь более широкую трактовку и использоваться не в строгом смысле, принятом в теории вероятностей и справедливом для стохастических, повторяющихся явлений, а характеризовать единичные явления, события, появление которых нельзя предсказать на основе представительной выборки.

Такого рода вероятности применяются в теории размытых множеств Заде [4], в теории информационного поля А.А. Денисова [2, 3].

- 1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 96–101, 200–201, 479–485. 3. Денисов А.А. Теоретические основы кибернетики: Информационное поле / А.А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1975. 4. Заде Л. Теория линейных систем / Л. Заде, Г. Дзоер. – М.: Наука, 1970. 5. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей, 2-е изд. / А.Н. Колмогоров. – М., 1974. 6. Рыбников К.А. История математики / К.А. Рыбников. – М. Изд-во Московского ун-та, 1994. – С. 362–379. В.А. Кузьменков

**ВИРТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ** – системы, основанные на понятии *виртуальной реальности* (от лат. *virtus* – мнимый, воображаемый), формируемой компьютерными средствами модели реальности, которая создает эффект присутствия человека в ней и позволяет взаимодействовать с представленными в ней объектами [19].

Термин «виртуальная реальность» был предложен в Массачусетском технологическом институте (США) в конце 70-х гг. XX в. для трехмерных макромоделей, реализованных при помощи компьютера, что позволяло выразить идею присутствия человека в пространстве, создаваемом средствами компьютерной техники. Затем термин стали использовать в компьютерной сети Интернет, а также как некоторые метафоры («виртуальные предприятия», «виртуальная корпорация»).

Большое применение виртуальная реальность находит в бизнесе. В качестве примеров виртуальных систем приводят виртуальные банковские системы (идея находится на стадии разработки;

одной из проблем является проблема обеспечения безопасности); виртуальный офис (позволяет состыковать различные форматы информации, генерируемые разными подразделениями офиса, в некоторую целостную структуру через компьютерную сеть).

Зачастую термин «виртуальность» используют произвольно. «Виртуальное» интерпретируется и как «искусственно образованное», и как «мнимое, не существующее в реальном пространстве», и как «расширенное за счет совместных ресурсов», и т.д., что имеет отдаленное отношение к виртуальности, как психологическому феномену и реальному явлению мира [7]. Однако этот термин достаточно широко используется для определения таких явлений, как «виртуальный рынок», «виртуальная реальность», «виртуальная организация», «виртуальное предприятие», «виртуальные корпорации», применительно к деятельности предприятий.

Наиболее перспективным представляется создание виртуальных предприятий и виртуальных корпораций – объединение фирм, применяющих виртуальные технологии.

**Виртуализация предприятий.** Виртуальные предприятия – это сетевые, компьютерно опосредованные организационные структуры, состоящие из неоднородных взаимодействующих агентов, расположенных в различных местах.

Пространство виртуализации предприятий можно условно разделить на три основные категории явлений:

- виртуальный рынок – рынок товаров и услуг, существующий на основе коммуникационных и информационных возможностей глобальных вычислительных сетей (Интернет);
- виртуальная реальность – отображение и имитация реальных объектов и процессов производства в кибернетическом пространстве;
- виртуальные организационные формы – динамические сети предприятий, организаций, отдельных коллективов и людей, совместно осуществляющих деятельность по разработке, производству и сбыту определенной продукции.

**Определения виртуального предприятия.** Словосочетание «виртуальные предприятия» нередко используют для определения предприятий, действующих на виртуальных рынках и в сети Интернет. В некоторых работах виртуальные предприятия обозначают и другими терминами: «сетевые предприятия» [9, 10], «безграничные предприятия» [10], «виртуальные корпорации» и «виртуальные организации». Как правило, речь идет о динами-

ческой сети партнеров (предприятий, организаций, отдельных коллективов и людей), совместно осуществляющих деятельность по разработке, производству и сбыту определенной продукции.

Существуют различные определения виртуального предприятия.

1. «Под виртуальным предприятием понимается сеть самостоятельных в правовом, но зависимых в экономическом отношении предприятий, которые на основе общих целей поставляют на рынок определенную услугу» [3].

2. «Виртуальное предприятие – это добровольная временная форма кооперации нескольких, как правило, независимых партнеров (предприятий, институтов, отдельных лиц), обеспечивающая благодаря оптимизации системы производства благ будущую выгоду клиентам» [1].

3. «Виртуальное предприятие подразумевает сетевую, компьютерно опосредованную организационную структуру, состоящую из неоднородных компонентов, расположенных в различных местах» [12].

4. «Виртуальное предприятие (промышленное, коммерческое, эксплуатационное и др.) – это такое предприятие, которое создается из различных предприятий на контрактной основе, не имеет единой юридической организационной структуры, но обладает единой информационной структурой с целью создания и использования компьютерной поддержки жизненного цикла конкретного изделия» [2].

5. «Виртуальное предприятие создается путем отбора требующихся организационно-технологических ресурсов от различных предприятий и их интеграции в гибкую и динамическую структуру, приспособленную для скорейшего выпуска новой продукции и ее оперативной поставки на рынок» [12].

6. «Виртуальное предприятие – это динамичная открытая бизнес-система на основе прогрессивных интернет-технологий, представляющая собой совокупность временно объединенных на принципах *кооперации* в рамках *единого* информационного (виртуального) пространства технологических ресурсов *автономных* экономических агентов, способных на основании координации и *оперативного* распределения производить конечный продукт (КП) или услугу» [5].

Обобщив эти определения и не принимая во внимание правовые аспекты виртуальных предприятий, можно выделить в качестве ключевого момента *партнерство* (кооперацию) нескольких предприятий *для создания, производства и сбыта продукции*.

С маркетинговой точки зрения цель виртуального предприятия – это получение прибыли путем максимального удовлетворения нужд и потребностей потребителей в товарах (услугах) быстрее и лучше потенци-

альных конкурентов. Очевидно, что данная цель присуща всем ориентированным на рынок предприятиям. Но виртуальные предприятия, во-первых, достигают этого за счет объединения ресурсов партнеров и, во-вторых, как правило, ориентируются не на удовлетворение нужд и потребностей какого-то «усредненного» сегмента рынка, а на выполнение определенных рыночных заказов, вплоть до удовлетворения определенных запросов конкретных потребителей (заказчиков). Как отмечается в [1], первым импульсом к образованию виртуального предприятия является именно поступление *рыночного заказа*.

Практически обычному предприятию, например, для разработки и выведения нового товара на рынок требуется привлечение значительных ресурсов. В отличие от него виртуальное предприятие ищет новых партнеров, обладающих соответствующими рыночным потребностям ресурсами, знаниями и способностями, для совместной организации и реализации этой деятельности, т.е. выбираются предприятия (организации, отдельные коллективы и люди), обладающие *ключевой компетенцией* в форме ресурсов и способностей для достижения конкурентного преимущества на рынке.

Партнерство заключается, как правило, на определенный срок или до достижения определенного результата (например, выполнения заказа). Другими словами, *партнерство является временным*, и, например, на определенных этапах жизненного цикла изделия или при изменении рыночной ситуации могут в сеть привлекаться новые партнеры или исключаться старые.

Естественно, что предприятия-партнеры для эффективного функционирования всей сети должны действовать согласованно. Когда же, например, для наилучшего соответствия рыночным потребностям в сеть объединяется большое число предприятий, чаще всего удаленных географически, тогда очевидно, что таким предприятиям трудно согласовать свои действия без оперативной информации и коммуникаций. Следовательно, для решения информационных проблем сеть должна иметь *единую информационную систему* (см.), основанную на широком использовании новых информационных и коммуникационных технологий. В некоторых публикациях отмечается, что возможность коренной перестройки деловых процессов вызвана развитием и внедрением информационных и коммуникационных технологий [8, 13]. Также необходимо подчеркнуть, что использование новых компьютерных и информационных технологий не является основой виртуального предприятия. Главным служит именно *единая информационная система*, под которой понимается совокупность методов и средств поиска, сбора,

хранения, обработки, анализа и передачи внутренней и внешней информации, необходимой для функционирования виртуального предприятия и принятия совместных управленческих решений.

С учетом изложенного можно дать такое общее определение.

*Виртуальное предприятие* – это временная кооперационная сеть предприятий (организаций, отдельных коллективов и людей), обладающих ключевыми компетенциями для наилучшего выполнения рыночного заказа, базирующаяся на единой информационной системе.

Можно выделить также ключевое достоинство виртуальных форм организаций – это возможность выбирать и использовать наилучшие ресурсы, знания и способности с меньшими временными затратами. Из этого достоинства и из собственно сетевой организации вытекают такие основные конкурентные преимущества и возможности виртуальных предприятий, как: скорость выполнения рыночного заказа; снижение совокупных затрат; более полное удовлетворение потребностей заказчика; гибкая адаптация к изменениям окружающей среды; снижение барьеров выхода на новые рынки. При этом основными характеристиками виртуальных форм организации можно считать: открытую распределенную структуру, гибкость, приоритет горизонтальных связей, автономность и узкую специализацию членов сети, высокий статус информационных и кадровых средств интеграции.

К недостаткам виртуальных предприятий, вернее, к слабым их сторонам, можно отнести [10]: практическое отсутствие материальной и социальной поддержки своих членов вследствие отказа от классических долгосрочных договорных форм и обычных трудовых отношений; предпочтение специализации, концентрации на ключевых компетенциях, тогда как многие современные направления, напротив, выступают за многоплановую квалификацию общего профиля; чрезмерную зависимость от кадрового состава, а поэтому подверженность рискам, связанным с текучестью кадров; опасность чрезмерного усложнения, вытекающую, в частности, из разнородности членов предприятия, неясности в отношении членства в ней, открытости сетей, динамики самоорганизации, неопределенности в планировании для членов виртуального предприятия.

В этой связи, кроме вопросов структуры и целей виртуального предприятия, интересен процесс объединения и совместной деятельности предприятий.

Согласно модели на рис. 1 виртуальные предприятия, работающие в определенной области, объединяются в динамическую сеть, преследуя общую цель. Далее, в пределах сети по мере поступления рыночных заказов формируются динамические связи между предприятиями при выполнении конкретных работ и проектов.

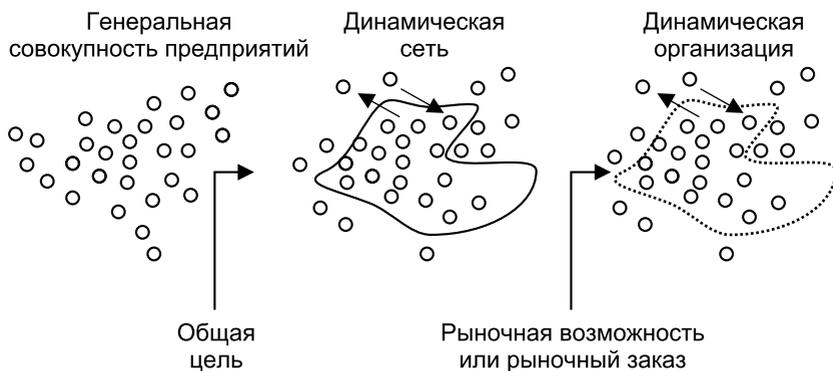


Рис. 1

Таким образом, виртуальное предприятие формируется на базе некоторой динамической сети при выявлении рыночной возможности или поступлении специфического заказа. Другими словами, виртуальные предприятия, получившие заказ или выявившие рыночную возможность, ищут потенциальных партнеров, в первую очередь среди предприятий, с которыми есть взаимосвязи и договоренности. Тем более если учесть, что один из ключевых моментов – это скорость выполнения рыночного заказа, то время на поиск, оценку, отбор, привлечение и объединение партнеров может быть критично.

**Виды виртуальных предприятий.** Трудность в разграничении виртуальных организационных форм и других форм сотрудничества и децентрализации связана и с тем, что на практике существует множество в той или иной степени «виртуализированных» организаций. Следует отметить, что довольно часто под виртуальными организациями в производстве понимают ту или иную форму организации взаимодействия предприятий в области логистики и материально-технического снабжения.

В целом виртуальные организационные формы – это динамические сетевые объединения людей, коллективов и предприятий. Далее, виртуальные организационные формы можно разделить на внутриорганизационные (в пределах одного предприятия) и межорганизационные (объединения различных предприятий, коллективов и людей). Одна из классификаций виртуальных организационных форм, базирующаяся на приведенных в [1] видах и описаниях реально действующих предприятий, отображена на рис. 2.

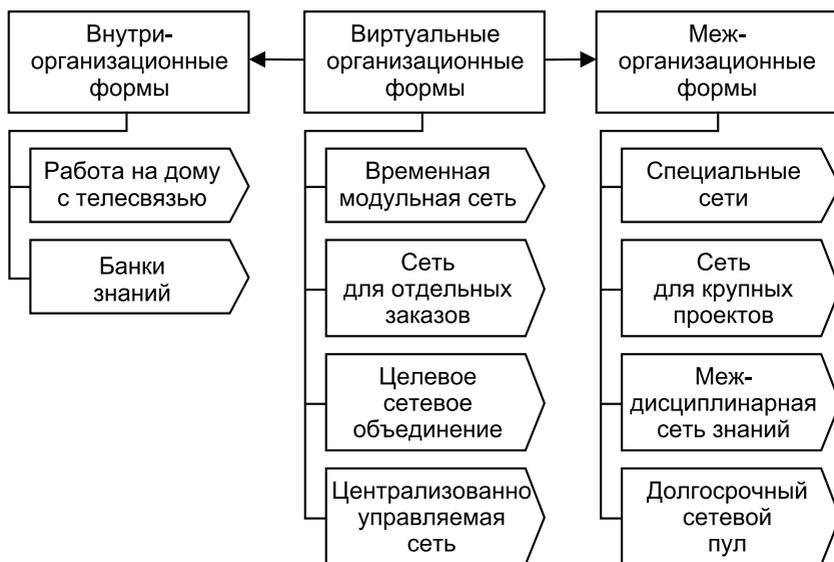


Рис. 2

Согласно этой классификации можно следующим образом охарактеризовать виды виртуальных предприятий:

- временная модульная сеть, объединяющая партнеров с явно выраженной ориентацией на ключевые компетенции. Для такой сети характерны низкая заменяемость партнеров, ограниченность сроков существования, асимметричная зависимость партнеров по сети;
- сеть для выполнения отдельных заказов рассчитана на мобилизацию ориентированных на проект высококлассных ресур-

сов. Предусмотрена заменяемость партнеров, сроки выполнения заказов строго ограничены, зависимость партнеров по сети симметрична;

- целевое сетевое объединение в определенной сфере рассчитано на совместные решения и оптимизацию услуг клиентам. Кооперация в таких сетях, отличающихся высокой степенью открытости и симметричной зависимостью партнеров, ориентирована на предложение общих решений;

- централизованно управляемые сети характеризуются тем, что одна фирма специализируется на координации и управлении производственными процессами действующей в мировом масштабе сети с односторонне заменяемыми партнерами;

- долгосрочные сетевые пулы ориентированы на постоянное получение различных рыночных заказов. Основой сотрудничества являются доверие к партнерам и общие ценностные ориентиры. Сетевому пулу свойственна симметричная зависимость сетевых партнеров. Наибольший интерес пул представляет для мелких и средних предприятий, которые благодаря такой кооперации обеспечивают возможность получать заказы и снижать издержки;

- междисциплинарная сеть знаний является объединением носителей «ноу-хау», характеризуется централизованным управлением, выходящим за рамки выполнения отдельных заказов, и симметричной зависимостью партнеров;

- сети для крупных проектов – открытые организации, нацеленные на рациональное объединение ресурсов для выполнения крупного (долгосрочного) проекта;

- специальные сети, ориентирующиеся на выполнение отдельных заказов с цифровой передачей данных. Для организации и координации таких виртуальных предприятий широко используются глобальные вычислительные и коммуникационные сети с целью привлечения известных высококлассных партнеров.

Приведенная классификация не совсем четко разграничивает виды виртуальных предприятий, что связано с попыткой учесть множество признаков: тип управления (централизованное или децентрализованное), зависимость партнеров, время «жизни» сети, количество проектов в некоторый период времени, используемые технологии, сферу деятельности и сферу интересов.

С позиции организационных и управленческих моментов наиболее важны следующие признаки: тип управления (централизо-

ванное или децентрализованное); время «жизни» сети (выполнение одного проекта или нескольких в некий период времени).

По признаку время «жизни» сети можно выделить два основных типа: временные сети – возникают при выявлении рыночной возможности или поступлении рыночного заказа и распадаются после выполнения заказов; постоянные сети, ориентированные на постоянный поиск и получение заказов в определенной сфере деятельности.

По типу управления можно выделить три вида виртуальных предприятий [11]: с централизованным типом управления, когда один из участников сети управляет сетью и выполнением рыночных заказов; с децентрализованным типом управления, при котором все управленческие процессы осуществляются только за счет локальных взаимодействий участников сети; с распределенным типом управления, когда сохраняется общий координационный центр.

#### **Организация и управление виртуальными предприятиями.**

Определение виртуального предприятия как временной кооперационной сети предприятий, обладающих ключевыми компетенциями для наилучшего выполнения рыночного заказа, базируется на единой информационной системе, описывает в общем виде только организационно-структурную сторону виртуальных предприятий, но, несмотря на определенный положительный опыт функционирования виртуальных предприятий, остаются открытыми вопросы, касающиеся социальных, правовых, общезыятственных, управленческих, технических и других аспектов организации и функционирования виртуальных предприятий. В этой связи встает вопрос о трансформации определенных положений теории управления [10, 17, 20, 21].

Виртуальная организация может быть изображена как целеустремленная система, которая состоит из набора взаимосвязанных элементов. Характеристики ее элементов и отношений между элементами определяют свойства системы. Образующие элементы виртуальной организации – это набор независимых организаций и их взаимоотношений, обладающих характеристиками (ключевыми компетенциями), которые позволяют им функционировать как отдельная организация для достижения общей цели. На рис. 3 показана концептуальная модель организации и функционирования виртуального предприятия.

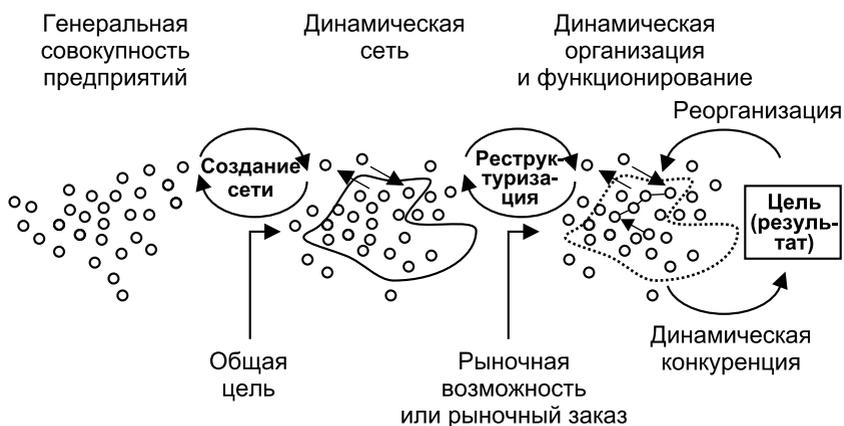


Рис. 3

Легко заметить, что при создании виртуальных предприятий могут быть такие, которые концентрируют свои усилия исключительно на управлении компетенциями третьей стороны. Так, в [20] автор, на теоретические разработки которого ссылается ряд других исследователей, отмечает, что виртуальная организация – это предприятие, работающее под метаменеджментом, который характеризует управление виртуально организованной задачей. Виртуально организованная задача – это целенаправленная деятельность, которая осуществлена соответствующим распределением или перераспределением конкретных удовлетворителей (исполнителей, ресурсов) по абстрактным требованиям задачи. Основными функциями метаменеджмента являются [21]:

1. Анализ абстрактных требований, т.е. определение задач.
2. Выделение возможных удовлетворителей (исполнителей, ресурсов) – определение потенциальных исполнителей (организаций, предприятий, коллективов, отдельных людей), которые наилучшим образом могут выполнить задачу (обладают ключевой компетенцией).
3. Переключение и отслеживание распределения удовлетворителей к требованиям.
4. Поддержание и, возможно, пересмотр процедуры распределения удовлетворителей к требованиям.
5. Пересмотр и наладка оптимальных или удовлетворяющих критериев процедуры распределения.

Другими словами, метаменеджмент виртуальных предприятий заключается в определении абстрактных требований (задач), выделении возможных исполнителей, которые соответствуют задачам, распределении, постоянном отслеживании и перераспределении (если это необходимо) исполнителей по задачам.

Описанный подход в большей степени затрагивает вопросы динамической организации и функционирования сети исходя из поступившего рыночного заказа, что больше подходит для временных и централизованно управляемых сетей. Многие виды виртуальных предприятий, такие, как централизованно управляемые сети, создаваемые вокруг крупных предприятий, сети для выполнения отдельных заказов практически не сталкиваются с проблемами разработки долгосрочной стратегии развития и функционирования сети. Это объясняется относительной кратковременностью существования таких организаций и ориентацией на выполнение конкретных заказов либо зависимостью от стратегии и решений головного предприятия. Однако долгосрочным сетевым пулам, междисциплинарным сетям знаний, целевым сетевым объединениям и др. необходимо разрабатывать стратегию развития сети (виртуального предприятия) в целом.

В условиях объединения разнородных предприятий (групп, объединений, людей), имеющих различные цели, стратегии и возможное время «жизни» в сети и ориентированных на постоянный поиск и выполнение различных заказов и проектов, создаются определенные трудности в выработке и согласовании целей, разработке различных стратегических решений и, главное, реализации долгосрочной стратегии.

Главные составляющие долгосрочных виртуальных предприятий: наличие корпоративного духа доверия, который может сплотить людей под некоторое общее пространство или среду работы; наличие связанных между собой контрагентов, составляющих узлы виртуальной сети такой корпорации; выделение проектной группы (групп), разрабатывающей и продвигающей проекты. Такие виртуальные предприятия могут осуществлять различные проекты, не являясь структурированной ни под один из них.

Анализ практической деятельности виртуальных предприятий показывает, что в данной ситуации возможны: 1) создание стратегического управленческого центра, в состав которого входят представители основных предприятий, либо 2) привлечение

в сеть предприятия, обладающего соответствующими ключевыми компетенциями.

Основные функции (ключевые компетенции) такой группы (предприятия), которая концентрирует свои усилия на стратегическом планировании и управлении компетенциями других участников сети, можно разбить на три основных блока.

1. Организационно-управленческие функции – разработка стратегий, организация и управление хозяйственным процессом, выполнение отдельных заказов и проектов.

2. Маркетинговые функции – организация поиска рыночных заказов, привлечения клиентов, реализации продуктов или услуг.

3. Функции управления знаниями – идентификация, накопление и привлечение ключевых компетенций.

После формирования корпоративной виртуальной системы эти укрупненные функции уточняются на основе применения *методик структуризации целей и функций* и *методов* (см.) *организации сложных экспертиз* (см.) для оценки степени влияния функций на реализацию целей системы.

- 1. В ю т р и х Х.А. Виртуализация как возможный путь развития управления / Х.А. Вютрих, А.Ф. Филипп // Проблемы теории и практики управления. – 1999. – № 5. – С. 45–49. 2. Д м и т р о в В.И. CALS как основа проектирования виртуальных предприятий / В.И. Дмитриев // Автоматизация проектирования. – 1997. – № 5. – С. 14–17. 3. З и б е р П. Управление сетью как ключевая компетенция предприятия / П. Зибер // Проблемы теории и практики управления. – 2000. – № 3. – С. 92–96. 4. Зиндер Е. Новое системное проектирование: информационные технологии и бизнес-реинжиниринг / Е. Зиндер // СУБД. – 1995. – № 4. – С. 37–49; Ч. 2. Бизнес-реинжиниринг // СУБД. – 1996. – № 1. – С. 55–67; Ч. 3. Методы нового системного проектирования // СУБД. – 1996. – № 2. – С. 61–76. 5. И в а н о в Д.А. Виртуальные предприятия и логистические цепи: комплексный подход к организации и оперативному управлению в новых формах производственной кооперации / Д.А. Иванов. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2003. 6. К а т а е в А.В. Анализ влияния новых информационных технологий на изменение методов маркетинга / А.В. Катаев // Известия ТРТУ. – 2000. – № 1. – С. 156–157. 7. Н о с о в Н.А. Виртуальная психология / Н.А. Носов. – М.: «Аграф», 2000. 8. О й х м а н Е.Г. Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационные технологии / Е.Г. Ойхман, Э.В. Попов. – М.: Финансы и статистика, 1997. 9. П а т ю р е л ь Р. Создание сетевых организационных структур / Р. Патюрель // Проблемы теории и практики управления. – 1997. – № 3. – С. 76–81. 10. Р а й с с М. Границы «безграничных» предприятий: перспективы сетевых организаций / М. Райсс // Проблемы теории и практики управления. – 1997. – № 1. – С. 92–97. 11. С к о б е л е в П.О. Самоорганизация и эволюция в открытых мультиагентных системах для колониальных предприятий / П.О. Скобелев //

«Искусственный интеллект в 21 веке»: Тр. Междунар. конгресса: Дивно-морское, 3–8 сентября 2001, т. 1. – М.: Физматлит, 2001. – С. 314–338.

12. Т а р а с о в В. Виртуальное предприятие: ключевая стратегия автоматизации и перестройки деловых процессов / В. Тарасов // Электронный офис, октябрь, 1996. – С. 2–3. 13. Т а р а с о в В. Причины возникновения и особенности организации предприятия нового типа / В. Тарасов // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 1. – С. 87–90. 14. Т а р а с о в В. Тектология А. Богданова и неоклассическая теория организаций – предвестники эры реинжиниринга / В. Тарасов // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 4. – С. 67–72. 15. Т а р а с о в В.Б. Предприятия XXI века: проблемы проектирования и управления / В.Б. Тарасов // Автоматизация проектирования. – 1998. – № 4. – С. 67–72. 16. D a v i d o w W.H. The virtual corporation, Structuring and Revitalizing the Corporation for the 21st Century. New York: Harper-Collins, 1993. 17. Faucheux C. How virtual organizing is transforming management science / C. Faucheux // Association for Computing Machinery. Communications of the ACM; New York; Sept. 1997. – P. 50–55. 18. H a m m e r M. Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution / M. Hammer, J. Champy. – N.Y.: Harper Business, 1993. 19. H a m m e t F. Virtual reality / F. Hammet. – N.Y., 1993. 20. M o w s h o w i t z A. Virtual organization / A. Mowshowitz // Association for Computing Machinery. Communications of the ACM; New York; Sept. 1997. – P. 30–34. 21. Mowshowitz A. The Switching Principle in Virtual Organization / A. Mowshowitz // Proceedings of the 2-nd International VoNet – Workshop, Sept. 23–24, 1999. <http://www.virtual-organization.net>. 22. S a a b e l W. A model of virtual organization: a structure and process perspective / W. Saabel, T.M. Verduijja, L. Hagdorn, K. Kumar // Electronic Journal of Organizational Virtualness, v. 4, 2002. <http://www.virtual-organization.net>. 23. S t r a d e r T.J. Information structure for electronic virtual organization management / T.J. Strader, F. Lin, M.J. Shaw // Decision Support Systems, 23, 1998, – P. 75–94. *А.В. Катаев*

**ВЫПУКЛОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – раздел *нелинейного программирования*, в котором изучаются задачи минимизации *выпуклой функции* (максимизации *вогнутой функции*) на выпуклом множестве, заданном системой неравенств.

Функция  $f(x)$ , определенная на выпуклом множестве  $M$  пространства  $E_n$ , называется выпуклой на  $M$ , если для любых точек  $x^0$  и  $x^1$ , принадлежащих  $M$ , и для любого числа  $\lambda$ ,  $0 \leq \lambda \leq 1$ , справедливо неравенство

$$f((1 - \lambda) x^0 + \lambda x^1) \leq (1 - \lambda)f(x^0) + \lambda f(x^1). \quad (1)$$

Множество  $M \subseteq E_n$  называют выпуклым, если оно вместе с двумя любыми своими точками целиком содержит и соединяющий их отрезок. Следовательно, всякое выпуклое множество состоит из одного «куска» и не имеет «дырок» и «вмятин».

В теории выпуклого программирования в качестве основной обычно рассматривается задача отыскания вектора  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , который удовлетворяет условиям

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

и доставляет *глобальный минимум* функции  $f(x)$ .

При этом заданные функции  $f, g_1, g_2, \dots, g_m$ , определенные на  $n$ -мерных векторах  $\mathbf{x}$  с неотрицательными компонентами, предполагаются выпуклыми.

Векторы, удовлетворяющие условиям (2) и (3), называют *допустимыми*, а искомые векторы – *оптимальными*.

В задачах выпуклого программирования для оптимальности допустимого вектора достаточно, чтобы он был наилучшим среди близких к нему допустимых векторов. Это означает, что выделенный класс задач нелинейного программирования не содержит *многоэкстремальных задач*.

Для задач выпуклого программирования разработан ряд эффективных численных методов. В некоторых из них исходная задача заменяется задачей поиска седловой точки функции Лагранжа. Такие методы, как правило, связаны с классическими идеями *наискорейшего спуска*. В других методах непосредственно используется то обстоятельство, что в этих задачах достаточно найти допустимый вектор, наилучший среди *близких* к нему допустимых векторов. Многообразие подобных методов определяется различными приемами построения последовательностей допустимых векторов, монотонно минимизирующих целевую функцию. В этих случаях на каждом шаге при выборе направления движения решается вспомогательная задача, более простая, чем исходная; в ряде методов – задача *линейного программирования* (см.). В некоторых из таких методов движение происходит в допустимой области (*методы возможных направлений*), в других допускается выход из этой области с последующим возвращением на границу (*методы проекций градиента*).

Может применяться для решения задач выпуклого программирования и *метод штрафов*. При этом отыскание оптимально-

го вектора в исходной задаче сводится к последовательному решению вспомогательных задач на безусловный экстремум. Минимизируемые функции в этих задачах получают добавлением к функции  $f(x)$  штрафов за нарушение ограничений (2) и (3).

Из общих методов решения задач выпуклого программирования одним из важных является класс *методов отсечения*, в котором допустимое множество в окрестности решения аппроксимируется последовательностью вложенных многогранников. Благодаря этому вспомогательные задачи на каждом шаге могут решаться методами *линейного программирования* (см.).

Для моделирования экономических систем часто используют задачи минимизации выпуклой функции при линейных ограничениях. С целью решения таких задач разработан ряд методов, опирающихся на методы линейного программирования. В частности, для минимизации *выпуклой квадратичной функции* имеются конечные алгоритмы.

Другой важный класс, применяемый для моделирования экономических задач, составляют *сепарабельные задачи выпуклого программирования*. В этих задачах функции  $f$  и  $g_i$  представлены в виде сумм выпуклых функций одной переменной. После подходящей кусочно-линейной аппроксимации каждой из функций эти задачи могут быть приближенно решены методами линейного программирования.

- 1. Зуховицкий С.И. Линейное и выпуклое программирование / С.И. Зуховицкий, Л.И. Авдеева. – М.: Наука, 1964. 2. Эрроу К. Дж. Исследования по линейному и нелинейному программированию: пер. с англ. / К. Дж. Эрроу, Х. Гурвиц, Х. Удзава. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 3. Зойтендейк Г. Методы возможных направлений: пер. с англ. / Г. Зойтендейк. – М.: Иностран. лит., 1963. 4. Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование / Дж. Хедли. – М.: Мир, 1967. 5. Рубинштейн Г.Ш. Двойственность в математическом программировании и некоторые вопросы выпуклого анализа / Г.Ш. Рубинштейн // Успехи математических наук, 1970, т. 25, № 5. 6. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 69–79. *Б.И. Кузин, В.А. Кузьменков, В.Н. Юрьев*

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА** – комплекс, состоящий из нескольких вычислительных устройств, объединенных общим управлением. Примером простой вычислительной системы может служить комплекс, состоящий из центрального процессора, внешних устройств и операционной системы.

Вычислительной системой называют также серию ЭВМ, объединенных унифицированной системой команд, структурой памяти и внешних устройств (например, IBM/360, IBM PC).

В эпоху централизованного использования больших ЭВМ с пакетной обработкой информации часто в вычислительных системах доступ к ресурсам компьютеров был затруднен из-за политики централизации вычислительных средств. Принцип централизованной обработки данных не отвечал высоким требованиям к надежности процесса обработки, затруднял развитие систем и не мог обеспечить необходимые временные параметры при диалоговой обработке данных в многопользовательском режиме. Кратковременный выход из строя центральной ЭВМ приводил к роковым последствиям для системы в целом, так как приходилось дублировать функции центральной ЭВМ.

Появление малых ЭВМ, микроЭВМ и, наконец, персональных компьютеров открыло новые возможности организации вычислительных систем на основе информационных технологий, перехода к распределенной обработке данных, выполняемой на независимых, но связанных между собой компьютерах. Для реализации распределенной обработки данных были созданы *многомашинные ассоциации*, структура которых разрабатывается по одному из следующих направлений:

- многомашинные вычислительные комплексы;
- компьютерные (вычислительные) сети.

**Многомашинные вычислительные комплексы** могут быть:

*локальные* при условии установки компьютеров в одном помещении и не требующие для взаимосвязи специального оборудования и каналов связи;

*дистанционные*, если некоторые компьютеры комплекса установлены на значительном расстоянии от центральной ЭВМ и для передачи данных используются телефонные каналы связи.

**Компьютерные сети** являются высшей формой многомашинных ассоциаций. Основные отличия вычислительной сети от многомашинного вычислительного комплекса:

- Размерность

В состав многомашинного вычислительного комплекса входят обычно две, максимум три ЭВМ, расположенные преимущественно в одном помещении. Вычислительная сеть может состоять из десятков и даже сотен ЭВМ, расположенных на расстояниях между собой от нескольких метров до десятков, сотен и даже тысяч километров.

- Разделение функций между ЭВМ

Если в многомашинном вычислительном комплексе функции обработки данных, их передачи и управления системой могут быть реализованы в одной ЭВМ, то в вычислительных сетях эти функции распределены между различными ЭВМ.

- Необходимость решения в сети задачи маршрутизации сообщений

Сообщение от одной ЭВМ к другой в сети может быть передано по различным маршрутам в зависимости от состояния каналов связи, соединяющих ЭВМ между собой.

Объединение в один комплекс средств вычислительной техники, аппаратуры связи и каналов передачи данных предъявляет специфические требования со стороны каждого элемента многомашинной ассоциации, а также требует формирования специальной терминологии.

Совокупность абонента и станции принято называть *абонентской системой*. Для организации взаимодействия абонентов необходима физическая передающая среда. Абонентами сети могут быть отдельные ЭВМ, комплексы ЭВМ, терминалы, промышленные роботы, станки с числовым программным управлением и т.п.

На базе физической передающей среды строится *коммуникационная сеть*, которая обеспечивает передачу информации между абонентскими системами. Такой подход позволяет рассматривать любую *вычислительную сеть* как совокупность абонентских систем и коммуникаций.

**Вычислительная сеть** представляет собой совокупность абонентских систем и коммуникационной сети.

В зависимости от территориального расположения абонентских систем вычислительные сети можно разделить на три основных класса: глобальные сети (WAN); региональные сети (MAN); локальные сети (LAN).

*Глобальная вычислительная сеть* объединяет абонентов, расположенных в различных странах, на различных континентах. Взаимодействие между абонентами такой сети может осуществляться на базе телефонных линий связи, радиосвязи и систем спутниковой связи. Такие сети позволяют решить проблему объединения информационных ресурсов всего человечества и организации доступа к этим ресурсам.

*Региональная вычислительная сеть* связывает абонентов, расположенных на значительном расстоянии один от другого. Она может объединять абонентов внутри большого города, экономического региона, отдельной страны. Обычно расстояния между абонентами региональной вычислительной сети составляют десятки – сотни километров.

*Локальная вычислительная сеть (ЛВС)* объединяет абонентов, расположенных в пределах небольшой территории. В настоящее время не существует четких ограничений на территориальный разброс абонентов ЛВС. Обычно такая сеть привязана к конкретному месту. К классу ЛВС относятся сети отдельных предприятий, фирм, банков, офисов и т.д. Протяженность такой сети можно ограничить пределами 2–2,5 километра.

Наиболее популярной глобальной компьютерной сетью является Интернет. В ее состав входит множество свободно соединенных сетей. Внутри каждой из них действуют конкретная структура связи и определенная дисциплина управления. Внутри Интернета структура и методы соединений между различными сетями для конкретного пользователя не имеют значения.

Персональные ЭВМ, ставшие в настоящее время непременным элементом любой системы управления, привели к буму в области создания ЛВС. Это, в свою очередь, вызвало необходимость в разработке новых информационных технологий. Практика применения персональных ЭВМ в различных отраслях науки, техники и производства показала, что наибольшую эффективность от внедрения вычислительной техники обеспечивают не отдельные автономные ПЭВМ, а ЛВС. Эти сети за последнее время получили широкое распространение в самых разных областях науки, техники, производства.

На базе ЛВС можно создавать системы автоматизированного проектирования (САПР). Это позволяет реализовывать новые технологии проектирования изделий, в том числе машиностроения, радиоэлектроники и вычислительной техники. В условиях развития рыночной экономики появляется возможность создавать конкурентоспособную продукцию, быстро модернизировать ее, обеспечивая реализацию экономической стратегии предприятия. ЛВС позволяют также реализовывать новые информационные технологии в системах организационно-экономического управления. В учебных лабораториях университетов ЛВС позволяют повысить качество обучения и внедрять современные интеллектуальные технологии обучения.

*Глобальная компьютерная сеть Интернет* позволяет получить доступ к практически неограниченным информационным ресурсам.

Интернет означает «между сетей». Это сеть, соединяющая отдельные сети. С позиции логической структуры Интернет представляет собой некое виртуальное объединение, имеющее свое собственное информационное пространство.

Интернет обеспечивает обмен информацией между всеми компьютерами, которые входят в сети, подключенные к ней. Тип компьютера и используемая им операционная система значения не имеют. Соединение сетей обладает огромными возможностями. С собственного компьютера любой абонент Интернета может, например, передавать сообщения в другой город, просматривать каталог библиотеки Конгресса США в Вашингтоне, знакомиться с картинами на последней художественной выставке, участвовать в специальных конференциях и даже в играх с абонентами сети из разных городов и стран.

Интернет предоставляет в распоряжение своих пользователей множество всевозможных ресурсов.

*Структура сети Интернет.* Основные ячейки Интернета – это ЛВС. Отсюда следует, что Интернет не просто устанавливает связь между отдельными компьютерами, а создает пути соединения для более крупных единиц – групп компьютеров.

Если некоторая ЛВС непосредственно подключена к Интернету, то и каждая рабочая станция этой сети может подключаться к Интернету. Существуют также компьютеры, самостоятельно подключенные к Интернету. Их называют хост-компьютерами (*host* – хозяин). Важной особенностью Интернета является то, что он, объединяя различные сети, не создает при этом никакой иерархии – все компьютеры, подключенные к сети, равноправны.

*Работа с Интернетом.* Он в настоящее время является наиболее удобным способом получения (и передачи) самой различной информации. Метасеть Интернета – это всемирное объединение различных региональных и корпоративных компьютерных сетей, образующих единое информационное пространство благодаря использованию общих стандартных протоколов данных. Основными протоколами являются IP – Internet Protocol (Протокол Интернета) и TCP – Transmission Control Protocol (Протокол Управления Передачей). Эти протоколы, как правило, объединяют, определяя базовый протокол метасети Интернета как TCP/IP.

Каждый компьютер (а также любое другое устройство, подключающееся к сети, – принтер и др.) имеет уникальный адрес. Это адрес узла (или сетевой, или IP-адрес) длиной 4 байта. Его принято записывать в виде 4 десятичных чисел, разделенных точкой. Каждое число соответствует одному байту, например 191.28.14.51.

Используется и другая форма идентификации компьютеров в сети – форма доменных имен. Например, isem.fem.ru. Между IP-адресом и его доменным именем устанавливается однозначное соответствие. Доменное имя с указанием протокола, с помощью которого следует обращаться к данному ресурсу, носит название URL – Universal Resource Locator (Универсальный Указатель Ресурсов).

В основных видах информационных услуг, предоставляемых Интернетом, используется архитектура «клиент – сервер». Для специалистов наибольший интерес представляет получение информации, предоставляемой системой WWW (World Wide Web – Всемирная паутина) в виде гипертекстов, и файловым сервисом FTP (File Transfer Protocol – Протокол Передачи Файлов). Для работы в системе WWW используется протокол HTTP – Hyper Text Transfer Protocol (Протокол Передачи Гипертекста). Гипертекст представляет собой множество отдельных документов, содержащих перекрестные ссылки, и создается с помощью специального языка HTML (Hyper Text Markup Language – Язык Разметки Гипертекста). Документ, составленный на языке HTML и доступный для просмотра, называется Web-страницей.

Web-страницы размещаются на Web-серверах. Для просмотра Web-страниц, а также для их создания и редактирования могут быть использованы программы-навигаторы, основными из которых являются Netscape Communicator и Microsoft Internet Explorer.

- 1. Информатика: учебник / под ред. проф. Н.В. Макаровой. – М.: Финансы и статистика, 1997. 2. Информационные системы: учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – С. 72–77. 3. Нольден М. Ваш первый выход в Internet: пер. с нем. / М. Нольден – СПб.: ИКС, 1996. 4. Пайк М. Internet в подлиннике / М. Пайк. – СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 1996. 5. Фролов А.В. Глобальные сети компьютеров: практическое введение в Internet, E-Mail, FTP, WWW и HTML, программирование для Windows Sockets / А.В. Фролов, Г.В. Фролов. – М.: Диалог-МИФИ, 1996. 6. Экономическая информатика: учебник / Под ред. В.В. Евдокимова. – СПб.: Питер, 1997. *В.Б. Ступак*

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (ГИС)** – специальные программные комплексы, предназначенные для решения задачи управления территориально распределенными объектами с помощью компьютера. ГИС обеспечивают повышение эффективности государственного и муниципального управления. ГИС имеют следующие характеристики:

- в их состав входит база данных (и не одна), причем полная технология обработки информации в ГИС значительно шире, чем просто работа с базой данных;

- ГИС рассчитана не просто на обработку данных, а на проведение экспертных оценок во многих ситуациях. Другими словами, ГИС должна включать в свой состав экспертную систему (одну или несколько), а этого только на уровне базы данных достигнуть невозможно, так как экспертная система является более общей по отношению к базе данных;

- данные, которые обрабатывает и хранит ГИС, имеют не только пространственную, но и временную характеристику, что важно в первую очередь для географических данных. Процент чисто географических данных в таких системах незначителен, технологии обработки данных имеют мало общего с традиционной обработкой географических данных, и, наконец, географические данные служат лишь базой для решения большого числа прикладных задач, цели которых далеки от географии. Поэтому современные ГИС не являются чисто географическими.

**Геоинформационные данные и ГИС.** В настоящее время существуют различные концепции геоинформатики и применения ГИС в управлении государствами, регионами, экономическим потенциалом отдельных стран.

В связи с этим в декабре 1996 г. было принято постановление Правительства России «ГИС как органы государственной власти (ОГВ)». В США правительственными органами используется следующее определение геоинформации: *«Геопространственные данные означают информацию, которая идентифицирует географическое местоположение и свойства естественных или искусственно созданных объектов, а также их границ на земле. Эта информация может быть получена (помимо иных путей) с помощью дистанционного зондирования, картографирования и различных*

видов съемок» (У. Клинтон. Распоряжение от 11.04.1994 «Координация в области производства и обеспечения доступа к данным: национальная инфраструктура пространственных данных»).

В рамках ГИС создаются электронные кадастры – аналоги Государственного земельного кадастра учета, оценки земель и регистрации прав на землю, регулирования земельных отношений и сведений о правовом, хозяйственно-экономическом, экологическом и природном состоянии городских земель и недвижимости (рис. 1). Как видно из приведенной схемы, электронный земельный кадастр обеспечивает решение следующих задач:

- в сфере управления инвестиционными проектами – планирование земельного участка под конкретный инвестиционный проект и одновременная оценка вариантов проекта с помощью экономико-математического инструментария;

- в области управления земельными ресурсами – предоставление полной и достоверной информации для планирования и управления земельными ресурсами города, межведомственное взаимодействие при формировании объектов недвижимости, контроль состояния и использования городских земель и земельных участков;

- в области правовых отношений – регистрация прав на землю и сделок с ними и, как следствие, помощь в защите интересов инвесторов-землепользователей и территорий;

- в сфере экономики – поступление земельных платежей в городской бюджет, проведение кадастровой (экономической) оценки городских земель, информационная и правовая поддержка рыночного оборота земли, а в перспективе – создание фондового рынка земельных ценных бумаг;

- в сфере общеинформационных услуг – предоставление местным органам управления, их структурам, судам, банкам, другим юридическим и физическим лицам достоверной кадастровой информации, информационная поддержка других городских реестров и кадастров.

ГИС городского хозяйства относится к низшему (муниципальному) уровню в отношении используемых масштабов карт (1:10000 и более крупных). Вместе с тем это самые популярные ГИС.

Все координатные данные в ГИС должны входить в *единую систему координат*. Для позиционирования объектов в этой координатной системе должны быть определены *идентификаторы*

Составные части ГИС	Земельные участки и недвижимость	Количественный и качественный учет земель	Регистрация прав на землю	Кадастровая оценка земель
Объекты	Земли в границах населенного пункта	Городские земли, земельные участки	Права на землю и на ее целевое использование	Земли города, отдельные земельные участки
Основные сведения об объекте	<p><i>Сведения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>многослойные электронные карты;</li> <li>о землях города по категориям, включая кадастровое и территориальное деление;</li> <li>о земельном участке, включая "электронную карту";</li> <li>о существующем землепользователе;</li> <li>об объекте (объектах) недвижимости на участке</li> </ul>	<p><i>Качественные и количественные характеристики:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>земель города;</li> <li>земельного участка</li> </ul> <hr/> <p><i>Сведения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>о жизненном цикле участка и/или недвижимости;</li> <li>об объектах недвижимости;</li> <li>о функциональном использовании земель;</li> <li>о планируемом использовании земель</li> </ul>	<p><i>Сведения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>о правах на земельные участки;</li> <li>о вещных и обязательственных обременениях;</li> <li>о субъектах права;</li> <li>об особом целевом назначении</li> </ul> <p><i>Специальные сведения и характеристики</i></p>	<p><i>Сведения, необходимые для:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>оценки городских земель всех видов;</li> <li>территориально-экономического зонирования (ТЭЗ) города;</li> <li>формирование системы экономических нормативов землепользования;</li> <li>оценки земельного участка;</li> <li>рыночных операций с земельными участками</li> </ul>

Рис. 1

*местоположения*, которые задают характеристики карты по всей юрисдикции, например: коды объектов, акты переписи населения, номера домов и т.д.

Тематические карты городского хозяйства представляют собой составную модель. В свою очередь, они подразделяются на *слои* (рис. 2).



Рис. 2

Таким образом, интегрированную графическую основу городской ГИС образует совокупность тематических карт-слоев и связанных с ними атрибутивных данных в табличной и текстовой форме.

При использовании ГИС специалист сам выбирает знаки и способы изображения, решает, что и как будет показано на карте. Одновременно он проводит отбор и обобщение объектов, т.е. определяет, что важно для данной карты и обязательно должно быть на ней показано, а что не столь существенно и может быть частично или полностью исключено. При этом составитель карты исходит не только из определенных научных принципов, правил и инструкций, но и руководствуется собственным пониманием сути отображаемого явления, его генезиса и значимости в картографируемой геосистеме.

Многие решения, которые принимаются с помощью ГИС, индивидуальны в каждой конкретной ситуации и поэтому трудно-формализуемы. Карта, в отличие от снимка, не является копией местности; это отображение реальности, образно говоря, пропущенное через голову и руки картографа. На снимке представлены только факты, а на карте – еще и научные понятия, обобщения, логические абстракции.

Программное обеспечение ГИС и соответствующие базы данных создаются специализированными организациями. Можно отметить следующие программные продукты:

- геоинформационные системы Института исследования систем окружающей среды *ESRI* (США), такие, как *ArcView*, *ArcInfo* и специализированные пакеты прикладных программ;
- геоинформационные технологии *WinGIS* (Австрия) со своеобразными методическими основами и специальным программным обеспечением;
- моделирующая система *Pilgrim-5* (и имитационные модели, создаваемые в операционной среде этой системы) имеет собственные ГИС-средства и, кроме того, позволяет работать с различными базами данных, используя стандартные *ODBC*-интерфейсы.

С рассмотрением конкретной работы с различными ГИС можно познакомиться в [1].

**Отображение геоинформации в ГИС.** При оценке крупномасштабных геопроцессов программное обеспечение ГИС должно учитывать\*, что поверхность Земли – это эллипсоид. Географические координаты точек на поверхности Земли – это широта и долгота, которые измеряются в градусах °, минутах ' и секундах ''.

Расстояние между двумя пунктами на поверхности Земли вычисляется по формулам сферической тригонометрии.

Рассмотрим сферический треугольник *PAB* на сфере с центром в *O*. Вершина *P* – полюс Земли. Введем следующие обозначения:  $\varphi_1$  – географическая широта точки *A* (угол);  $\varphi_2$  – то же точки *B*;  $\lambda_1$  – географическая долгота точки *A*;  $\lambda_2$  – то же точки *B*. Необходимо найти  $l_{AB}$  – длину дуги *AB*.

Рассмотрим угол *AOB*, который обозначим  $\gamma$ . Одна из основных формул сфероидов Красовского определяет косинус этого угла:

---

\* Далее приводятся примеры, рассмотренные подробно в учебном пособии [1] и реализованные в ГИС-среде системы имитационного моделирования *Pilgrim*.

$$\cos \gamma = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1). \quad (1)$$

Радиус Земли  $R_x$  для широты  $\varphi_x$  вычисляется по эллипсоиду Красовского:

$$R_x = \frac{z_1 z_2}{\sqrt{z_1^2 \cos^2 \varphi_x + z_2^2 \sin^2 \varphi_x}}, \quad (2)$$

где  $z_1 = 6378245,000$  м – большая полуось эллипсоида Земли;  
 $z_2 = 6356863,019$  м – малая полуось.

Функция `double geoway(latX, lonX, latY, lonY)` служит для определения расстояния между точками  $X$  и  $Y$  по их географическим координатам. Она использует формулы Красовского (1) и (2).

Взаимное расположение точек на поверхности Земли в средних широтах, характерных для России, стран Европы и США, рекомендуется изображать на плоскости (в частности, на экране монитора) в виде *нормальной конической проекции*. При отображении земного эллипсоида используется промежуточная поверхность земного шара с радиусом  $R$ .

**Пример 1.** Допустим, что необходимо подготовить экран монитора для отображения точек, находящихся на территории России (включая Калининградскую область), Белоруссии, Украины, Литвы и Латвии. Этот участок ограничен координатами:

- от  $48^\circ 04'$  до  $59^\circ 57'$  Северной широты (обозначим  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ );
- от  $19^\circ 55'$  до  $38^\circ 10'$  Восточной долготы (обозначим  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ).

Перейдем к радианной системе измерения углов.

Пересчет географических координат, измеряемых в градусах, минутах и секундах, в радианы не представляет трудностей. Отображаемую поверхность необходимо так расположить на плоскости, чтобы середина региона соответствовала центру той части экрана, на которой строится поверхность. Меридианы изображаются прямыми, исходящими из одной точки – проекции Северного полюса, которая находится за пределами экрана. Параллели – это дуги окружностей с радиусами, исходящими из полюса.

На рис. 3 показано расположение региона, максимально вписанное в отведенные прямоугольные границы экрана с размерами  $x_{\max}$  – по горизонтали и  $y_{\max}$  – по вертикали.

Все точки, имеющие координаты  $\varphi$  и  $\lambda$ , должны попасть на экран с прямоугольными координатами  $x$  и  $y$ . Обычно при планировании места для отображения на экране выдерживают соотношение

$$\frac{x_{\max}}{y_{\max}} = \frac{4}{3},$$

но могут быть и другие.

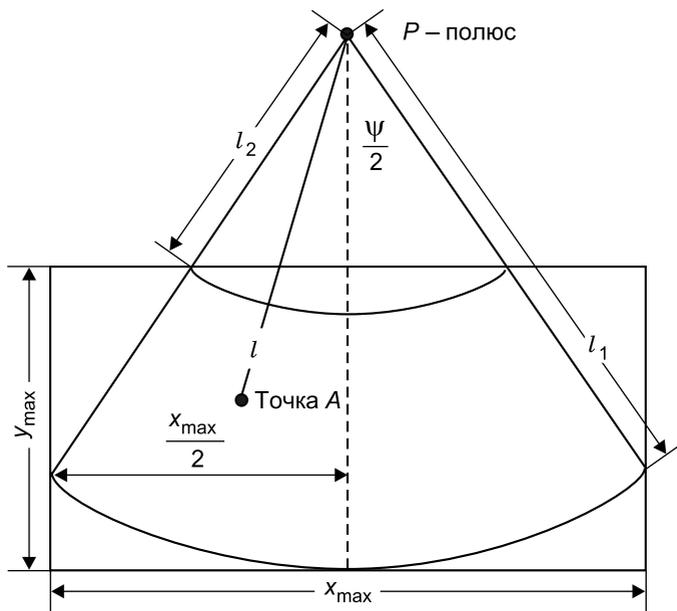


Рис. 3

Рассмотрим угол конической развертки на экране  $\psi = |\lambda_2 - \lambda_1|$ . Нетрудно заметить, что радиус окружности, касающейся нижней границы прямоугольника и соответствующей южной граничной параллели региона, определяется как

$$l_1 = \frac{0,5x_{\max}}{\sin(0,5\psi)}.$$

Радиус окружности, соответствующей северной граничной параллели региона, определяется по формуле

$$l_2 = \frac{l_1 - y_{\max}}{\cos(0,5\psi)}.$$

Работа с прямоугольными координатами на экране монитора должна следовать правилам компьютерной графики:

- левый верхний угол прямоугольника имеет координаты  $x = 0$  и  $y = 0$ ;
- единица измерения – 1 пиксель.

Поэтому если имеется точка  $A$  с координатами  $\varphi$  (широта) и  $\lambda$  (долгота), причем  $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$  и  $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$ , а угол конической развертки на экране монитора изменяется на отрезке от  $-0,5\psi$  до  $+0,5\psi$ , то справедливы следующие соотношения для координат этой точки  $x$  и  $y$ . Радиус окружности  $l$ , соответствующей параллели на широте  $\varphi$ , определяется из выражения

$$l = l_1 - (l_1 - l_2) \frac{\varphi - \varphi_1}{\varphi_2 - \varphi_1}.$$

Координата  $x$  на экране монитора вычисляется по формуле

$$x = l \sin(-0,5\psi + (\lambda - \lambda_1)) + 0,5x_{\max},$$

а координата  $y$  определяется как

$$y = y_{\max} - \{l_1 - l \cos(-0,5\psi + (\lambda - \lambda_1))\}.$$

Для дополнительных расчетов в рассматриваемом регионе необходимо знать радиус Земли. Он усредняется по диапазону широт  $\varphi_1 - \varphi_2$ :

$$R = \frac{1}{2}(R_1 + R_2),$$

где  $R_1$  – радиус Земли на широте  $\varphi_1$ ;  
 $R_2$  – то же на широте  $\varphi_2$ .

При изображении взаимного расположения точек на экране монитора возникает необходимость в *корректировке масштабов*, т.е. требуется сделать масштабы равновеликими. Дело в том, что если последовать приведенным расчетным формулам, масштаб по параллели, проходящей через центр региона, может существенно отличаться от масштаба в направлении меридиана. Поэтому необходимо определить масштабы:

- $m_E$  – по средней параллели в восточном направлении;
- $m_N$  – по меридиану в северном направлении.

Сначала найдем  $l_M$  – расстояние между восточной и западной точками, имеющими координаты

$$\left( \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}, \lambda_1 \right) \text{ и } \left( \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}, \lambda_2 \right),$$

например, с помощью функции `Pilgrim geoway`.

Соответствующий масштаб, км/пиксель, определяется из отношения

$$m_E = \frac{R |\lambda_2 - \lambda_1|}{l_M}.$$

Далее определим расстояние по меридиану между северной и южной границами региона:  $l_N = l_1 - l_2$ . Масштаб, км/пиксель, в северном направлении равен отношению

$$m_N = \frac{R |\varphi_2 - \varphi_1|}{l_N}.$$

Введем в рассмотрение отношение масштабов

$$k_m = \frac{m_E}{m_N}.$$

Корректировка линейных масштабов осуществляется по следующему правилу:

если  $k_m > 1$ , то угол  $\psi = |\lambda_1 - \lambda_2|$  нужно увеличить, умножив на  $k_m$ ;  
 если  $k_m < 1$ , то угол  $\theta = |\varphi_1 - \varphi_2|$  следует увеличить, умножив на  $k_m$ ;  
 если  $k_m = 1$ , то масштабы установлены правильно и корректировка не требуется (такой случай нереален).

После корректировки границы региона несколько расширяются, поэтому нужно заново рассчитать  $l_1$  и  $l_2$ , так как от них зависят  $x$  и  $y$  – прямоугольные координаты точек на экране.

После программирования всех манипуляций получается небольшая программа (например, в среде Visual C++). Функциональное окно на экране выводит нормальную коническую проекцию региона.

### **Практическое применение ГИС: решение задачи коммивояжера.**

Известна классическая задача исследования операций, которая в различных модификациях решается для оптимизации процессов

в логистике, при сплошном обследовании населенных пунктов в каком-либо регионе в связи с экономическими, экологическими или медицинскими проблемами, а также в зонах чрезвычайных ситуаций. Она получила название «задачи коммивояжера».

Рассмотрим две практические разновидности этой задачи, решение которых невозможно без применения ГИС.

**Пример 2.** Постановка задачи коммивояжера с привязкой к дорожной сети. В регионе с развитой сетью дорог имеются:

- множество  $M$  населенных пунктов;
- множество  $N$  перекрестков (развилки) вне населенных пунктов;
- множество  $K$  участков дорог.

Участком дороги назовем дорогу от пункта  $A$  до пункта  $B$ , причем  $A$ ,  $B$  – это населенный пункт или перекресток.

Необходимо составить такой маршрут посещения населенных пунктов, чтобы длина маршрута, включая суммарные повторные пробеги по участкам дорог, была минимальной.

В данной постановке учитывается то обстоятельство, что из-за конечных возможностей дорожной сети возникают повторные посещения населенных пунктов и возвраты к перекресткам (развилкам) дорог. Однако не существует метода, который сразу мог бы привести к оптимальному маршруту при такой постановке: любой метод, включая алгоритмы динамического программирования, дает тупиковые псевдооптимальные решения, из которых методом перебора нужно отыскать наилучший. Причем нет гарантии, что найден весь набор решений, среди которых есть и оптимальное.

Поэтому если есть компьютер большой мощности и есть время для ожидания результата (оно может быть довольно большим), то на компьютере реализуется алгоритм полного «тупого» перебора вариантов.

Но «тупой» перебор не имеет универсального алгоритма. Поэтому необходимо написать довольно сложную расчетную программу, учитывающую правила движения по данному региону.

**Пример 3.** Постановка задачи коммивояжера для выполнения вертолетных работ. В регионе имеется множество  $M$  населенных пунктов. Необходимо составить такой алгоритм посещения этих пунктов, который удовлетворял бы следующим требованиям:

- каждый пункт необходимо посетить только один раз;
- длина маршрута должна быть минимальной;
- при определении отрезков маршрута учитывается, что поверхность Земли – эллипсоид;
- на маршруте могут работать один или два вертолета (если два – то они движутся навстречу один другому).

Известен «алгоритм двух вертолетов», который подходит для практического использования как для действий с привязкой к дорожной сети, так и вертолетных работ, а по качеству решений может уступить только «тупому» перебору, так как в этом случае нет гарантии того, что среди набора псевдооптимальных решений имеется расписание движения по оптимальному маршруту.

Введем два определения и сформулируем одну теорему (без доказательства). Предположим, что нужно составить полетное расписание для вертолета, который вылетает из Санкт-Петербурга в Москву, причем он должен пролететь по кратчайшему маршруту над одиннадцатью промежуточными населенными пунктами (см. табл.). Траектория маршрута показана на рис. 4.

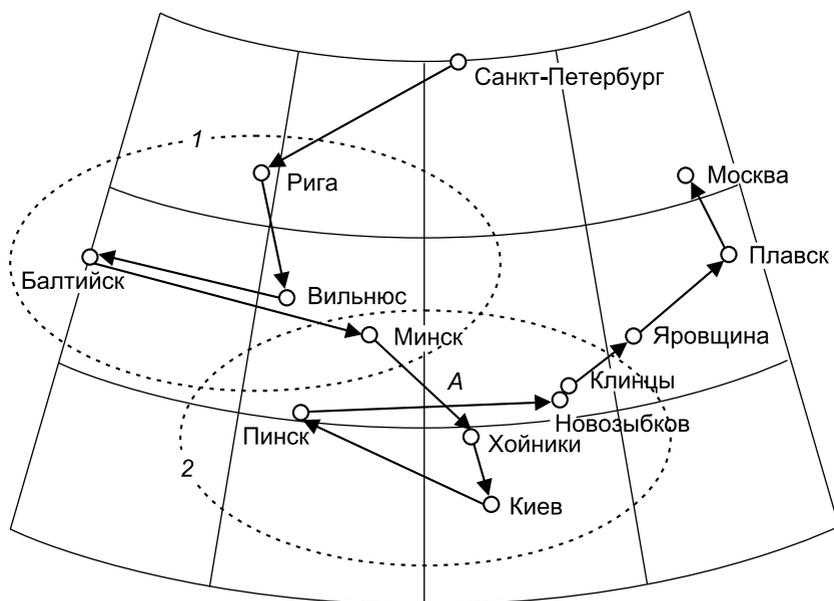


Рис. 4

*Определение 1.* Под корректировкой понимается такое исправление маршрута следования, которое приводит к его сокращению без исключения каких-либо населенных пунктов из маршрутного расписания. Корректировка выполняется на основе графической траектории движения, изображенной на карте, и с использованием опыта руководителя движения.

На рис. 4 пунктирным контуром 1 выделен неоптимальный участок, где установлен следующий порядок движения (полета):

Рига→Вильнюс→Балтийск→Минск.

Корректировка, проведенная экипажем, заключается в изменении порядка посещения (пролета). Оптимальным будет (это заметно на рисунке) маршрут: Рига→Балтийск→Вильнюс→Минск.

*Определение 2.* Петлей называется траектория движения по маршруту, имеющая замкнутый контур из ломаных линий, причем один угол такого контура находится вне перекрестка или населенного пункта.

На рис. 4 пунктирным контуром 2 выделен участок, имеющий характерную петлю. Точка А (угол Пинск–А–Хойники на пересечении траекторий Минск→Хойники и Пинск→Новозыбков) действительно находится за пределами населенных пунктов, через которые проходит маршрут.

*Теорема (без доказательства).* Независимо от метода, с помощью которого определяется минимальный маршрут коммивояжера, необходимым условием оптимизации пути является отсутствие петель в траектории.

Исходя из этой теоремы, участок маршрута внутри контура 2 на рис. 4 неоптимален. На нем установлен порядок:

Минск→Хойники→Киев→Пинск→Новозыбков.

После корректировки порядок изменится, а длина траектории уменьшится:

Минск→Пинск→Киев→Хойники→Новозыбков.

В результате двух выполненных корректировок из исходного (псевдооптимального) полетного расписания получено расписание полета по оптимальному маршруту (см. таблицу).

- 1. Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума; под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. 2. Изучение ГИС. Методология ARC/INFO. – Институт исследования систем окружающей среды ESRI (Калифорния, США): пер. с англ. – М.: DATA+, 1995. 3. Де Мерс М.Н. Географические информационные системы. Основы: пер. с англ. / М.Н. Де Мерс. –

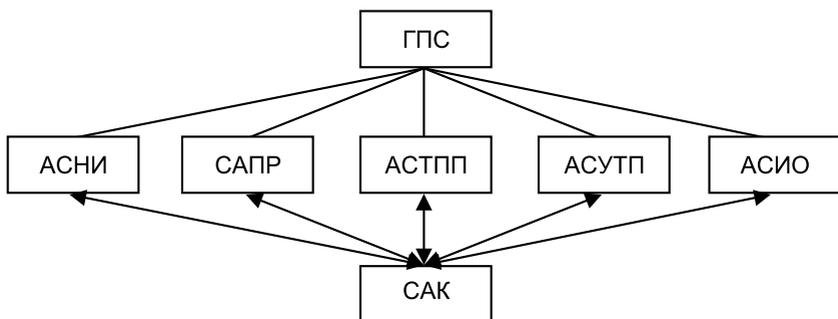
Порядковый номер	Географическое наименование	Географические координаты	
		Широта	Долгота
0	Санкт-Петербург	59°57'	30°19'
1	Рига	56°57'	24°06'
2	Балтийск	54°39'	19°55'
3	Вильнюс	54°41'	25°17'
...	...	...	...
Финиш	Москва	56°39'	36°31'

М.: DATA+, 1999. 4. Мартыненко А.И. Основы ГИС: теория и практика / А.И. Мартыненко, Ю.Л. Бугаевский, С.Н. Шибалов. – М.: Геоинформационные технологии, 1995. 5. Скогорева Р.Н. Геодезия с основами геоинформатики / Р.Н. Скогорева. – М.: Высшая школа, 1999. 6. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии / В.Я. Цветков. – М.: Финансы и статистика, 1998. *А.А. Емельянов*

**ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ (ГПС)** – термин, получивший широкое распространение в конце 80-х гг. XX в., когда была предложена концепция интенсификации производства и начали внедрять гибкую автоматизированную технологию (ГАТ) производства и управления.

ГПС охватывала все стадии работы научно-производственных объединений: от автоматизации научно-исследовательских работ, конструкторской, технологической и организационно-экономической подготовки производства, материального обеспечения, управления производственными процессами, контроля и испытаний до перестройки и переналадки оборудования.

Структура ГПС приведена на рис. 1 [3] и включает блоки: автоматизированная система научных исследований (АСНИ); система автоматизированного проектирования (САПР); автоматизированная система управления (АСУ), обеспечивающая оперативное производственное планирование загрузки оборудования и управление технологическими процессами (АСУТП) данной ГПС (эта система являлась частью АСУ всего предприятия); автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП), обеспечивающая обработку данных для наладки технологических процессов в условиях ГПС, выбор соответствующей



**Рис. 1**

щего оборудования, проектирование оснастки и приспособлений; автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО); система автоматизированного контроля качества и испытаний изделий (САК) [2].

Для реализации идеи гибкой автоматизации цеха, участка, а иногда и производства в целом предусматривалось оснащать ГПС специализированными промышленными роботами (ПР) и робототехническими комплексами (РТК), функциями которых являются организация безлюдной технологии, автоматическая гибкая перестройка и подача инструмента, смена деталей и полуфабрикатов, подача и смена материала, управление техпроцессами.

Разрабатывались и внедрялись ГПС разного рода (рис. 2): гибкие комплексно автоматизированные заводы (ГАЗ), цехи (ГАЗЦ), участки (ГАЗУ), гибкие автоматизированные линии (ГАЗЛ), создаваемые на основе гибких, перенастраиваемых производственных модулей (ГПМ) по всем видам производства с автоматизированными складскими, транспортными и транспортно-складскими системами (АСС, АТС, АТСС), системами управления производством и технологическими процессами.

Каждый модуль ГПС содержит технологические и контролирующие элементы, оснащенные специализированными автоматическими манипуляторами, управляемыми мини- и микроЭВМ: автоматизированную обрабатывающую ячейку, автоматическую контрольно-измерительную ячейку, автоматическую транспортную ячейку.

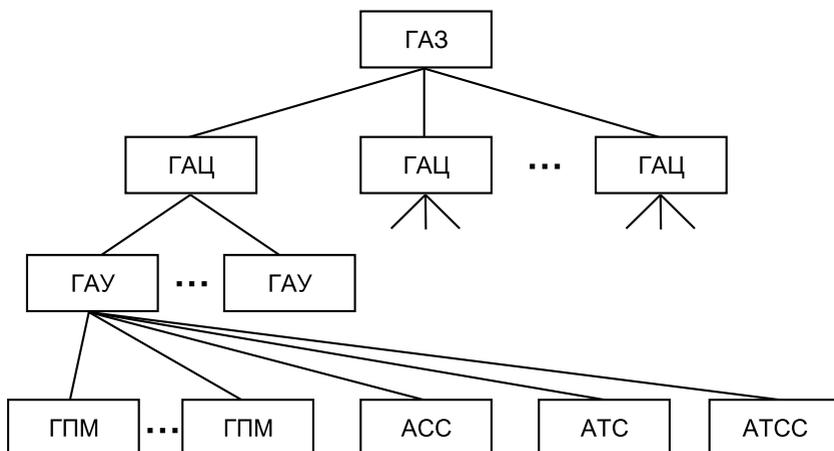


Рис. 2

Управление работой ГПС обеспечивает АСУ, управляющая режимом загрузки ГПМ и ГАЛ, режимом производственного и календарного планирования и функционированием отдельных производственных систем.

Идеология создания ГПС не утратила своего значения и в настоящее время. Однако недостатком периода активного внедрения ГПС был тот факт, что не всегда учитывались особенности конкретных условий их применения, объемов производства и т.п., в результате чего часто простаивали разработанные и особенно приобретенные ГАЛ, не всегда обеспечивалось необходимое согласование функционирования всех составных частей ГПС, что снижало их эффективность.

В последующем ГПС стали входить как составная часть в *Интегрированные автоматизированные системы управления промышленными предприятиями* (см.).

- 1. Войчинский М.А. Гибкие автоматизированные производства / М.А. Войчинский, Н.И. Диденко, В.П. Лузин. – М.: Радио и связь, 1987. 2. Азбелъ В.О. Гибкое автоматическое производство / В.О. Азбелъ, В.А. Егоров, А.Ю. Звоницкий и др. – М.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1983. 3. Волкова В.Н. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др.; под ред. В.А. Мясникова и Ф.Е. Темникова. – М.: Радио и связь, 1990. В.Н. Юрьев

**ГОМЕОСТАЗ (ГОМЕОСТАЗИС)** (греч. *homeo* – подобный, *stasis* – неподвижность) – понятие, введенное биологом Кэнноном для обозначения физиологических процессов, поддерживающих на определенном уровне или в определенных границах некоторые переменные состояния организма, относящиеся к существенным (давление, температура и т.п.).

Применительно к теории систем *гомеостазом* первоначально называли свойство системы сохранять в процессе взаимодействия со средой значения *существенных переменных* в некоторых заданных пределах.

Существенными называют характеристики, влияющие на основное качество системы, нарушение которого приводит к ее разрушению. При этом существенные переменные должны оставаться стабильными при различных состояниях среды и обеспечивать *равновесие* (см.) системы.

В таком понимании *гомеостаз*, или *равновесие*, характеризует систему как целое, а не отдельные ее части.

Определение *гомеостаза* через жесткую неизменность существенных переменных, интерпретируемых как параметры состояния системы, в ряде случаев оказывается недостаточным для описания функционирования сложных систем.

Например, при описании социально-экономических систем сложно выявить соответствующие переменные или выявленные характеристики могут не иметь ясной содержательной интерпретации. Такие объекты, как правило, следует отображать классом *самоорганизующихся систем* (см.), структура и характеристики которых могут меняться с течением времени, а условие жесткой фиксации границ существенных переменных невозможно выполнить.

Неудобно пользоваться такой моделью гомеостаза и в тех случаях, когда система стремится максимизировать (а не стабилизировать) некоторые свои переменные. Ряд исследователей по этой причине противопоставляли *гомеостатическим* системам *адаптивные* (см. *Адаптация*).

Понятие *адаптивности* удобнее использовать применительно к социально-экономическим системам, чем понятие экономического гомеостаза (см. в [5]).

Однако первоначальное понятие гомеостаза не сводится только к установлению жестких границ для существенных переменных системы, а может проявляться и в форме других механизмов. Поэтому в некоторых исследованиях полезно обратиться к бо-

лее тщательному изучению явления и гомеостаза, и принципиальной неравновесности, неустойчивости, чтобы использовать механизмы обеспечения гомеостаза в живых организмах или в социально-экономических объектах (см. *Устойчивость, Устойчивость экономических систем*).

- 1. Эшби У.Р. Конструкция мозга / У.Р. Эшби. – М.: Мир, 1964. 2. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 3. Бир С. Кибернетика и управление производством / С. Бир. – М.: Наука, 1965. 4. Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. 5. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. *В.Н. Волкова, С.В. Широкова*

**ГОМОМОРФИЗМ**, или *гомоморфное отображение* – понятие современной математики, которое первоначально возникло в алгебре. Термин *гомоморфизм* ввел Г. Фробениус, а общее определение было дано Э. Нётер в 1929 г. Это понятие относится к паре алгебраических систем, которые представляют собой множества с заданными на них операциями и/или отношениями и определяются как отображение множества элементов одной системы в другую, сохраняющее все операции и отношения. Частными случаями гомоморфизма являются *изоморфизм* (см.) и *автоморфизм*.

Перейдем к определению гомоморфизма для множеств с операциями. Пусть есть множество  $G$ . Говорят, что в этом множестве задана  $n$ -арная ( $n$  – целое неотрицательное число) *алгебраическая операция*  $\omega$ , если любому упорядоченному набору из  $n$  элементов  $a_1, \dots, a_n$  множества  $G$  поставлен в соответствие один определенный элемент этого же множества. Этот элемент обозначим  $\omega(a_1, \dots, a_n) \in G$ ; он является результатом выполнения алгебраической операции  $\omega$  над элементами  $a_1, \dots, a_n$ . При  $n = 0, 1, 2, 3$  соответственно получаем нульарную, унарную, бинарную и тернарную операции. Сложение, умножение и деление элементов – примеры бинарных операций.

Множество  $G$  называют *универсальной алгеброй*, если в нем задана некоторая система  $\Omega$   $n$ -арных алгебраических операций  $\omega$ , причем для различных операций  $\omega$  числа  $n$  могут быть как различными, так и совпадающими. Кроме того, система операций может быть и бесконечной. Примерами алгебраических систем являются такие алгебраические понятия, как группы, группоиды, кольца и т.п.

Пусть имеются две универсальные алгебры  $G$  и  $G'$ , в которых заданы системы алгебраических операций  $\Omega$  и  $\Omega'$  соответственно. Будем считать, что существует такое взаимно однозначное соответствие между системами  $\Omega$  и  $\Omega'$ , при котором любая операция  $\omega \in \Omega$  и соответствующая ей операция  $\omega' \in \Omega'$  будут  $n$ -арными с одним и тем же  $n$ . Иными словами, считается, что в данных двух алгебрах задана система операций одного и того же типа.

Гомоморфизмом универсальной алгебры  $G$  в  $G'$  называется однозначное отображение  $\phi$  алгебры  $G$  в  $G'$ , при котором равенство

$$\phi[\omega(a_1, \dots, a_n)] = \omega(\phi[a_1], \dots, \phi[a_n])$$

имеет место для всех элементов  $a_1, \dots, a_n \in G$  и любой  $n$ -арной операции  $\omega \in \Omega$ . При этом  $G'$  называют *гомоморфным образом* алгебры  $G$ .

- 1. Ленг С. Алгебра / С. Ленг. – М.: Мир, 1968. 2. Курош А.Г. Лекции по общей алгебре / А.Г. Курош. – М.: Наука, 1973. 3. Мальцев А.И. Алгебраические системы / А.И. Мальцев. – М.: Наука, 1970. В.Д. Ногин

**ГРАВИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ** – модель, базирующаяся на предложенном в середине XIX в. американским социологом Ф. Кэри понятии аналога гравитационной силы в общественных явлениях.

В 1929 г. В. Рейли предложил закон гравитации розничной торговли, согласно которому город притягивает своей розничной торговлей клиентуру из окружающей территории пропорционально своему размеру и обратно пропорционально квадрату расстояния от клиента до центра города.

Граница зоны сбыта городов  $i$  и  $j$  определяется как геометрическое место точек, для которых  $\frac{p_i}{d_{ix}^2} = \frac{p_j}{d_{jx}^2}$ , где  $d_{ix}$  и  $d_{jx}$  – расстояния от городов до точек  $x$  на границе соответственно.

Д. Стюартом разработана теория гравитационных моделей, применимая для отображения социальных и социально-экономических ситуаций типа взаимодействий между районами. Идея Стюарта заключается в том, что взаимодействие между совокупностями людей подчиняется законам, аналогичным закону гра-

витационного моделирования. Его теория основана на предположении, что величина (сила) взаимодействия между населенными пунктами пропорциональна произведению показателей численности населения и обратно пропорциональна квадрату расстояния между этими пунктами:

$$M_{ij} = k \frac{P_i P_j}{d_{ij}^2}, \quad (1)$$

где  $P_i$  и  $P_j$  – численность населения пунктов  $i$  и  $j$  соответственно;

$d_{ij}$  – расстояние между пунктами  $i$  и  $j$ ;

$M_{ij}$  – показатель взаимодействия между пунктами  $i$  и  $j$ ;

$k$  – транспортная единица, например количество поездов или других средств взаимодействия.

Наряду с понятием *демографической силы* (1) Стюарт предложил формулу для *демографического потенциала*

$$v_j^{(i)} = \frac{P_j}{d_{ij}}, \quad (2)$$

где  $v_j^{(i)}$  – потенциал, создаваемый в точке  $i$  районом (или городом)  $j$ .

Суммарный демографический потенциал точки  $i$  определяется по формуле

$$v^{(j)} = \sum_j \frac{P_j}{d_{ij}}. \quad (3)$$

Стюарт составил карты демографического потенциала для территории США. Такие карты в дальнейшем были построены для многих стран и районов. Их анализ показал, что часто демографический потенциал отражает освоенность территории лучше, чем общепринятый показатель плотности населения. Была также отмечена высокая степень корреляции демографического потенциала с размещением розничной торговли, развитием автодорог, занятостью сельского населения в промышленности и т.д.

Гравитационная модель при соответствующем подборе параметров использовалась для описания процессов миграционного взаимодействия. Эта модель хорошо подходит для междугородных телефонных разговоров.

Простая гравитационная модель совершенствуется в двух направлениях. Во-первых, в моделях может быть предусмотрен учет взаимодействия дополнительных факторов, кроме показателей численности населения и расстояний. Например, в моделях миграции могут учитываться отношения прироста капитальных вложений для районов  $i$  и  $j$ , отношение числа вакантных рабочих мест на пути следования из района  $i$  в район  $j$  (модель промежуточных возможностей) и т.д. Во-вторых, известны попытки применить гравитационную модель в случаях, когда показателям численности населения районов придаются некоторые веса или когда в числителе модели эти показатели заменяются некоторыми другими. Такова, например, модель, описывающая передвижения людей между штатами США, согласно которой число поездок из штата  $i$  в штат  $j$  выражается соотношением

$$M_{ij} = k \frac{(w_i p_j)(w_j p_i)}{d_{ij}^2}.$$

Здесь в качестве весов  $w_i$  и  $w_j$  приняты средние доходы на душу населения в соответствующих штатах.

Интересно отметить, что закон «обратного квадрата», на котором основана гравитационная модель, получен в *теории информационного поля* [3] и находит экспериментальное подтверждение в различных областях [2].

- 1. Бунге В. Теоретическая география: пер. с англ. / В. Бунге. – М.: Прогресс, 1967. 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1977. 3. Денисов А.А. Теоретические основы кибернетики: Информационное поле / А.А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1975. 4. Изард К. Методы регионального анализа: пер. с англ. / К. Изард. – М.: Прогресс, 1966. 5. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975.

*В.Н. Волкова*

**ГРАДИЕНТНЫЕ МЕТОДЫ** математического программирования предназначены для численного решения задач максимизации (минимизации) функции нескольких переменных как при нали-

чии ограничений, так и без них. Градиентные методы представляют собой итерационный процесс, когда последовательное перемещение из одной точки в другую с целью приближения к точке экстремума на каждом шаге осуществляется в направлении градиента, т.е. вектора, составленного из частных производных целевой функции. Иначе говоря, градиентные методы используют линейную аппроксимацию целевой функции в окрестности текущей точки. Наиболее распространенные среди градиентных методов – *метод простой итерации, метод наискорейшего подъема (спуска), метод условного градиента и метод проекции градиента.*

Формально решение задачи максимизации функции  $f$  нескольких переменных методом наискорейшего спуска состоит в построении последовательности точек (векторов)  $x_0, x_1, \dots, x_n, \dots$ , удовлетворяющих условиям убывания целевой функции  $f(x_0) > f(x_1) > \dots > f(x_n) > \dots$

Точки этой последовательности вычисляются по формуле

$$x_{k+1} = x_k + \gamma_k p_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

где  $p_k = \left( \frac{\partial f(x_k)}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial f(x_k)}{\partial x_n} \right)$  – направление подъема из точки  $x_k$ , опре-

деляемое градиентом;

$\gamma_k$  – положительная величина, характеризующая длину шага вдоль направления подъема.

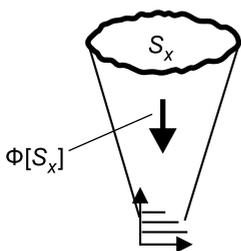
В зависимости от способа выбора величины шага будет получаться тот или иной вариант градиентного метода. Например, согласно методу простой итерации эта величина всегда постоянна. А в соответствии с методом наискорейшего подъема  $\gamma_k$  выбирают из условия минимизации целевой функции на луче, исходящем из точки  $x_k$  в направлении градиента  $p_k$ .

В общем случае градиентные методы дают возможность получить приближение лишь к стационарной точке, т.е. к такой, в которой градиент обращается в нулевой вектор. Это может быть точка глобального (локального) максимума либо минимума, или «седловая» точка.

- 1. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф.П. Васильев. – М.: Наука, 1988. 2. Зангвилл У.И. Нелинейное программирование. Единый подход / У.И. Зангвилл. – М.: Наука, 1973. 3. Моисе-

е в Н.Н. Методы оптимизации / Н.Н. Моисеев, Ю.П. Иванилов, Е.М. Столярова. – М. Наука, 1978. 4. Н о г и н В.Д. Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин и др. – М.: Высшая школа, 1986. 5. П ш е н и ч н ы й Б.Н. Численные методы в экстремальных задачах / Б.Н. Пшеничный, Ю.М. Данилин. М.: Наука, 1975. 6. Х е д л и Д. Нелинейное и динамическое программирование: пер. с англ. / Д. Хедли. – М.: Мир, 1967. *В.Д. Ногин, В.Н. Юрьев*

**ГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ** рассматриваются здесь как класс методов формализованного представления систем. В классификации Ф.Е. Темникова [1] этот класс символически представлен рисунком.



Понятие *графа* первоначально было введено Л. Эйлером.

В классификации Темникова к классу графических представлений отнесены разнообразные средства: графы (в классическом понимании теории графов), структуры (древовидные, сетевые), гистограммы, диаграммы, графики.

*Графические представления* позволяют наглядно отображать структуры сложных систем и процессов, происходящих в них.

С этой точки зрения они могут рассматриваться как промежуточные между МФПС (см. *Методы формализованного представления систем*) и МАИС (см. *Методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов*).

Действительно, такие средства, как графики, диаграммы, гистограммы, древовидные структуры, можно отнести к средствам активизации интуиции специалистов.

Классификация применяемых графиков по признакам и видам приведена в табл. 1.

В то же время есть и возникшие на основе графических представлений методы, которые позволяют ставить и решать вопросы оптимизации процессов организации, управления, проектирования и являются математическими методами в традиционном смысле.

Таковы, в частности, *геометрия, теория графов*.

Основные понятия теории графов приведены в табл. 2, которая позволяет начать самостоятельное изучение теории графов.

Особую роль в моделировании процессов в сложных системах проектирования и управления играют представления опера-

Т а б л и ц а 1

Группы	Виды
Графики, выражающие структуры и связи (оргаграммы)	Классификационные схемы Схемы организационных структур Оргасхемы табличного и других типов Схемы прохождения информации в документах Схемы рабочих процессов (оперограммы)
Графики, выражающие расположение предметов и явлений во времени (хронограммы) и в пространстве (топограммы)	Контрольно-планировочные графики Гармограммы Маршрутные графики Планы расположения предметов и рабочих мест и т.п.
Графики, выражающие количественные отношения	Графики сравнения величин, простые и групповые Гистограммы Графики, выражающие структурные сравнения Графики изменения и распределения величин
Графики расчетного характера	Номограммы Шкалограммы и т.п.

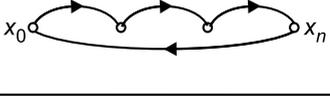
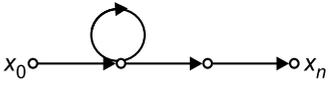
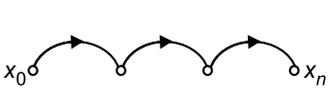
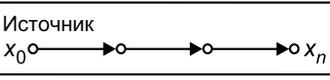
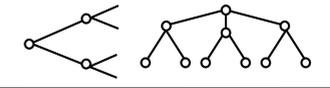
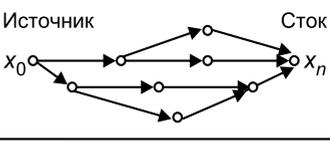
ций во времени. Старейшими из таких представлений являются графики Ганта («время-операция» в прямоугольных координатах), которые первоначально применялись при планировании, контроле и управлении производством.

Графики Ганта выполнялись в форме чертежей, ленточных диаграмм с ручным, а в последующем – с автоматическим управлением. В последнем случае графики представляли собой ленты, одна половина которых была окрашена в черный цвет (черный участок соответствовал продолжительности операции).

Дальнейшим шагом было разделение лент на отрезки времени, отображающие дискретные операции, что позволяло обрабатывать дискретную информацию. Еще позже на этой основе возникли представления совокупности дискретных операций в дискретном времени как множества событий, упорядоченных в двух измерениях – *сетевая структура* (см.)

Таблица 2

Понятие	Определение или определяющий признак	Изображение
Граф (Г)	Множества элементов $x_0, x_1, \dots, x_n$ и отношений $r_0, r_1, \dots, r_m$ между ними	
Граф конечный по $x$	Конечное множество элементов	
Граф конечный по $r$	Конечное множество отношений	
Граф ненаправленный (неориентированный)	Элементы не упорядочены. Направление отношений не определено	
Граф направленный (ориентированный)	Элементы упорядочены. Направление отношений определено	
Граф симметрический	Двусторонние отношения	
Граф асимметрический	Односторонние отношения	
Граф несвязный	Обособленные части	
Граф сильно связный	Любые два элемента соединены хотя бы одним путем	
Граф полный	Любая пара элементов соединена непосредственно хотя бы одним отношением	
Мультиграф	Много отношений между некоторыми элементами	

Понятие	Определение или определяющий признак	Изображение
Цикл (для ребер). Контур (для дуг)	Замкнутые последовательности элементов и отношений	
Петля	Контур единичной длины, связывающий точку x саму с собой	
Цепь (для ребер). Путь (для дуг)	Последовательность элементов и отношений	
Прадерево	Один источник	Источник 
Дерево	Не менее двух вершин	
Сеть. Сетевой график	Соединение элементов, удовлетворяющее требованиям к направленным графам (наличие источника, стока и отсутствие циклов)	Источник 
Структура системы	Любое соединение элементов	

В результате на этой основе возникли прикладные теории – PERT\*, *сетевого планирования и управления* (СПУ) [5, 6, 8 и др.] (см. *Сетевое моделирование*), а позднее – и ряд методов *статистического сетевого моделирования* с использованием вероятностных оценок графов.

Первоначально СПУ широко применялись не только в управлении производственными процессами (где достаточно несложно построить сетевой график), но и в *системах организационного управления* (см.). Однако в последнем случае важно понимать основные недостатки СПУ.

\* Program Evaluation and Review Technique – Методика оценки и контроля программ [7].

Во-первых, эта теория первоначально была ориентирована на анализ только одного класса графов – *направленных* (не имеющих обратных связей, т.е. циклов, петель; такие требования содержались в руководящих материалах по формированию сетевых планов предприятий), и это явилось одной из причин того, что впоследствии при применении сетевых методов для отображения ситуаций, не подчиняющихся этим ограничениям, был использован термин *сетевое моделирование*, снимающий требование односторонности графа.

И, во-вторых (что наиболее существенно), при формировании сетевых планов необходимо участие высококвалифицированных специалистов, хорошо знающих процессы в системе (эту работу нельзя поручить техническим работникам, которые полезны лишь при оформлении сетевых графиков и обработке результатов оценки). При этом по результатам исследования оказалось, что доля «ручного» труда лица, принимающего решение (ЛПР), при разработке сетевого графика составляет, по оценкам специалистов, до 95% общих затрат времени на анализ ситуаций и процессов с использованием сетевого моделирования.

Для снижения доли «ручного» труда полезно сочетать графические представления с лингвистическими и семиотическими, разрабатывая языки автоматизации формирования сетевой модели. На основе такого сочетания методов возникли новые направления моделирования – *структурно-лингвистическое* (см.), *графо-семиотическое* (см.) и т.п.

С примерами разработки методик и языков моделирования, использующих подобные представления, можно познакомиться в [2, 3, 4.].

- 1. Волкова В.Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974. 2. Волкова В.Н., Методы формализованного представления систем: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. – СПб.: СПбГТУ, 1993. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 127–130. 4. Волкова В.Н. Искусство формализации / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 5. Коффман А. Сетевые методы планирования и их применение / А. Коффман, Г. Дебазей. – М.: Прогресс, 1968. 6. Кривцов А.М. Сетевое планирование и управление / А.М. Кривцов, В.В. Шеховцов. – М.: Экономика, 1965. 7. Миллер Р.В. ПЕРТ – система управления / Р.В. Миллер. – М.: Экономика, 1965. 8. Сыроежин И.М. Азбука сетевых планов. Вып. 1 / И.М. Сыроежин. – М.: Экономика, 1966.

*В.Н. Волкова*

**ГРАФО-СЕМИОТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** – разновидность *структурно-лингвистического моделирования* (см.).

Название предложено в [3], чтобы подчеркнуть, что правила грамматики, применяющиеся при формировании модели, не относятся к правилам грамматики, исследуемым в *математической лингвистике* (см.), их в большей мере можно отнести к *лингвистической семиотике*, т.е. к *семиотическим представлениям* (см.), а понятие *графические представления* (см.) также можно трактовать шире, чем было принято в *структурно-лингвистическом моделировании*, в котором применялись, как правило, структуры типа расчленения *в пространстве* в то время, как в *графо-семиотических моделях* формировался конечный граф последовательности прохождения информации во времени, подобный *сетевому*, построенный автоматизированно и более полно отражающий характеристики элементов модели [2].

Эти модели назывались также *семиотическими* [1], *сигнатурными* [4, 5], т.е. *знаковыми* в широком смысле.

Для того чтобы пояснить развитие модели постепенной формализации, рассмотрим конкретный пример.

Предположим, что нужно принять решение о структуре обеспечивающей части Автоматизированной информационной системы (ОЧ АИС) отрасли, предприятия которой расположены в разных городах. При этом предварительно рассматриваются два основных варианта: 1) создание единого Главного информационно-вычислительного центра (ГИВЦ) отрасли и организация централизованного сбора от всех предприятий посредством установленных на них периферийных средств сбора информации (А1, А2, ... , А<sub>к</sub>); 2) наряду с ГИВЦ и периферийными средствами сбора на предприятиях создать региональные информационные центры (ИЦ), обозначенные на рис. 1 ИЦ1, ИЦ2, ... , ИЦ<sub>п</sub>, которые будут расположены в городах.

Необходимо выбрать вариант и определить вычислительную мощность ГИВЦ и региональных ИВЦ (в случае выбора второго варианта), типы ЭВМ для ГИВЦ и ИВЦ, типы периферийных средств регистрации информации, объемы информационных массивов в ГИВЦ и ИВЦ, формы документов Ф1, Ф2, ... , Ф<sub>п</sub> сбора и передачи информации между пунктами, принятыми в соответствующем варианте. При этом следует иметь в виду, что в случае выбора первого варианта возникают проблемы диспетчеризации приема-передачи информации от достаточно многочисленных пунктов первичного сбора информации на предприятиях.

Аналогично может быть поставлена задача для объединения, предприятия которого расположены в разных городах, или для предприятия, крупные производства которого расположены в разных корпусах.

Для ответа на поставленные вопросы и выбора структуры ОЧ АИС необходимо исследовать информационные потоки. Можно было бы попытаться получить статистические характеристики потоков и принять ориентировочные решения о выборе технических средств, структуре информационных массивов и на этой основе выбрать вариант ОЧ. Однако получить требуемые статистические характеристики трудоемко, а для вновь разрабатываемых информационных систем – невозможно.

Для решения этой задачи в [1] предложена методика постепенной формализации задачи моделирования информационных потоков. В соответствии с этой методикой предусмотрены формирование графо-семиотической модели, отображающей возможные варианты прохождения информации в АИС, и последующая оценка модели для выбора наилучшего варианта пути прохождения информации.

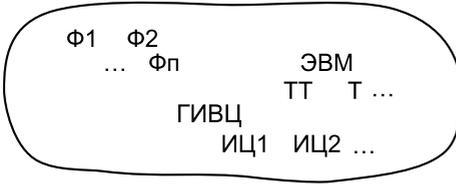
Формирование модели, отображающей возможные варианты прохождения информации в АИС, можно осуществить путем составления графо-семиотической модели, выполнив следующие этапы.

1. Отграничение системы от среды («перечисление» элементов системы). Задачу «перечисления» можно представить на языке теоретико-множественных методов как переход от названия характеристического свойства, отраженного в названии формируемой системы и множества ее элементов, к перечислению элементов, которые отвечают этому свойству и могут быть включены в множество.

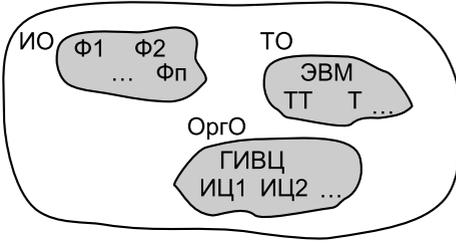
На рисунке перечислено для примера небольшое число исходных элементов: ГИВЦ, ИЦ1, ИЦ2, ... , А1, А2, ... – пункты сбора и обработки информации; Ф1, Ф2, ... – формы сбора и представления информации (документы, массивы); ЭВМ, ТТ (телетайп), Т (телефон) и т.д. Понятно, что в реальных условиях конкретных видов подобных элементов существенно больше, и они будут названы более конкретно – не ЭВМ, а тип ЭВМ; аналогично – тип ТТ, регистраторов производства (РП), наименования или коды документов и массивов и т.д.

«Перечисление» может выполняться с применением метода «мозговой атаки», а в реальных условиях – методов типа комиссий, семинаров и других форм коллективного обсуждения, в результате которого определяется некоторый перечень элементов будущей системы.

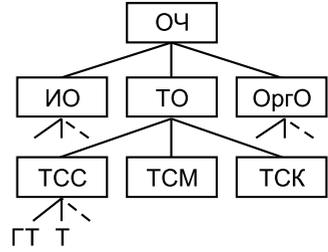
2. Объединение элементов в группы. Сложную реальную развивающуюся систему невозможно «перечислить» полностью. Следует, набрав некоторое множество элементов, попытаться объединить их в группы, найти меры сходства, «близости» и предложить способ их объединения.



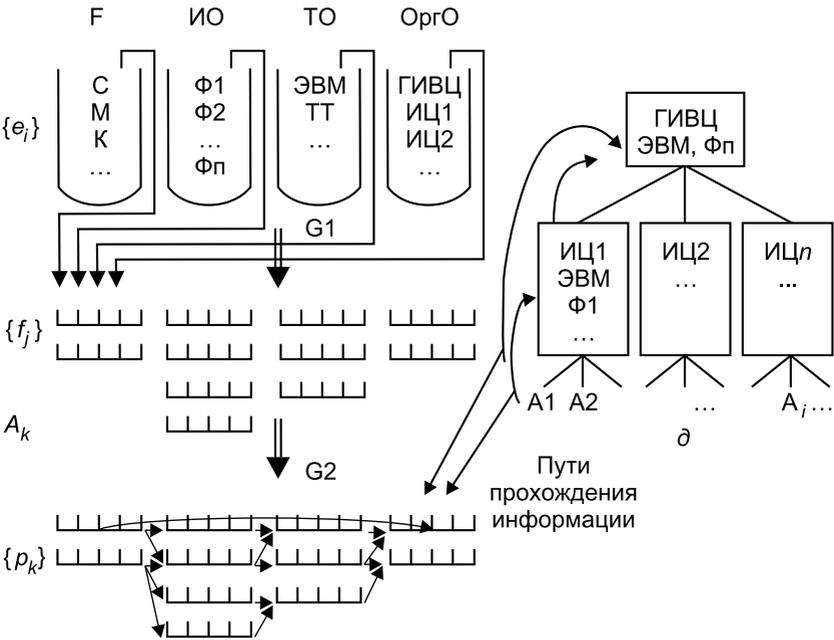
а



б



в



г

Если в качестве метода формализованного отображения совокупности элементов выбраны теоретико-множественные представления, то этот подэтап можно трактовать как образование из элементов исходного множества некоторых подмножеств путем перехода от перечисления сходных по какому-то признаку элементов к названию характеристического свойства этого подмножества. В результате в приводимом примере могут быть образованы подмножества элементов по соответствующим видам обеспечения – информационное, техническое, организационное обеспечение – ИО, ТО, ОргО соответственно (см. рис., *a*).

3. Формирование из элементов подмножеств новых множеств, состоящих из «пар», «троек», «n-ок» элементов исходных подмножеств. В рассматриваемом примере, объединяя элементы подмножеств ИО, ТО, ОргО в «пары» и «тройки», получим новые компоненты.

Например: «Ф1\_ЭВМ», «Ф1\_ТТ», «Ф2\_ЭВМ» и т.п.; «ЭВМ\_ГИВЦ», «ЭВМ\_ИЦ1», «ЭВМ\_А1», «ТТ\_ГИВЦ», «ТТ\_ИВЦ1», «ТТ\_А1» и т.п.; «Ф1\_ЭВМ\_ГИВЦ», «Ф1\_ТТ\_А1» и т. д.

Интерпретация получаемых компонентов затруднена, и ввести какое-либо формальное правило сравнения элементов новых множеств, которое помогло бы принять решение о выборе наилучших вариантов, не удастся. В таких случаях согласно рассматриваемому подходу нужно возвратиться к системно-структурным представлениям и попытаться поискать дальнейший путь развития модели.

4. Содержательный анализ полученных результатов и поиск новых путей развития модели. Для проведения такого анализа следует возвратиться к системным представлениям и использовать один из методов группы МАИС – структуризацию (в данном случае – в форме иерархической структуры, рис., *в*).

Такое представление более удобно для лиц, принимающих решение (руководителей работ по созданию АСУ), чем теоретико-множественные представления, и помогает им вначале распределить работу между соответствующими специалистами по ИО, ТО и т.д., а затем найти дальнейший путь развития модели на основе содержательного анализа сути полученных «пар» и «троек» с точки зрения формулировки решаемой задачи.

Поскольку любая задача представляет собой последовательность действий (функций) по сбору, хранению и первичной обработке информации, становится очевидной необходимость внесения в модель нового подмножества «Функции-операции (ФО)», добавление элементов которого к прежним «парам» и «тройкам» позволяет

получить новое их осмысление. Для простоты на рисунке показаны только принципиально отличающиеся между собой функции – связи  $C$ , хранения  $M$  (от «memory» – «память») и обработки  $K$  (от «компьютер»). После их добавления получают комбинации, которые ЛПР могут не только сравнивать, но и оценивать.

Например, комбинации типа «С\_Ф1\_ТТ», «С\_Ф1\_Т» различаются скоростью передачи информации, которую в конкретных условиях можно измерить или вычислить.

5. Разработка языка моделирования. После того как найдено недостающее подмножество, в принципе можно было бы продолжить дальнейшее формирование модели, пользуясь теоретико-множественными представлениями. Однако когда осознана необходимость формирования последовательностей функций-операций, дополненных их видами обеспечения – конкретизированными функциями ( $K\Phi$ ), целесообразнее выбрать *лингвистические* или для данной модели – *семиотические представления* (см.), которые удобнее для разработки языка моделирования последовательностей  $K\Phi_i$ .

Данный этап можно представить следующим образом:

разработка тезауруса языка моделирования;  
разработка грамматики (или нескольких грамматик, что зависит от числа уровней модели и различий правил).

Структура тезауруса языка моделирования, приведенная на рис., б, включает три уровня:

уровень первичных терминов (или слов), которые представлены в виде списков, состоящих из элементов  $\{e_i\}$  подмножеств  $\Phi O$ ,  $И O$ ,  $Т O$ ,  $О р г O$ ;

уровень фраз  $\{f_j\}$ , который в этом конкретном языке можно назвать уровнем  $K\Phi$ , так как абстрактные функции  $C$ ,  $M$ ,  $K$ , объединяясь с элементами подмножеств  $И O$ ,  $Т O$ ,  $О р г O$ , конкретизируются применительно к моделируемому процессу;

уровень предложений  $\{p_k\}$ , отображающий варианты прохождения информации в исследуемой системе.

Грамматика языка включает правила двух видов:

преобразования элементов  $\{e_i\}$  первого уровня тезауруса в компоненты  $\{f_j\}$  второго уровня, которые имеют характер правил типа «помещения рядом» (конкатенации, сцепления)  $R_1$ ;

преобразования компонентов  $\{f_j\}$  в предложения  $\{p_k\}$  – правила типа «условного следования за»  $R_{II}$ ; правила этого вида исключают из рассмотрения недопустимые варианты следования

информации: например, после функции «С1\_Ф2\_А1-ИЦ1\_ТТ» (передача документа Ф2 из А1 в ИЦ1 с помощью ТТ) не может следовать функция «М1\_Ф2\_ГИВЦ\_МН», так как в результате выполнения предшествующей функции документ Ф2 в ГИВЦ не поступил (здесь МН – машинный носитель).

В результате проведенных преобразований структура рис., в, отображающая состав ОЧ АИС, преобразуется в структуру рис., д, отображающую пути следования информации.

Словарь первичных терминов языка графо-семиотического моделирования, число уровней в нем и правила грамматики определяются результатами предшествующего развития модели.

Так, аналогично рассмотренной задаче можно поставить задачу моделирования организационно-технологических процедур (ОТП) подготовки и реализации управленческих решений на действующем предприятии.

В качестве единичного объекта, из которых формируются ОТП, выбран «Этап движения информации», включающий следующие элементы: укрупненная задача, отдел-изготовитель ОI документа на данном этапе, входящий документ DI (исходная информация), функция F обработки (преобразования, создания) документа, исходящий документ DP (выходная информация), отдел-получатель OP (сторонний получатель) выходной информации. Далее из описанных элементов необходимо выбрать те, которые могут служить для связи между этапами. Это отдел-получатель и отдел-изготовитель (при этом отдел-изготовитель на предшествующем этапе соответствует отделу-получателю на последующем), а также входящий и исходящий документы (или массивы входной и выходной информации), которые также должны соответствовать на смежных этапах.

Учитывая необходимость предоставления эксперту-разработчику ОТП возможности альтернативного выбора направления движения информации, возможна организация двух вариантов построения ОТП: первый – по жесткому соответствию и получателя с изготовителем, и выходной, и входной информации, а второй – по соответствию только информации.

Язык моделирования можно представить следующим образом (в бэкусовской нормальной форме).

<тезаурус>::=< основные символы > | < синтаксические единицы >  
<основные символы>::=<буквы> | <цифры> | <спец. знаки>  
<синтаксические единицы>::=<термы> | <элементарные цепочки> |  
<усложненные цепочки>=<MF> | <MZ> | <UZ>

<термы> ::= <MF> = <идентификатор термина> | <слово> | <слово-сочетание> | <идентификатор термина> ::= <буква> | <буква><буква> | <буква><буква><буква>

<спец.знак><цифра> = <step> | <seq\_2> | <seq\_3> | <seq\_4> | <seq\_5>

<элементарные цепочки> ::= <MZ> = <Z, OI, DI, F, DP, OP>

<Z> ::= <укрупненная задача, в рамках которой движется информация> = <Акцепт> | <Требование> | ...

<OI> ::= <отдел-изготовитель> = <ФО> | <ОМТС> | <УТЗиК> | ...

<DI> ::= <исходный документ> = <Счет к оплате> | <Счет к получению> | ...

<F> ::= <функция обработки документа> = <Присвоение № счета> |

<OP> ::= <отдел-получатель> ::= <ФО> | <ОМТС> | <УТЗиК> | ...

<DP> ::= <полученный документ> = <Счет к оплате> | <Счет к получению> | ...

<усложненные цепочки> ::= <UZ> = <MZ><MZ> |

<MZ><MZ><MZ> | <MZ><MZ><MZ><MZ> |

<MZ><MZ><MZ><MZ><MZ>

<Грамматика> ::= <G1> | <G2>

<G1> ::= < правила формирования усложненных цепочек типа «условного следования за» по принципу соответствия отделов–получателя и изготовителя и документов – исходящего и полученного >

<G2> ::= < правила формирования усложненных цепочек типа «условного следования за» по принципу соответствия документов – исходного и полученного >

Например,

$$\begin{aligned} \langle G1 \rangle ::= & \text{IF } \langle OP_i \rangle = \langle OI_i \rangle \cap \langle DP_i \rangle = \langle DI_i \rangle \Rightarrow \\ & \langle OP_i \rangle \in \langle MZ_i \rangle \langle OI_i \rangle \in \langle MZ_j \rangle \langle DP_i \rangle \in \langle MZ_i \rangle \\ & \langle DI_i \rangle \in \langle MZ_j \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \langle OI_i, DI_i, OP_i, DP_i \rangle \rightarrow \langle OI_j, DI_j, OP_j, DP_j \rangle \\ \langle OI_i, DI_i, OP_i, DP_i \rangle \in \langle MZ_i \rangle \langle OI_j, DI_j, OP_j, DP_j \rangle \in \langle MZ_j \rangle. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle G2 \rangle ::= & \text{IF } \langle DP_i \rangle = \langle DI_j \rangle \Rightarrow \langle OI_i, DI_i, OP_i, DP_i \rangle \rightarrow \langle OI_j, DI_j, OP_j, DP_j \rangle \\ & \langle DP_i \rangle \in \langle MZ_i \rangle \langle DI_j \rangle \in \langle MZ_j \rangle \langle OP_i \rangle \in \langle MZ_i \rangle \\ & \langle OI_i \rangle \in \langle MZ_j \rangle \\ & \langle OI_i, DI_i, OP_i, DP_i \rangle \in \langle MZ_i \rangle \langle OI_j, DI_j, OP_j, DP_j \rangle \end{aligned}$$

Используя разработанный язык, процедуру формирования модели можно автоматизировать. При этом правила типа G1 и G2 относительно несложно реализуются с помощью языков логического программирования (например, языка Турбо-Пролог).

- 1. Волкова В.Н. К методике проектирования автоматизированных информационных систем / В.Н. Волкова // Автоматическое управление и вычислительная техника. Вып. 11. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 289–300.

2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 438–449. 3. Темников Ф.Е. Вопросы автоматизации проектирования АИС и АСУ / Ф.Е. Темников, В.Н. Волкова, А.А. Денисов // Надежность и эффективность комплексных систем «человек-техника»: сб. трудов III Всесоюзного симпозиума. – Л., 1971. – С. 117–119. 4. Темников Ф.Е. О применении сигнатурных моделей при проектировании автоматизированных информационных систем / Ф.Е. Темников, В.Н. Волкова // Достижения и перспективы развития технической кибернетики: сб. трудов второй межвузовской научно-технич. конференции. – М., 1972. – С. 64–65. 5. Темников Ф.Е. Сигнатурные модели и их применение при проектировании сложных систем / Ф.Е. Темников, В.Н. Волкова, А.В. Созинов // Методы анализа и реконструкции сложных систем: сб. – Рига: Зинатне, 1972. – С. 96–98.

В.Н. Волкова



**ДВОЙСТВЕННАЯ ЗАДАЧА В ЛИНЕЙНОМ ПРОГРАММИРОВАНИИ** – один из основных разделов теории *математического программирования* (см.). Она строится по формальным правилам на базе другой задачи линейного программирования (ЛП), называемой основной.

Например, если основная задача имеет вид

$$Ax \leq b, \quad x \geq 0, \quad (c, x) \rightarrow \max, \quad (1)$$

то двойственная к ней задача также является задачей ЛП:

$$A^T y \geq c, \quad y \leq 0, \quad (b, y) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Здесь  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ ,  $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ ,  $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ ,

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}, \quad (c, x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j,$$

$(b, y) = \sum_{i=1}^m b_i y_i$ ,  $A^T$  – транспонированная матрица  $A$ .

Основная и двойственная к ней задачи образуют пару взаимно двойственных задач: двойственная задача к двойственной оказывается основной задачей.

*Основная теорема двойственности*

Либо обе задачи двойственной пары разрешимы, и тогда  $(c, x^*) = (b, y^*)$ , либо обе задачи не имеют решения. Здесь  $x^*$ ,  $y^*$  – оптимальные планы пары двойственных задач.

Эта и ряд других теорем, относящихся к двойственным задачам, играют важную роль при качественном анализе задач ЛП.

Содержательный анализ двойственной задачи, в том числе и неизвестных  $y_1, y_2, \dots, y_m$ , полностью определяется содержательным смыслом прямой задачи.

Так, например, если основная задача (1) является задачей производственного планирования, где  $A$  – технологическая матрица,  $b_i$  – количество  $i$ -го ресурса,  $x_j$  – объем выпуска  $j$ -го продукта,  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ , то целью решения двойственной задачи (2) оказывается получение так называемых двойственных оценок ресурсов  $y_j$ , которые также называют *маргинальными* (предельными) данными ресурсов.

Маргинальные цены, очевидно, связаны только с производством и потому отличаются от обычных рыночных цен на ресурсы.

Если маргинальные цены не превосходят рыночных ( $y_i^* \leq q_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ), то производство, для которого они были рассчитаны, не сможет получить прибыль  $p$  от своей производственной деятельности:

для любого плана выпуска  $x$

$$p(x) = (c, x) - (b, q) \leq (c, x^*) - (b, q) \leq (c, x^*) - (b, y^*) = 0.$$

И, наоборот, если  $y_i^* > q_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , то реализация оптимального производственного плана  $x^*$  принесет положительную прибыль

$$p(x^*) = (c, x^*) - (b, q) = (b, y^*) - (b, q) = (b, y^* - q) > 0,$$

размер которой ограничивается: *a*) средствами, выделяемыми на закупку ресурсов, *b*) объемом рынка ресурсов, *c*) технологическими условиями производства.

Если записать прямую задачу линейного программирования в канонической форме:

найти набор переменных  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , удовлетворяющих условиям  $x_j \geq 0, j = 1, \dots, n$ ,

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

и максимизирующих целевую функцию  $C(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ ,

то ей соответствует следующая двойственная задача:

найти набор переменных  $y = (y_1, \dots, y_m)$ , удовлетворяющих условиям

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}y_i \geq c_j, \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

и минимизирующих целевую функцию  $B(y) = \sum_{i=1}^m b_i y_i$ .

(В данном случае неотрицательность переменных в двойственной задаче не требуется.)

Значения целевых функций прямой и двойственной задач связаны неравенством

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \leq \sum_{i=1}^m b_i y_i, \quad (5)$$

где  $x = (x_1, \dots, x_n)$  – произвольное допустимое решение прямой задачи;  
 $y = (y_1, \dots, y_m)$  – произвольное допустимое решение двойственной задачи.

Основная теорема двойственности в канонической форме записывается следующим образом.

Если существуют допустимые решения прямой и двойственной задач, то для обеих задач существуют и оптимальные решения, причем

$$\max \sum_{j=1}^n c_j x_j = \min \sum_{i=1}^m b_i y_i. \quad (6)$$

Если хотя бы одна из задач не имеет допустимого решения, то ни одна из них не имеет оптимального решения.

Равенство  $\sum_{j=1}^n c_j x_j = \sum_{i=1}^n b_i y_i$  является необходимым и достаточ-

ным условием оптимальности допустимых решений прямой и двойственной задач.

Из теоремы двойственности вытекает ряд положений, которые позволяют устанавливать некоторые соотношения между целевой функцией и ресурсами, необходимыми для достижения цели.

В частности, имеет место следующее важное утверждение.

Если задача линейного программирования не вырождена и  $C(x^*)$  представляет собой максимум ее линейной формы  $\sum_{j=1}^n c_j x_j$  при заданных ограничениях, то  $\partial c(x^*) / \partial b_i = y_i^*, i = 1, 2, \dots, m$ .

Таким образом, с математической точки зрения оптимальные оценки определяют влияние свободных членов  $b_i$  условий-ограничений на оптимальную величину целевой функции. Иными словами, вычисление наряду с оптимальным планом  $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  связанных с ним оптимальных оценок  $y^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$  позволяет ввести относительную важность отдельных ресурсов ( $b_1^*, b_2^*, \dots, b_m^*$ ) для достижения поставленной цели (максимизации  $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ ).

На основе установления такой взаимосвязи между  $x^*$  и  $y^*$  можно исследовать влияние небольших отклонений ресурсов на изменение оптимального значения целевой функции, получать маргинальные оценки, идея которых уже рассмотрена, или другие рекомендации, полезные при разработке и корректировке планов в тех случаях, когда не может быть найдено строгое решение задачи оптимизации.

Идеи теории двойственности находят важное применение в разработке *численных методов линейного программирования* (см.), позволяющих решать задачи с неопределенностью, не имеющие строгого оптимума, что особо важно для задач системного анализа.

- 1. Ашманов С.А. Линейное программирование / С.А. Ашманов. – М.: Наука, 1981. 2. Гейл Д. Теория линейных экономических моделей: пер. с англ. / Д. Гейл. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 3. Данциг Д. Линейное программирование, его применение и обобщения: пер. с англ. / Д. Данциг. – М.: Прогресс, 1966. 4. Исследование операций в экономике / под ред.

Н.Ш. Кремера. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. 5. Канторович Л.В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов / Л.В. Канторович. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. 6. Лурье А.Л. О математических методах решения задач на оптимум при планировании социалистического хозяйства / А.Л. Лурье. – М.: Наука, 1964. 7. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 67–91. 8. Юдин Д.Б. Линейное программирование (теория, методы, приложения) / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. – М.: Наука, 1969.

В.А. Кузьменков

**ДЕКОМПОЗИЦИЯ (СТРУКТУРИЗАЦИЯ)** – расчленение системы на части при ее исследовании или проектировании.

Термин *декомпозиция* первоначально в теории систем был более широко распространен, чем термин *структуризация*, и применялся для расчленения любых объектов при представлении их в виде систем.

Однако в 70-е гг. XX в. С.П. Никаноров предложил различать эти понятия (см. *Структуризация*), и в настоящее время термин *декомпозиция* применяется в основном для расчленения технических объектов, в отношении которых известен алгоритм (конструкция, технология) возникновения *целостности* (см. *Закономерность целостности*), т.е. новых свойств у целого, собранного изделия, и выполняется *закономерность аддитивности* (см.).

В то же время во многих работах по системному анализу между терминами *структуризация* и *декомпозиция* различий не делается.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997.
- 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 36–44.

В.Н. Волкова

**«ДЕЛЬФИ»-МЕТОД**, метод «Дельфи», или метод «дельфийского оракула», предложен О. Хелмером и его коллегами [4] как итеративная процедура при проведении мозговой атаки, которая способствовала бы снижению влияния психологических факторов при проведении заседаний и повышению объективности результатов.

Почти одновременно «Дельфи»-процедуры стали средством повышения объективности экспертных опросов с использованием количественных оценок при сравнительном анализе составляющих *деревьев целей* (см.) и при разработке *сценариев* (см.).

Основные средства повышения объективности результатов при применении метода «Дельфи» – использование обратной связи, ознакомление экспертов с результатами предшествующего тура опроса и учет этих результатов при оценке значимости мнений экспертов.

В конкретных методиках, реализующих «Дельфи»-процедуру, эта идея используется в разной степени.

Так, в упрощенном виде организуется последовательность итеративных циклов *мозговой атаки* (см.). В более сложном варианте разрабатывается программа последовательных индивидуальных опросов с использованием методов анкетирования, исключающих контакты между экспертами, но предусматривающих ознакомление их с мнениями друг друга между турами.

В развитых вариантах «Дельфи»-процедура представляет собой программу последовательных индивидуальных опросов с использованием методов анкетирования. Вопросники от тура к туру уточняются. Экспертам присваиваются весовые коэффициенты значимости их мнений (коэффициенты компетентности), вычисляемые на основе предшествующих опросов, также уточняемые от тура к туру и учитываемые при получении обобщенных результатов опроса. Для снижения таких факторов, как внушение или приспособляемость к мнению большинства, иногда требуется, чтобы эксперты обосновывали свою точку зрения, но это не всегда приводит к желаемому результату, а, напротив, может усилить эффект приспособляемости, так называемый эффект Эдипа (см. *Экспертные оценки*).

С примерами применения метода «Дельфи» можно познакомиться в [3, 4 и др.].

В силу трудоемкости обработки результатов и значительных временных затрат первоначально предусматриваемые методикой «Дельфи»-процедуры не всегда удается реализовать на практике.

В последнее время «Дельфи»-процедура в той или иной форме обычно сопутствует любым другим методам моделирования систем – методу «дерева целей», морфологическому, сетевому и т.п.

В частности, весьма перспективная идея развития методов экспертных оценок, предложенная В.М. Глушковым, состоит в том, чтобы сочетать целенаправленный многоступенчатый опрос с «разверткой» проблемы во времени, что становится вполне реализуемым при использовании ЭВМ.

Для повышения результативности опросов и активизации экспертов иногда сочетают «Дельфи»-процедуру с элементами деловой игры: эксперту предлагается проводить самооценку, ставя себя на место конструктора, которому реально поручено выполнение проекта, или на место работника аппарата управления, руководителя соответствующего подразделения системы организационного управления и т. д.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – Изд. 2-е, 1999. – С. 137–138. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 89–90. 3. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высш. школа, 1977. 4. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1974. В.Н. Волкова

«**ДЕРЕВО ЦЕЛЕЙ**» – это вид структуры целей (см. *Цель*). Термин введен У. Черчменом, который предложил *метод дерева целей* в связи с проблемами принятия решений в промышленности [6].

Термин «дерево» подразумевает формирование *иерархической структуры* (см.), получаемой расчленением общей цели на *подцели*, а их – на более детальные составляющие, для наименования которых в конкретных приложениях используют разные названия: направления, проблемы, программы, задачи, а начиная с некоторого уровня – функции.

Такая процедура получила в последующем название *структуризации* (см.) цели.

Как правило, термин «дерево целей» используется для *древовидных иерархических структур* (см.), имеющих отношение строго древовидного порядка, но иногда применяется и в случае «слабых» иерархий (см. *Структура*). Поэтому более правильно для названия структур целей было бы использовать термин В.М. Глушкова «прогнозный граф» [2]. Однако в силу истории возникновения терминов более распространен исходный термин «дерево целей».

Термин «дерево целей» в конкретных приложениях заменяют более удобными для этих приложений терминами: в ситуациях принятия решений применяют термин «дерево решений»; при выявлении и уточнении функций системы управления говорят о «дереве целей и функций» [3, 4]; при структуризации тематики научно-исследовательской организации пользуются термином «дерево проблемы», а при разработке прогнозов – «дерево направлений развития (прогнозирования развития)» или «прогнозный граф» [2].

Поэтому в настоящее время более распространено понятие «методы типа «деревя целей»».

Метод «деревя целей» ориентирован на получение полной и относительно устойчивой структуры целей, проблем, направлений, т.е. такой структуры, которая на протяжении какого-то периода времени мало изменялась бы при неизбежных изменениях, происходящих в любой развивающейся системе. Для достижения этого при построении вариантов структуры следует учитывать *закономерности целеобразования* (см.) и использовать принципы и методики формирования структур целей и функций или *методики структуризации целей и функций* (см.).

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 2-е., 1999. – С. 133–134. 2. Методика совместного прогнозирования заинтересованными странами–членами СЭВ развития науки и техники. – М.: Международный центр НТИ, 1975. 3. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ/Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 4. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ: учеб. пос. / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высш. школа, 1989. 5. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 90–91. 6. Черчмен У. Введение в исследование операций / У. Черчмен и др. – М.: Наука, 1968. 7. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1974. В.Н. Волкова

**ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – раздел теории оптимизации, посвященный исследованию и решению экстремальных задач специального вида, в которых целевая функция (целевой функционал) имеет вид суммы слагаемых (соответственно – интеграла). В основе метода динамического программирования лежит идея разбиения исходной задачи на последовательный ряд более простых задач. Основной областью приложения динамического программирования являются многошаговые процессы, т.е. процессы, протекающие во времени (дискретном или непрерывном).

Главным рабочим инструментом динамического программирования является *метод рекуррентных соотношений*, в основе которого лежит необходимое условие оптимальности, выражаемое обычно в виде так называемого *принципа оптимальности* и *уравнения Беллмана* (по имени американского математика Р. Беллмана).

Принцип оптимальности Беллмана утверждает, что оптимальный процесс (т.е. оптимальное управление и соответствующая ему оптимальная траектория) для всего периода управления обладает тем свойством, что любая его часть, рассматриваемая на промежутке времени, входящем в исходный промежуток, также представляет собой оптимальный процесс для этого частичного промежутка времени. Иными словами, любая часть оптимального процесса необходимо является оптимальным процессом.

Основные особенности дискретной модели динамического программирования состоят в следующем:

- 1) задача оптимизации интерпретируется как многошаговый процесс управления;
- 2) общая целевая функция равна сумме целевых функций для каждого шага;
- 3) выбор управлений  $x_k$  на  $k$ -м шаге определяется только состоянием системы  $S_{k-1}$  на предыдущем шаге и не зависит от состояния системы на более ранних этапах управления;
- 4) состояние  $S_k$  на  $k$ -м шаге зависит только от предшествующего состояния  $S_{k-1}$  и управления  $x_k$ , принимаемого на данном шаге, т.е.

$$S_k = f_k(S_{k-1}, x_k),$$

где  $f_k$  – заданная векторная функция соответствующих переменных,  $k = 1, 2, \dots, n, \dots$

Схематически модель динамического программирования иллюстрируется следующей схемой:

$$S_0 \xrightarrow{x_1} S_1 \xrightarrow{x_2} S_2 \xrightarrow{x_3} \dots S_{n-1} \xrightarrow{x_n} S_n \text{ и т.д.}$$

Число этапов  $n$ , как правило, считается фиксированным, однако в некоторых задачах  $n$  может быть неограниченным, что соответствует задаче с бесконечным горизонтом управления.

Следует иметь в виду, что принцип Беллмана справедлив только для задач, у которых целевые функции можно описать в виде *аддитивных* функций от траектории, т.е. для процессов с определенной структурой зависимости управлений.

Это означает, что критерий оптимальности (целевая функция)  $F$  имеет вид

$$F = F(S_0, x_1, S_1, \dots, S_n) = \sum_{k=1}^n \varphi_k(S_{k-1}, x_k),$$

где числовая функция  $\varphi_k$  оценивает качество управленческого решения на  $k$ -м шаге.

Оптимальное управление удовлетворяет следующему принципу оптимальности Беллмана: предположим, что, осуществляя управление, уже выбрана последовательность оптимальных управлений  $x_1, x_2, \dots, x_p$  на первых  $p$  шагах, которой соответствует последовательность состояний (т.е. траектория)  $S_1, S_2, \dots, S_p$ . Требуется завершить процесс, т.е. выбрать  $x_{p+1}, \dots, x_n$  (а значит, и  $S_{p+1}, \dots, S_n$ ). Тогда если завершающая часть процесса не будет максимизировать функцию

$$F_{p+1} = \sum_{k=p+1}^n \varphi_k(S_{k-1}, x_k), \quad (1)$$

то и весь процесс управления не будет оптимальным. В частности, при  $p = n - 1$  получаем требование максимизации функции  $F_n = \varphi_n(S_{n-1}, x_n)$ , зависящей от переменной  $x_n$ .

На основе принципа оптимальности Беллмана строится система рекуррентных соотношений (уравнения Беллмана):

$$\begin{aligned} \omega_{n+1}(S_n) &= 0, \\ \omega_k(S_{k-1}) &= \max_x [\varphi_k(S_{k-1}, x) + \omega_{k+1}(f_k(S_{k-1}, x))], \quad k = n, n-1, \dots, 1, \end{aligned} \quad (2)$$

которым должен удовлетворять оптимальный процесс.

Максимум в правой части равенства (2) берется по всем управлениям  $x$ , допустимым на шаге  $k$ . Тем самым при вычислении  $\omega_k(S_{k-1})$  на каждом шаге приходится решать семейство задач максимизации функции переменной  $x$ , зависящих от состояния  $S_{k-1}$  на предыдущем  $(k-1)$ -м шаге. При этом величина  $\omega_1(s_0)$  есть оптимальное значение критерия оптимальности.

Вычисление оптимального процесса на основе уравнений Беллмана (2) в каждом конкретном случае может оказаться непростой задачей, требующей навыка и изобретательности.

Модели динамического программирования применяются при распределении дефицитных капитальных вложений между предприятиями, при составлении календарных планов текущего и капитального ремонта оборудования и его замены и т.п.

- 1. Беллман Р. Динамическое программирование: пер. с англ. / Р. Беллман. – М.: Иностран. лит., 1960. 2. Беллман Р. Динамическое программирование и современная теория управления / Р. Беллман, Р. Калаба. – М.: Наука, 1969. 3. Исследование операций в экономике / под ред. Н.Ш. Кремера. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. 4. Ногин В.Д. Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин и др. – М.: Высшая школа, 1986. 4. Рихтер К. Динамические задачи дискретной оптимизации / К. Рихтер. – М.: Радио и связь, 1985.

*В.А. Кузьменков, В.Д. Ногин*

**ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА** – это класс методов математики, сформировавшийся в последней четверти XX в.

Вообще-то дискретные модели в математике существовали всегда. С них математика начиналась. Дискретные составляющие занимают большую часть в арифметике, алгебре, геометрии.

В то же время есть некоторые принципиальные особенности, которые привели к вычленению этих составляющих и формированию дискретной математики как самостоятельного направления.

Исходным материалом для формирования этого направления явились комбинаторные знания.

*Элементарная комбинаторика*, характерная для древней математики, включала: фигурные числа, «магические» квадраты, гномоны, комбинаторные правила отыскания многоугольных фигурных чисел, формировании числовых магических квадратов и т.п. Позднее появились матричные построения, правила подсчета числа сочетаний, перестановок, размещений с повторениями и т.п.

Все эти результаты элементарной комбинаторики развивались первоначально в рамках *теории чисел*.

Первые теоретические построения дискретной математики в форме *комбинаторики* (см.) начались в XVII в. и связаны с именами Б. Паскаля, П. Ферма, К. Гюйгенса, Я. Бернулли, с ранними работами Г. Лейбница. Немалое место комбинаторика занимала и в работах Л. Эйлера. Создание теории множеств связано с именами Г. Кантора и Б. Больцано, развитие дискретной математики – с рядом других выдающихся математиков, занимавшихся созданием и развитием комбинаторных теорий (см. *Комбинаторика*).

Другим важным направлением математики, которое в настоящее время является основой объединения не только направле-

ний дискретной математики, но и основой новой трактовки многих математических понятий, является *теория множеств* (см. *Теоретико-множественные представления*).

Создателем теории множеств считается представитель немецкой школы математиков Г. Кантор (Georg Cantor, 1845–1918), который преподавал в Галле с 1869 по 1905 г. Его работа «Основы общего учения о многообразии» («Grundlagen einer allgemeinen Mannigfaltigkeitslehre») была издана в 1883 г.

Независимо от Кантора теорию бесконечных множеств создал чешский математик Б. Больцано (Bernhard Bolzano, 1781–1848), но его идеи были опубликованы позднее, после смерти.

В теории множеств есть ряд понятий (безразмерное множество, континуум, появление нового смысла при помещении рядом элементов из разных исходных множеств, парадоксы), которые отличают теорию множеств от классической математики. Поэтому теория Кантора не сразу была принята. Математики первоначально отказывались включить теорию множеств в состав математики.

Для признания теории множеств полноправным математическим направлением много сделала группа французских математиков, работавшая под псевдонимом Н. Бурбаки [1].

В XIX в. параллельно с теорией множеств стали развиваться математическая логика, математическая лингвистика, теория графов, а в XX в. – и семиотика.

Во второй половине XX в. в приложениях математики возросла роль разделов, необходимых для изучения разнообразных дискретных систем: разработка автоматов и автоматических линий, разнообразных электронных устройств и ЭВМ, организация производственных процессов, системы связи и управления, транспортные процессы и т.п. К этому времени в составе математики было накоплено много математических моделей, с помощью которых можно решать такого рода задачи. Это – графы, матрицы, дискретно-геометрические построения, аппарат анализа логических высказываний, вычислительные методы, основанные на принципах дискретного счета. Перечисленные модели имеют общим то, что в них рассматриваются множества, состоящие из дискретных элементов.

Изложенное привело к тому, что совокупность направлений и средств моделирования дискретных процессов стали объединять единым названием – дискретная математика. Этим термином в

настоящее время обозначают возникшие независимо разделы математики – теорию множеств, комбинаторику, математическую логику, математическую лингвистику, семиотику, теорию графов.

Каждое из указанных направлений имеет свою историю. Но обобщающий аппарат теоретико-множественных представлений оказался удобным средством пояснения основных понятий, а часто – и доказательства теорем в математической логике, математической лингвистике и даже в теории графов, и постепенно все эти методы стали объединять в единую область – дискретную математику [5–8].

В настоящее время на базе дискретной математики развивается ряд прикладных направлений кибернетики и теории систем – от разработки методов кодирования-декодирования информации до синтеза схем и некоторых классов управляющих систем [8].

В теории систем и системного анализа особая необходимость в применении методов дискретной математики возникает при представлении ситуации классом *самоорганизующихся систем* (см.). При этом на основе указанных методов разрабатывают языки моделирования и автоматизации проектирования, с помощью которых формируют модель.

Необходимость в использовании методов дискретной математики возникает в тех случаях, когда алгоритм, который необходимо получить для обеспечения повторяемости процесса принятия решения, не удастся сразу представить с помощью аналитических или статистических методов. В этих случаях теоретико-множественные, логические, лингвистические или графические методы помогают зафиксировать в алгоритме опыт или эвристики ЛПР.

В принципе для отражения в алгоритме эвристик допустимы любые неформальные отображения. Однако такие эвристические алгоритмы широкого класса – от ГСН-алгоритмов (ГСН – «грубая сила и невежество») до «хитрых», «жадных» и аналогичных алгоритмов (название их соответствует виду эвристики, определяющей способ борьбы с перебором при моделировании решения) – часто оказываются далеко не эффективными. И здесь большую помощь в предварительной оценке реализуемости алгоритма, во введении некоторых формальных правил преобразования, позволяющих применить ЭВМ и ускорить получение решения, могут оказать методы дискретной математики.

Инженеров, занимающихся разработкой систем разного рода, не интересуют процессы получения формул и методов, теоремы

и тем более их доказательства, которые в монографиях по дискретной математике представлены с использованием специфических символов и приемов. В монографиях и даже в учебниках по дискретной математике обычно вводятся символика и правила преобразования, детально рассматриваются возможности этих правил, доказываются соответствующие теоремы. В то же время для практических приложений знание доказательств не обязательно, важно знать, *что и зачем* применять.

Кроме того, в области управления, проектирования сложных технических и производственных комплексов все чаще главной проблемой становится создание принципиально новых, нетривиальных моделей. В таких случаях математика нужна как средство мышления, формирования понятий, что требует более глубокого понимания сути методов, умения оценить, какой из методов лучше подходит для формирования модели в конкретной ситуации. Для этого специалист по системному анализу должен знать основные особенности методов дискретной математики – *теоретико-множественных представлений* (см.), *математической логики* (см.), *математической лингвистики* (см.), *теории графов* (см. *Графические представления*).

Для прикладных целей удобны справочные материалы, что и делается в [2–4] и в статьях данного издания по названным направлениям в форме таблиц, в которых собраны основные отношения теории множеств, функции и теоремы математической логики и т.д.

- 1. Б у р б а к и Н. Теория множеств / Н. Бурбаки. – М.: Мир, 1965. 2. В о л к о в а В.Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974. – С. 43–55. 3. В о л к о в а В.Н. Методы формализованного представления систем: учеб. пос. / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1993. – С. 51–60. 4. В о л к о в а В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 109–117. 5. Г о р б а т о в В.А. Основы дискретной математики / В.А. Горбатов. – М.: Высш. школа, 1986. 6. К у з н е ц о в О.П. Дискретная математика для инженеров / О.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 7. М о с к и н о в а Г.И. Дискретная математика. Математика для менеджера в примерах и упражнениях: учеб. пос. / Г.И. Москинова. – М.: Логос, 2000. 8. Я б л о н с к и й С.В. Введение в дискретную математику: учеб. пособие / С.В. Яблонский. – М.: Высшая школа, 2001. В.Н. Волкова

**ДИСКРЕТНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – раздел теории оптимизации, посвященный исследованию и решению экстремальных задач минимизации (максимизации) функции нескольких переменных на конечном или бесконечном дискретном подмножестве точек конечномерного векторного пространства. В случае конечного допустимого множества число его элементов обычно настолько велико, что их прямой перебор с целью поиска экстремума оказывается практически нереализуемым.

Так, например, *целочисленное линейное программирование* занимается изучением и решением задачи линейного программирования с дополнительным условием целочисленности участвующих в постановке данной задачи переменных. Распространенными методами решения таких задач являются *методы отсечения*.

Каноническая задача целочисленного линейного программирования в матричной форме записи имеет вид:

$$\begin{cases} C(X) = (C, X) \rightarrow \max \\ Ax = b \\ x_j \geq 0 \\ x_j - \text{целые числа, } j = 1, 2, \dots, n. \end{cases}$$

Здесь  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  есть вектор переменных, принимающих целые значения;  $(C, X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i$  – скалярное произведение вектора  $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$  на вектор  $X$ ;  $A = (a_{ij})$  – матрица системы ограничений размера  $m \times n$ ;  $b$  – вектор размерности  $m$  свободных членов системы ограничений.

Если  $j = \overline{1, n_1}$ , где  $n_1 < n$ , то соответствующая задача называется *частично-целочисленной*, при этом  $(n - n_1)$  переменных могут принимать любые вещественные значения.

В задачах дискретного программирования переменные принимают дискретные вещественные значения.

Много экономических задач содержат целочисленные переменные. Эти задачи имеют устоявшуюся классификацию.

1. **Задачи с неделимостью.** Сюда относятся задачи планирования дискретного производства, например планирование выпуска станков, турбин, морских судов, атомных реакторов и т.д.;

транспортные задачи, в которых необходимо определить оптимальное число вагонов, автомашин, судов; задачи оптимального раскроя материалов; задачи размещения контейнеров на палубах судов; планирование научно-исследовательских работ, не переходящих на следующий период (год).

Классический пример задачи с неделимостями – *задача о ранце*, которая формулируется следующим образом. Имеется  $n$  предметов, объем каждого предмета равен  $v_i$ ,  $i = 1, n$ , объем ранца –  $V$ ,  $c_i$  – ценность  $i$ -го предмета. Все предметы не помещаются в ранец. Требуется определить такой набор предметов, которые следует поместить в ранец, чтобы при этом их суммарная ценность была максимально возможной. Вместо объема может быть использован вес предмета (упаковки товара). Соответствующая математическая модель имеет следующий вид:

$$C(X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_i \leq V,$$

где  $x_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й предмет отбирается для укладки в ранец,} \\ 0 & \text{в обратном случае.} \end{cases}$

**2. Комбинаторные задачи.** В них требуется найти экстремум функции (чаще всего линейной) нескольких переменных на конечном множестве элементов. Из комбинаторных экстремальных задач, сводящихся к моделям дискретного программирования и имеющих большое прикладное значение, следует выделить задачу о назначениях, задачу о коммивояжере (о бродячем торговце) и задачи теории расписаний.

*Задача о назначениях* состоит в назначении  $n$  кандидатов на заданные  $n$  работ, при котором суммарные затраты минимальны (или общий экономический эффект максимален). При этом каждого кандидата можно назначить только на одну работу, а каждая работа должна быть выполнена только одним кандидатом. Пусть время выполнения  $i$ -й работы  $j$ -м исполнителем равно  $t_{ij}$ . Вводятся переменные

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я работа выполняется } j\text{-м исполнителем,} \\ 0 & \text{в обратном случае.} \end{cases}$$

Математическая модель задачи о назначениях имеет следующий вид:

$$C(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \rightarrow \max,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, n},$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}.$$

Задача о коммивояжере заключается в нахождении замкнутого маршрута, проходящего через все пункты, при котором суммарное расстояние по маршруту из начального пункта  $A$  в этот же пункт  $A$  (рис. 1) минимально.

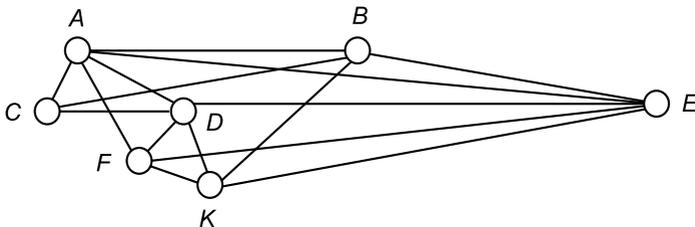


Рис. 1

Пусть имеется  $n+1$  город (пункт). Известна матрица расстояний между городами  $i$  и  $j$ , которую обозначим  $C = (c_{ij})_{n \times n}$ .

Выезжая из какого-то начального города (например,  $A$ ), коммивояжеру необходимо объехать все города, побывав в каждом из них только по одному разу, за исключением начального, чтобы суммарное расстояние было минимальным. Вводятся переменные

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если коммивояжер переезжает из города } i \text{ в город } j, \\ 0 & \text{в обратном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Задача о коммивояжере формулируется следующим образом: минимизировать целевую функцию

$$C(X) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

при условиях:

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, n} \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (4)$$

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1, \quad i, j = \overline{1, n}; i \neq j. \quad (5)$$

Переменные  $u_i$  и  $u_j$  в ограничениях (5) принимают произвольные вещественные значения (не умаляя общности, их можно считать и целыми неотрицательными числами). Условия (3) означают, что коммивояжер выезжает из каждого города ровно один раз. Условия (4) показывают, что коммивояжер въезжает в каждый город только один раз. Если ограничиться условиями (3) и (4), то эта задача превращается в задачу о назначениях, решение которой не обязательно будет цикличным. Иначе говоря, путь коммивояжера может распаться на несколько не связанных между собой подциклов. Для устранения такой возможности служит условие (5).

*Задачи теории расписания* возникают в связи с упорядочением использования набора машин и оборудования для обработки некоторого множества деталей (изделий). При этом должны быть выполнены определенные технологические условия и обеспечено достижение оптимального значения заданного критерия качества расписания.

**3. Задачи о покрытии и другие задачи дискретной оптимизации сетей** связаны с нахождением минимального подмножества ребер заданного графа, содержащего все его вершины. Эти задачи находят применение при синтезе логических сетей, в задачах определения кратчайшего пути в графе и др.

4. *Задачи оптимального размещения производства, специализации и кооперирования.* Так как объекты производства продукции являются неделимыми, то в таких задачах возникает требование целочисленности переменных. Размещение предприятий должно учитывать расположение источников сырья, рынков сбыта товаров и других факторов.

Существуют два основных класса методов решения задач дискретного программирования. Рассмотрим их на примере целочисленного линейного программирования.

1. *Методы отсечения.* Суть этих методов заключается в том, что сначала задача решается без условия целочисленности. При этом может получиться целочисленный оптимальный план. В этом случае задача решена. Если план нецелочисленный, то выбирается дробная компонента (координата) плана и строится дополнительное линейное ограничение. Это линейное ограничение обладает следующими свойствами:

- данное ограничение не выполняется для нецелочисленного оптимального плана;
- оно выполняется для любого допустимого целочисленного плана.

Далее решается расширенная задача с добавленным ограничением. В результате получается либо целочисленный план, либо нецелочисленный. Если план нецелочисленный, то опять вводится новое линейное ограничение, и так далее, пока не будет найден оптимальный план или будет показано, что таких планов нет.

Геометрически вводимое линейное ограничение представляет собой гиперплоскость, поэтому данный метод и назван методом отсечения, или методом отсекающих плоскостей. Впервые метод отсечения был предложен Р. Гомори. Для решения частично дискретных задач линейного программирования методом отсечения может быть использован алгоритм Дальтона и Левелина.

2. *Комбинаторные методы* основываются на конечности числа допустимых планов задачи, используя ее комбинаторный характер. Главная идея таких методов заключается в замене полного перебора всех планов задачи их частичным (неполным) перебором. Это осуществляется отбрасыванием некоторых подмножеств вариантов, заведомо не дающих оптимума. Дальнейший перебор ведется лишь среди оставшихся вариантов, являющихся перспективными в отношении получения оптимального плана. По своему характеру комбинаторные методы весьма раз-

нообразны. При этом центральное место среди них занимают методы, объединенные под названием «метод ветвей и границ».

Фактическое появление метода ветвей и границ связано с работой Литтла, Мурти, Суини и Кэрел, посвященной задаче коммивояжера, причем в этой же работе впервые было предложено общепринятое название «метод ветвей и границ».

В основе этого метода при решении задачи на максимум лежат следующие построения, позволяющие существенно уменьшить объем перебора.

- Вычисление верхней границы (оценки). Вычисляется верхняя оценка целевой функции на множестве допустимых планов  $D$ .
- Разбиение на подмножества (ветвление). Данная процедура связана с разбиением множества планов  $D$  на дерево подмножеств. Схематически процесс ветвления множества планов показан на рис. 2.

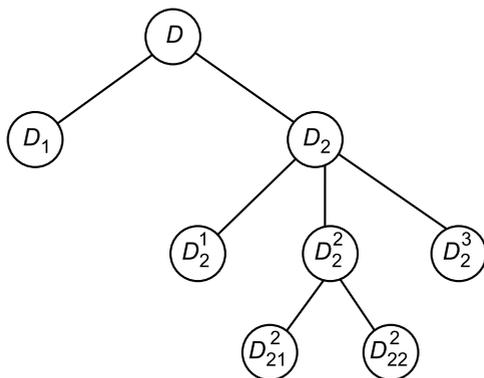


Рис. 2

- Пересчет оценок, т.е. вычисление целевой функции на выделенных подмножествах. Если целочисленный оптимальный план не получен, то отбрасываются неперспективные варианты допустимых планов, а перспективные подмножества подлежат дальнейшему ветвлению.

Таким образом, сокращение перебора всех возможных решений задач дискретного программирования происходит за счет отсеивания по тому или иному правилу заведомо неприемлемых решений.

- 1. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, Н. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. 2. Корбут А.А. Дискретное программирование / А.А. Корбут, Ю.Ю. Финкельштейн. – М.: Наука, 1969. 3. Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы / Т. Саати. – М.: Мир, 1973. *В.Д. Ногин, В.Н. Юрьев*

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ИГРЫ** – направление *теории игр* (см.), ориентированное на моделирование стратегий поведения нескольких динамических управляемых объектов, эволюция состояний которых может быть описана дифференциальными уравнениями.

В качестве примера простейшей дифференциальной игры можно привести задачу о преследовании одного управляемого объекта другим.

Пусть в одном и том же  $n$ -мерном пространстве рассматриваются управляемый объект-преследователь

$$\mathbf{x}' = f(\mathbf{x}, \mathbf{u}), \mathbf{u} \in U \subseteq E_r, \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}^0 \quad (1)$$

и управляемый объект

$$\mathbf{y}' = g(\mathbf{y}, \mathbf{v}), \mathbf{v} \in V \subseteq E_s, \mathbf{y}(t_0) = \mathbf{y}^0. \quad (2)$$

Перед этими объектами стоят противоположные цели: преследователь (1) стремится осуществить встречу объектов в какой-то момент времени  $\tau$ , т.е. обеспечить выполнение  $x(\tau) = y(\tau)$ , а преследуемый (2) пытается избежать этой встречи или по крайней мере максимально отсрочить ее.

Задача может формулироваться, например, так: зная законы движения и ресурсы управления объектами и располагая в каждый момент времени информацией об их текущем состоянии, указать способ управления, который гарантировал бы встречу объектов за минимальное время.

Для принятия решений в сложных системах с активными элементами наибольший интерес представляет *дифференциальная игра многих игроков с фиксированным временем*.

В этом случае рассматривается дифференциальное уравнение

$$\mathbf{z}' = \mathbf{F}(\mathbf{z}, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_k), z(t_0) = z^0, t_0 \leq t \leq t_1, \quad (3)$$

где  $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_k$  – конечномерные управляющие векторы, принадлежащие различным игрокам, на которые наложены определенные ограничения типа

$$\mathbf{u} \in U \subseteq E_{r_i}, i = 1, \dots, k, k \geq 2. \quad (4)$$

Выбор управлений  $\mathbf{u}_j(t) = z^0, t_0 \leq t \leq t_1, i = 1, \dots, k$ , удовлетворяющих условию (4), позволяет найти траекторию  $z(t), t_0 \leq t \leq t_1$ .

Результат игры для каждого игрока определяется своим функционалом  $J_i, i = 1, \dots, k$ , – «затратами ресурсов», зависящими от траектории  $z(t)$ . Цель каждого игрока – зная соотношения (3), (4) и состояние  $z(t)$  в каждый момент времени, выбирать свое управление так, чтобы минимизировать свой функционал.

В ходе игры какие-то игроки могут образовывать коалиции.

Теория дифференциальных игр применима к решению многих реальных задач в технических и социально-экономических системах. Однако следует иметь в виду, что при ее применении необходимо разрабатывать модели, описываемые соотношениями типа (3) и (4), адекватные соответствующим проблемным ситуациям.

- 1. Айзекс Р. Дифференциальные игры: пер. с англ. / Р. Айзекс. – М.: Мир, 1967. 2. М а т е м а т и к а и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 119-120. 3. К р а с к о в с к и й Н.Н. Игровые задачи о встрече движений / Н.Н. Красковский. – М.: Наука, 1970. 4. Оуэн Г. Теория игр: пер. с англ. / Г. Оуэн. – М.: Мир, 1971.

С.В. Широкова

**ДИФFUЗНАЯ (ПЛОХО ОРГАНИЗОВАННАЯ) СИСТЕМА** – термин, предложенный В.В. Налимовым, который выделил класс *хорошо организованных* и класс *плохо организованных*, или *диффузных* систем [2] по аналогии с классификацией проблем Г. Саймона и А. Ньюэлла (хорошо структуризованные, плохо структуризованные и неструктуризованные проблемы [3]).

Позднее была разработана классификация, впервые опубликованная в [5] и используемая в учебниках [1, 4], в которой к этим двум классам был добавлен класс *самоорганизующихся*, или *развивающихся* систем.

В этой классификации выделенные классы рассматриваются как подходы к отображению объекта или решаемой задачи, которые могут выбираться в зависимости от стадии познания объекта и возможности получения информации о нем.

При представлении объекта в виде плохо организованной, или диффузной системы не ставится задача определить все учитываемые компоненты и их связи с целями системы, как в случае *хорошо организованной системы* (см.). Система рассматриваемого класса характеризуется некоторым набором макропараметров и закономерностями, которые выявляются на основе исследования не всего объекта или класса явлений, а путем изучения определенной с помощью некоторых правил достаточно представительной *выборки* компонентов, характеризующих исследуемый объект или процесс.

На основе такого (*выборочного*) исследования получают характеристики, или *закономерности* (статистические, экономические и т.п.) и распространяют эти закономерности на поведение системы в целом. При этом делаются соответствующие оговорки. Например, при получении статистических закономерностей их распространяют на поведение системы с какой-то *вероятностью* (см.), которая оценивается с помощью специальных приемов, изучаемых математической статистикой (см. *Статистические методы*).

В качестве примера применения диффузной системы обычно приводят отображение газа. При использовании газа для прикладных целей его свойства не определяют путем точного описания поведения каждой молекулы, а характеризуют газ макропараметрами (давлением, относительной проницаемостью, постоянной Больцмана и т.д.). Основываясь на этих параметрах, разрабатывают приборы и устройства, использующие свойства газа, не исследуя при этом поведение каждой молекулы.

Отображение объектов в виде диффузных систем находит широкое применение при определении пропускной способности систем разного рода, при установлении численности штатов в обслуживающих, например, ремонтных цехах предприятия и в обслуживающих учреждениях (для решения подобных задач применяют методы теории массового обслуживания), при исследовании документальных потоков информации и т.д.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 2-е, 1999.
- 2. Методологические проблемы кибернетики: В 2 т. – М.: МГУ, 1970.
- 3. Newell A. A variety of intelligent learning in a general problem solver / A. Newell, J.C. Shaw, H.A. Simon // Self-organizing System / Pergamon Press, New York, 1960. P. 153–189. (Ньюэлл А., Шоу Дж., Саймон Г. Разновидности интеллектуального обучения «вычислителя для решения задач общего

типа» // Самоорганизующиеся системы. – М.: Мир, 1964. 4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 5. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. *В.Н. Волкова*

**ДОКУМЕНТАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА (ДИПС)** – класс *информационно-поисковых систем* (см.), в которых информация хранится в виде документов *научно-технической информации* (см.), а *информационный поиск* (см.) осуществляется по некоторым характеристикам документа, например, по библиографическим характеристикам этих информационных источников (наименование, автор, год и место издания и т.п.). Иногда выделяют подкласс *библиографических ИПС*.

• 1. Информационные системы / под ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. 2. Михайлов А.И. Основы информатики / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1968. 3. Соколов А.В. Информационно-поисковые системы: учеб. пособие / А.В. Соколов. – М.: Радио и связь, 1981. 4. Черный А.И. Введение в теорию информационного поиска / А.И. Черный. – М.: Наука, 1975.

*В.Н. Волкова*

**ДОСТОВЕРНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ** – это свойство информации отражать реально существующие объекты с необходимой точностью, что важно при исследовании любой системы.

Достоверность информации измеряется доверительной вероятностью, т.е. вероятностью того, что отображаемое информацией значение параметра отличается от истинного значения этого параметра в пределах необходимой точности.

Таким образом, при оценке истинности информации существуют две основные вероятностные задачи:

- определение точности информации или расчет математического ожидания абсолютной величины отклонения значения показателя от объективно существующего истинного значения отображаемого этим показателем параметра;
- определение достоверности информации или вычисление вероятности того, что величина погрешности показателя не выйдет за пределы допустимого значения.

Точность расчетов – важная, актуальная и многоаспектная проблема, охватывающая широкий круг вопросов. В частности,

научное обоснование точности экономических показателей позволяет существенно повысить эффективность управления за счет как улучшения его качества, так и снижения затрат, необходимых для его реализации.

Необходимая точность зависит от функционального назначения экономического показателя. По назначению показатели можно разделить на две группы: аналитические и расчетные. Точность аналитических показателей ограничена величиной  $10^2 \dots 10^3$ , т.е. двумя-тремя десятичными знаками. Для расчетных показателей требуется большая точность. Во многих расчетах погрешность показателя составляет 5 ... 20%. Такой итоговый показатель, как себестоимость продукции, имеет среднюю погрешность 3... 5%, а перспективные укрупненные расчеты имеют погрешность, часто превышающую 30%.

Погрешности, исходя из теории ошибок, делятся на *систематические, случайные* и *грубые*. В научно обоснованных схемах обработки информации систематические погрешности должны быть устранены, а случайные не должны нарушать необходимой точности.

Исходя из этого доверительную вероятность необходимой точности информации можно измерить вероятностью отсутствия в ней ошибок

$$D = 1 - P_{\text{ош}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ош}}$  – вероятность наличия в информации хотя бы одной ошибки.

Так как достоверность информации может рассматриваться с различных точек зрения, целесообразно использовать систему показателей.

### 1. Показатели достоверности информации

#### 1.1. Доверительная вероятность необходимой точности

$$D = 1 - P_{\text{ош}}. \quad (2)$$

Вероятность того, что в пределах заданной выборки (информационной совокупности – массива, показателя, реквизита, кодового слова, символа и т.п.) ошибки (грубые погрешности) отсутствуют.

1.2. Средняя наработка информации на ошибку  $Q = 1/P_{\text{ош}}$ .  
Отношение объема информации, преобразуемой в системе, к

математическому ожиданию количества ошибок, возникающих в информации.

1.3. Вероятность ошибки (параметр потока ошибок)  $P_{\text{ош}}$ . Вероятность появления ошибки в очередной информационной совокупности.

## 2. Показатели корректируемости информационных систем

2.1. Вероятность коррекции в заданное время  $P_{\text{корр}}$ . Вероятность того, что время, затрачиваемое на идентификацию и исправление ошибки, не превысит заданного.

2.2. Среднее время коррекции информации  $T_{\text{корр}} = T_{\text{н}}$ . Математическое ожидание времени, затрачиваемого на идентификацию и исправление ошибки ( $T_{\text{н}}$ ).

## 3. Комплексные показатели достоверности

### 3.1. Коэффициент готовности

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{раб}} - (T_{\text{в}} + T_{\text{н}})}{T_{\text{раб}}}. \quad (3)$$

Вероятность того, что информационная система окажется способной к преобразованию информации в произвольный момент времени того периода ( $T_{\text{раб}}$ ), который планировался для данного преобразования.

### 3.2. Коэффициент технического использования

$$K_{\text{Тг}} = \frac{T_{\text{раб}} - (T_{\text{пф}} + T_{\text{в}} + T_{\text{к}} + T_{\text{н}})}{T_{\text{раб}}}. \quad (4)$$

Отношение математического ожидания планируемого времени работы системы на преобразование информации, за вычетом времени профилактического обслуживания ( $T_{\text{пф}}$ ), времени восстановления ( $T_{\text{в}}$ ), контроля ( $T_{\text{к}}$ ), идентификации и исправления ( $T_{\text{н}}$ ) ошибок, к сумме планируемого времени работы системы.

Повышение достоверности информации направлено на улучшение экономической эффективности информационных систем. Все критерии повышения достоверности экономической информации могут быть отнесены к одному из трех видов: максимум экономического эффекта при фиксированных затратах ресурсов; минимум затрат ресурсов при фиксированном эффекте; максимум экономической эффективности ресурсов.

Реализация этих критериев оптимальности требует определения величины экономических потерь от недостоверности информации. Основными источниками ошибок являются: ошибки во входной информации, ошибки в программах решения, сбои и отказы технических звеньев и сбои и отказы биологических звеньев.

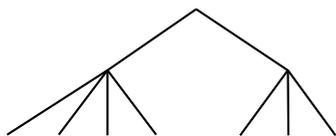
На величину потерь от недостоверности информации могут оказывать влияние три фактора: дефицит (недополучение) информации; затраты на исправление ошибок; дезорганизация объекта управления, обусловленная искажением информации.

Определение потерь от недостоверности экономической информации возможно лишь для каждой конкретной системы обработки информации и на базе серьезных статистических исследований с привлечением экспертных оценок.

Для обеспечения достоверности информации можно использовать две группы методов: одни включают в себя методы, обеспечивающие безошибочность (безотказность, бессбойность) функционирования технических и биологических звеньев системы; другие включают методы, обеспечивающие обнаружение и исправление ошибок, возникающих в информации, т.е. методы контроля достоверности информации, ее коррекции. Список применяемых и перспективных методов контроля весьма велик. В этот список входят методы контроля: организационного; структуры и редакции сообщений (форматный контроль); визуальный контроль данных; контроль с использованием верификации и резервирования; счетный; обнаруживающий контроль по модулю; использующий коды с исправлением ошибок; алгоритмический; балансový; контроль диапазона значений; эвристический; синтаксический контроль на разрешенность.

- 1. Информационные системы / Под ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – С. 37–40. Б.И. Кузин

**ДРЕВОВИДНАЯ ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА** – класс иерархических структур, в котором любой элемент нижележащего уровня подчинен только одному элементу вышестоящего, как показано на рисунке.



Древовидные иерархические структуры являются основой линейных *организационных структур* (см.), благодаря чему эти оргструктуры обладают рядом признаков, удобных

для управления производством, таких, как *единоначалие, единство распорядительства* и т.п.

При применении этого класса структур к задачам *декомпозиции* или *структуризации* (см.) целей принят термин «*дерево целей*» (см.).

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 2-е, 1999.
- 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.
- 3. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983.

*В.Н. Волкова*



«**ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ**» – период времени от возникновения потребности в системе и ее становления до снижения эффективности функционирования и «смерти» или ликвидации системы.

Такая трактовка *жизненного цикла* (ЖЦ) системы сформировалась не сразу. Тот факт, что время является неперменной характеристикой системы и что любая система не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает, осознавался с древних времен. Однако при создании искусственных систем, а тем более для конкретных сложных технических комплексов, особенно организационных систем, не всегда легко определить эти периоды. История развития понятия ЖЦ наиболее полно рассмотрена в работах В.Н. Спицнаделя [8, 9], который вводит понятие полного ЖЦ (ПЖЦ). Примеры трактовок ЖЦ приведены в табл. 1\*.

Этапы ЖЦ от формирования требований к продукции до окончания ее эксплуатации определялись в ГОСТах и стандартах.

В теории систем первым на необходимость включения в ЖЦ этапа ликвидации системы обратил внимание В.И. Николаев [5].

Понятие ЖЦ используется в качестве признака структуризации при разработке *методик структуризации целей и функций* (см.).

---

\* Обзор работ, приведенный в табл. 1, подготовлен студенткой Ю.В. Савич.

Таблица 1

Жизненный цикл					
В методике ПАТТЕРН [4]	По Г.С. Поспелову [7]	По С.А. Саркисяну [8]	По М.М. Четвертакову [6]	По Е.Г. Яковенко [11]	По В.Н. Спицнаделю [9, 10]
Теоретическое исследование Поисковая разработка Перспективная разработка Техническое проектирование Производственная готовность	Замысел новой системы Целевые НИР Конкурентные аванпроекты, НИР, ОКР Капитальное строительство Серийное производство Прекращение производства и снятие с эксплуатации	Создание аналога и формирование ТЗ Создание технической концепции и ее реализация (техпроект, опытный образец, испытания) Развертывание серийного производства и подготовка кадров Снятие с серийного производства и эксплуатации	Формулировка концепции Проектирование Освоение Эксплуатация Модернизация Ликвидация	Исследование Проектно-конструкторские работы, опытно-экспериментальные работы Подготовка производства Освоение и серийное производство Эксплуатация	Исследование Проектирование Технологический этап Производство Эксплуатация Ликвидация

Примеры этапов ЖЦ для различных видов продукции или услуг – от формирования или прогнозирования потребностей до потребления или поставки заказчику – приведены на рис. 1. В последующих работах понятие ЖЦ стали связывать с закономерностью *историчности* (см.).



Рис. 1

При этом закономерность историчности учитывается не только пассивно, но и используется для предупреждения «смерти» системы, предусматривая ее реконструкцию, реорганизацию для сохранения системы в новом качестве.

Так, при создании сложных технических комплексов предлагают (напр., М.М. Четвертаков [6]) корректировать технический проект с учетом старения идеи, положенной в его основу, уже в процессе проектирования и создания системы; рекомендуют при

создании технической документации, сопровождающей систему, включать в нее не только вопросы эксплуатации системы, но и срок жизни, ликвидацию. При регистрации предприятий в Уставе предусматривают этап ликвидации предприятия. В ПЖЦ включают этап маркетинга.

Проводятся также более глубокие исследования ЖЦ с учетом природных циклов Н.Д. Кондратьева [2, 3]. Предлагается (напр., [2]) прогнозировать точки начала спада эффективности и выводить систему на новый уровень эквивалентности, подобно рис. 2.

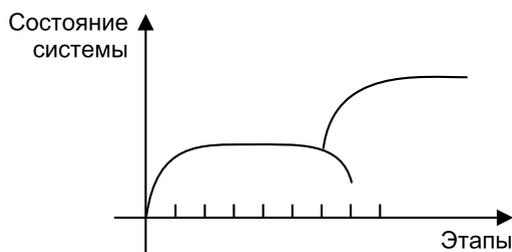


Рис. 2

Интересный подход к выделению этапов «жизненного цикла» предприятия предложен в трудах американского исследователя И. Адизеса [1] в конце 80-х гг. XX в. Согласно данной теории для выживания и развития организации особое значение имеют два параметра: гибкость и контролируемость (управляемость). Все этапы ЖЦ можно разделить на две группы: этапы роста и этапы старения. Рост начинается с зарождения и заканчивается расцветом. Старение начинается со стабилизации и заканчивается смертью организации. Молодые организации очень гибки и подвижны, но слабо контролируемы. По мере взросления организации соотношение изменяется – контролируемость растет, а гибкость уменьшается.

Рассмотрим кратко основные этапы стадии «жизненного цикла» организации, приведенные на рис. 3.

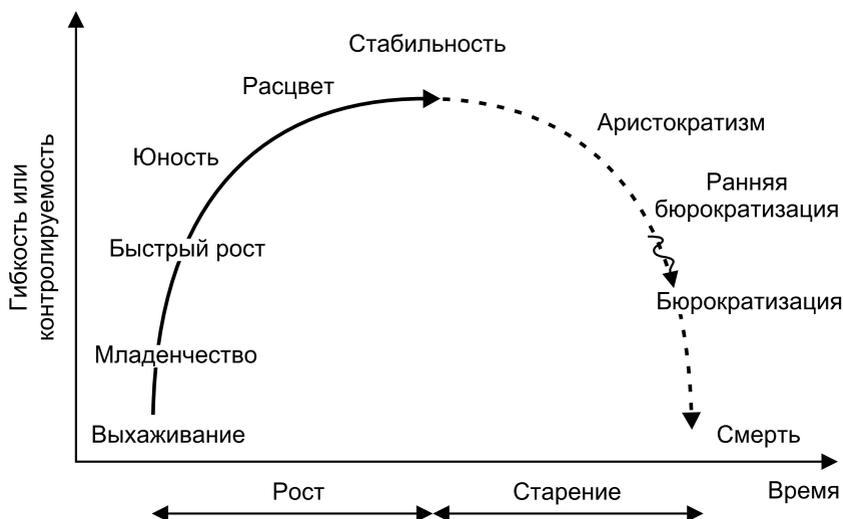


Рис. 3

*Выхаживание* – это этап зарождения организации. Она еще не существует физически, но возникла ее бизнес-идея. Это означает, что имеются потребности, ради которых создается организация и которые будут удовлетворяться в процессе ее функционирования. Достаточность уровня обязательств может быть измерена объемом ресурсов, который необходим для зарождения и развития организации в соответствии с выбранной бизнес-идеей.

*Младенчество.* Компания уже существует физически и в определенной степени готова к удовлетворению потребностей, ради которых создана. Структура ее нечеткая, бюджет небольшой, практически отсутствуют процедуры ведения бизнеса, субординация слаба, отсутствует отлаженная система контроля за исполнением бизнес-процессов.

*Стадия быстрого роста.* Финансовое состояние предприятия позволяет обходиться без постоянных внешних вливаний, расходы обеспечиваются собственными доходами, но покрываются только минимальные потребности, бизнес-процессы исполняются в соответствии с предъявляемыми требованиями, уровень про-

даж постоянно растет. Создается обманчивое впечатление, что компания процветает. Возникают дополнительные возможности для реализации бизнес-идеи и извлечения дохода.

*Юность.* В момент перехода от стадии быстрого роста к юности компания, как правило, обладает достаточным материальным потенциалом, может частично предвидеть действия рынка и частично их контролировать, однако не обладает организационным потенциалом, что не позволяет реализовывать заложенный экономический потенциал. Поэтому отличительной чертой компании в данной стадии является наличие конфликтов и противоречий. Смещение целей направлено на переход от экстенсивного использования ресурсов к интенсивному.

*Расцвет.* Этот этап может быть охарактеризован как оптимальная область кривой «жизненного цикла», где достигнут баланс между самоконтролем и гибкостью.

*Стабильность.* Она является первой стадией старения организации. Компания хорошо управляема, с малым количеством конфликтов. Большое значение имеет авторитет прошлого. В то же время положение на рынке стабильное, хотя перспектив расширения его практически нет. Наблюдается по-прежнему рост, однако темпы его постепенно снижаются. Компания начинает терять гибкость и в результате не успевает в полной мере соответствовать внешним потребностям.

*Аристократизм.* Для этой стадии характерно увлечение внешними эффектами, т.е. приоритетом пользуется вопрос, не что и почему сделано для достижения результата и каково его качество, а как достигнут результат. Процесс достижения результата строго формализуется, большое внимание уделяется внешним атрибутам процесса без анализа его содержания. Однако в результате потери гибкости, начавшейся еще на стадии расцвета, невозможно качественно выполнять свою работу и соблюдать все установленные внешние формальности. Такая ситуация приводит к переходу в стадию ранней бюрократизации.

*Бюрократизация и смерть.* На этом этапе у компании уже нет необходимых ресурсов для самосохранения. Разрыв между внутренними и внешними потребностями максимален. Даже при наличии значительных активов стоимость ее бизнеса минимальна. Организация перестает существовать как система для эффективного ведения бизнеса и представляет собой только совокупность имущества.

Стадии «жизненного цикла» организации могут быть охарактеризованы следующими параметрами: уровень дохода (прибыли), контролируемость/управляемость, болезни роста.

В процессе своего существования любая компания сталкивается с определенными трудностями и проблемами. И те, и другие можно на каждом этапе развития предприятия условно разделить на две категории: болезни роста и организационные патологии. Непреодоленные болезни роста превращаются в патологии, излечиться от которых самостоятельно организация не может.

В табл. 2 приведен перечень параметров для определения конкретной стадии ЖЦ предприятия (организации).

Описанная теория интересна тем, что отражает все стадии развития предприятия от зарождения бизнес-идеи до ликвидации предприятия. Тем самым И. Адизес обосновывает тезис, что любая бизнес-идея конечна, т.е. экономический эффект от ее реализации может быть определен уже на стадии зарождения. Диагностика этапа развития предприятия позволяет: определять уровень дохода от деятельности в плановом периоде при построении графиков ЖЦ организации в части дохода с учетом стадии «жизненного цикла» товара; диагностировать экономическое состояние предприятия на основе сопоставления организационных признаков и результатов факторного анализа дохода (прибыли) и разрабатывать адекватные антикризисные программы.

При решении возникающих проблем необходимо применять методы, подходящие для той стадии жизненного цикла, в которой в настоящий момент находится организация.

Данная концепция «жизненного цикла» требует комплексного учета всех факторов, оказывающих влияние на деятельность предприятия, позволяет сформулировать и конкретизировать цель его деятельности, определить стадию ЖЦ и разработать стратегию развития организации с целью обеспечения сколь угодно долгого функционирования предприятия на рынке, может стать основой для разработки методики формирования стратегии развития предприятия.

Вклад в развитие идей И. Адизеса и их адаптации к российским предприятиям внес С.Р. Филонович, который применил теоретические положения данной работы к компаниям и фирмам России, функционирующим в современных условиях.

Таблица 2

Стадия жизненного цикла	Признаки (критерии) стадии		
	Гибкость/управляемость	Доход	Болезни роста
Выживание	Готовность к разумному риску. Ориентация на продукт. Контроль у основателя фирмы	Нет, так как нет деятельности	Нет
Младенчество	Централизованный стиль управления. Отсутствие четкой структуры, функций, обязанностей. Управление от кризиса к кризису. Необходимы внешние вливания финансовых средств	Убытки	Неразвитый менеджмент
Стадия быстрого роста	Конфликт между ЛПР. Частичное делегирование полномочий. Концентрация вокруг людей. Цель — объемы, а не прибыль	Неотрицательное финансовое saldo	Распыление возможностей
Юность	Противоречивость целей. Противоречивость системы вознаграждения. Смещение целей от объемов к прибыли	Положительное финансовое saldo	Возврат к стадии быстрого роста
Расцвет	Наличие функциональных систем и организационной структуры. Образование новых компаний. Наличие обоснованных планов деятельности. Возможность предсказания состояния среды деятельности. Сбалансированность гибкости и управляемости	Рост прибыли на фоне роста объемов производства	Стремление не допустить изменения

Стабильность	Потеря гибкости управления. Снижение бюджета исследований. Отсутствие возможности роста	Снижение темпов роста прибыли	Повышение уровня управляемости, патология компонента гибкости
Аристократизм	Формализм отношений. Низкий уровень внутренней мотивации. Отсутствует понимание, что надо делать и зачем, зато известно, как надо действовать. Привлекательный объект для поглощения	Прибыль в основном за счет роста цен. В расходной части преобладают расходы на контроль. Рост необоснованных расходов	Патология финансовой системы – увеличение объема необоснованных расходов. Накопление задолженности. Снижение уровня ликвидности
Ранняя бюрократизация	Наличие конфликтов. Ликвидация проявлений проблем, а не их причин. Усиление контроля. Неэффективная диверсификация	Замораживание роста прибыли; низкая ликвидность	Усиление контроля. Патология руководства – смена руководства без изменения стиля действий руководителей
Бюрократизация	Отсутствие функциональной ориентации подсистем организации. Потеря контроля. Потеря контакта с клиентами	Формирование устойчивых убытков. Рост кредиторской задолженности	Патология всех организационных структур (отсутствие функций управления или невозможность выполнять функции), подсистем предприятия
Смерть	Распад организации	Ликвидация предприятия	

- 1. Адизес И. Теория жизненных циклов организации / И. Адизес. – М.: Инфра-М, 2000.
- 2. Бондаренко Н.И. Методология системного подхода к решению проблем / Н.И. Бондаренко. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 1996. – С. 96–101.
- 3. Вернадский В.И.: Великий синтез творческих наследий (через цикличность к моделированию будущего) / В.И. Вернадский, Н.Д. Кондратьев: сб. тезис. докл. / Под ред. А.И. Субетто и Н.И. Бондаренко. – СПб.: ПАНИ, 1997.
- 4. Лопухин М.М. ПАТТЕРН-метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971.
- 5. Материалы 4-го Всесоюзн. симпозиума по проблемам системотехники / Под ред. В.И. Николаева. – Л.: Судостроение, 1980. – С. 10–16.
- 6. Организация систем управления созданием и развитием технической продукции: метод. рекомендации / М.М. Четвертаков и др. – Л.: ЦНИИ «Румб», 1981.
- 7. Поспелов Г.С. Программно-целевое планирование и управление / Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. – М.: Сов. радио, 1976.
- 8. Саркисян С.А. Большие технические системы: анализ и прогноз развития / С.А. Саркисян, В.М. Ахундов, Э.С. Минаев. – М.: Наука, 1977.
- 9. Спицнадель В.Н. Полный жизненный цикл ТС / В.Н. Спицнадель. – М.-Л.: АН СССР, 1979.
- 10. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: учеб. пособие / В.Н. Спицнадель. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-Пресса», 2000.
- 11. Яковенко Е.Г. Экономические циклы жизни машин / Е.Г. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1981.
- 12. Филонович С.Р. Теория жизненных циклов организации и российская действительность / С.Р. Филонович, Е.И. Кулешевич // Социс. – 1996. – № 10. – С. 63–71.

*В.Н. Волкова, А.В. Татарова.*

**3**

**ЗАКОН «НЕОБХОДИМОГО РАЗНООБРАЗИЯ» У.Р. ЭШБИ** – одна из *закономерностей осуществимости* систем. На необходимость учитывать предельную осуществимость системы при ее создании впервые в теории систем обратил внимание У.Р. Эшби. Он сформулировал закономерность, известную под названием *закон «необходимого разнообразия»* [1].

Для задач принятия решений наиболее важным является одно из следствий этой закономерности, которое можно упрощенно пояснить на следующем примере.

Когда исследователь (лицо, принимающее решение, наблюдатель)  $N$  сталкивается с проблемой  $D$ , решение которой для него неочевидно, то имеет место некоторое разнообразие возможных решений  $V_D$ . Этому разнообразию противостоит разнообразие мыслей исследователя (наблюдателя)  $V_N$ . Задача исследователя заключается в том, чтобы свести разнообразие  $V_D - V_N$  к минимуму, в идеале  $(V_D - V_N) \rightarrow 0$ .

Эшби доказал теорему, на основе которой формулируется следующий вывод: «Если  $V_D$  дано постоянное значение, то  $V_D - V_N$  может быть уменьшено лишь за счет соответствующего роста  $V_N$  ... Говоря более образно, только разнообразие в  $N$  может уменьшить разнообразие, создаваемое в  $D$ ; только разнообразие может уничтожить разнообразие».

Это означает, что, создавая систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным, известным разнообразием (сложностью), нужно обеспечить, чтобы система имела еще большее разнообразие (знания методов решения), чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать в себе это разнообразие (владела бы методологией, могла разработать методику, предложить новые методы решения проблемы).

Применительно к системам управления закон «необходимого разнообразия» может быть сформулирован следующим образом: разнообразие управляющей системы (системы управления)  $V_{su}$  должно быть больше (или по крайней мере равно) разнообразию управляемого объекта  $V_{ou}$ :

$$V_{su} \geq V_{ou}. \quad (1)$$

Использование этого закона при разработке и совершенствовании систем управления предприятиями и организациями помогает увидеть причины проявляющихся в них недостатков и найти пути повышения эффективности управления.

Например, В.И. Терещенко [2] предложил следующие пути совершенствования управления при усложнении производственных процессов:

1. Увеличение  $V_{su}$ , что может быть достигнуто на основе роста численности аппарата управления, повышения его квалификации, механизации и автоматизации управленческих работ; этот путь был предложен в 60-е гг. XX в. и исчерпан.

2. Уменьшение  $V_{ou}$  за счет установления более четких и определенных правил поведения компонентов системы: унификация, стандартизация, типизация, введение поточного производства, сокращение номенклатуры деталей, узлов, технологической оснастки и т.п.; этот путь пытались реализовывать в 70-е гг. XX в.; разрабатывались стандарты, классификаторы, способствующие унификации изделий и технологий, типовые структуры сложных технических комплексов, АСУ и оргструктур предприятий, что

упрощает управление, но входит в противоречие с характеристиками, обеспечивающими существование объекта как развивающейся системы, такими, как уникальность, необходимость развития активного начала, способность проявлять негэнтропийные тенденции, разрабатывая варианты решения, вплоть до способности преобразовывать при необходимости структуру и т.п.

3. Снижение уровня требований к управлению, т.е. сокращение числа постоянно контролируемых и регулируемых параметров управляемой системы, что далеко не всегда желательно с учетом качества выпускаемой продукции и производственной дисциплины, если наряду с принципом контроля не предусмотрены иные методы управления.

4. Самоорганизация объектов управления посредством ограничения контролируемых параметров с помощью создания саморегулирующихся подразделений; например, путем создания саморегулирующихся цехов, участков с замкнутым циклом производства, с относительной самостоятельностью и ограничением вмешательства централизованных органов управления предприятием до тех пор, пока результаты деятельности самоорганизующихся подразделений находятся в допустимых пределах и т.п.

К середине 70-х гг. XX в. первые три пути были исчерпаны, и основное развитие получил четвертый путь на основе более широкой его трактовки – внедрение хозрасчета, самофинансирования, самоокупаемости и т.п. В последующем принципы самоорганизации были положены в основу концепции перестройки, перехода к рыночным механизмам саморегулирования экономики.

- 1. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 2. Автоматизированные системы управления предприятиями и объединениями / Под ред. В.И. Терещенко. – Киев: Техніка, 1978. 3. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 464–465. *В.Н. Волкова*

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЦЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ** – закономерности формулирования *целей* (см. *Цель*) в открытых системах с активными элементами.

Обобщение результатов исследований процессов целеобразования, проводимых философами, психологами, кибернетиками, и наблюдение процессов обоснования и структуризации целей в конкретных условиях позволили сформулировать некоторые общие принципы, закономерности, которые полезно использовать на практике.

Основными закономерностями целеобразования являются следующие.

1. *Зависимость представления о цели и формулировки цели от стадии познания объекта (процесса) и от времени\**. Анализ определений понятия «цель» позволяет сделать вывод о том, что, формулируя ее, нужно стремиться отразить в формулировке или в способе представления цели основное противоречие: ее активную роль в познании, в управлении, и в то же время необходимость сделать ее реалистичной, направить с ее помощью деятельность на получение определенного полезного результата. При этом формулировка цели и представление о ней зависят от стадии познания объекта, и по мере развития представления о нем цель может переформулироваться.

При формулировании и пересмотре цели коллектив, выполняющий эту работу, должен определить, в каком смысле на данном этапе рассмотрения объекта и развития наших представлений о нем употребляется понятие *цели* (см.), к какой точке условной шкалы «идеальные устремления в будущее – реальный конечный результат деятельности» ближе принимаемая формулировка цели.

По мере углубления исследований, познания объекта цель может сдвигаться в одну или другую сторону на шкале, а соответственно должна изменяться и ее формулировка.

2. *Зависимость цели от внешних и внутренних факторов*. При анализе причин возникновения и формулирования цели нужно учитывать, что на нее влияют как внешние по отношению к системе факторы (внешние требования, потребности, мотивы, программы), так и внутренние факторы (потребности, мотивы, программы самой системы и ее элементов, исполнителей цели); при этом последние являются такими же объективно влияющими на процесс целеобразования факторами, как и внешние (особенно при использовании в системах управления понятия цели как средства побуждения к действию).

Цели могут возникать на основе взаимодействия противоречий (или, напротив, коалиций) как между внешними и внутренними факторами, так и между внутренними факторами, уже существующими и вновь возникающими в целостности, находящейся в постоянном самодвижении.

---

\* Две первые закономерности сформулированы Л.А. Растригиным и П.С. Граве [7].

Эта закономерность характеризует очень важное отличие *открытых систем* (см.), развивающихся систем с активными элементами от технических систем, отображаемых обычно замкнутыми, или *закрытыми* моделями. Теория управления последними оперирует обычно понятием цели, как внешним по отношению к системе, а в открытых, развивающихся системах цели не задаются извне, а формируются внутри системы\* на основе рассматриваемой закономерности.

3. *Возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования обобщающей (общей, глобальной) цели к задаче ее структуризации\*\**. Анализ процессов формулирования обобщенной (глобальной) цели в сложных системах показывает, что эта цель первоначально возникает в сознании руководителя или иного лица, принимающего решение (ЛПР), не как единичное понятие, а как некоторая достаточно «размытая» область.

Исследования психологов показывают, что цель на любом уровне управления вначале возникает в виде некоторого «образа» или «области» цели. В наибольшей степени это проявляется на уровне глобальной цели. При этом достичь одинакового понимания этой области цели всеми ЛПР, видимо, принципиально невозможно без ее детализации в виде неупорядоченного или упорядоченного (в структуре) набора одновременно возникающих взаимосвязанных подцелей, которые делают ее более конкретной и понятной для всех участников процесса целеобразования.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что задача формулирования обобщающей цели в сложных системах не только может, но и должна сводиться к задаче структуризации или декомпозиции цели. Коллективно формируемая структура цели помогает достичь одинакового понимания общей цели всеми ЛПР и исполнителями.

4. *Закономерности формирования структур целей*. Следующие три закономерности развивают рассмотренные закономерности применительно к структурам целей.

Зависимость способа представления целей от стадии познания объекта. Цели могут представлять-

---

\* Впервые эту мысль высказал Ю.И. Черняк, и она вначале вызвала резкое непонимание, но впоследствии была учтена при проведении реформ 70-х гг. XX в.

\*\* Закономерность сформулирована автором данного раздела в 1974 г. ([6, С. 39] и др.).

ся в форме различных *структур* (см.): *сетевых* (декомпозиция во времени); *иерархических* (см.) различного вида (декомпозиция в пространстве) – *древовидных* (см. *Дерево целей*), со «слабыми связями», в виде «*страт*» (см.) и «*эшелонов*» (см.) М. Месаровича; в *матричной* (табличной) форме.

На начальных этапах моделирования системы, как правило, удобнее применять декомпозицию в пространстве, предпочтительнее – древовидные иерархические структуры. Возникновение «слабых» иерархий можно объяснить тем, что цели вышестоящих уровней иерархии сформулированы слишком «близко» к идеальным устремлениям в будущее, а представление исполнителей о целях-задачах и подцелях-функциях не может обеспечить эти устремления.

Представление развернутой последовательности подцелей (функций) в виде сетевой модели требует хорошего знания объекта, законов его функционирования, технологии производства и т.п. Иногда сетевая структура может быть сформирована не сразу, а последующие подцели могут выдвигаться по мере достижения предыдущих, т.е. пространство между обобщающей целью и исходным первоначальным пониманием первой подцели будет заполняться как бы постепенно.

Такое представление может быть использовано и как средство управления, когда руководитель хорошо представляет себе конечную цель и ее декомпозицию во времени, но не уверен, что конечную цель сразу поймут исполнители; тогда он может выдвигать перед ними подцели постепенно, по мере достижения предыдущих, корректируя их с учетом мнений и возможностей исполнителей\*.

Перспективным представляется развертывание во времени иерархических структур целей, т.е. сочетание декомпозиции цели в *пространстве* и во *времени*.

Проявление в структуре целей закономерности целостности. В иерархической структуре закономерность целостности, или эмерджентности (см. *Закономерность целостности*), проявляется на любом уровне иерархии. Применительно к структуре целей это означает, что, с одной стороны, достижение цели вышестоящего уровня не может быть полностью обеспечено осуществлением подчиненных ей подцелей, хотя и зависит от них, а с другой – потребности, программы (как внеш-

---

\* Такое «расщепление» цели предложил Л.А. Растринин [7 и др.].

ние, так и внутренние) нужно исследовать на каждом уровне структуризации. При этом получаемые разными ЛПР расчленения подцелей в силу различного раскрытия неопределенности могут оказаться различными, т.е. разные ЛПР могут предложить разные иерархические структуры целей и функций даже при использовании одних и тех же принципов структуризации и методик.

Иными словами, эффект целеобразования проявляется на каждом уровне иерархии, но при этом большая неопределенность как бы расчленяется на более мелкие. Соответственно и задача анализа потребностей, мотивов, программ, влияющих на формирование обобщенной цели, тоже расчленяется на подзадачи анализа более частных потребностей, мотивов, программ на каждом уровне, что становится более реальным, и в результате появляется возможность согласования мнений ЛПР на каждом шаге структуризации.

Закономерности формирования иерархических структур целей. Учитывая, что наиболее распространенным способом представления целей в системах организационного управления является древовидная иерархическая структура, или *дерево целей* (см.), рассмотрим основные рекомендации по ее формированию:

приемы, применяющиеся при формировании древовидных иерархий целей, можно свести к двум подходам (см. *Подходы к анализу и проектированию систем*): а) формирование структуры «сверху» – методы структуризации, декомпозиции, целевой, или целенаправленный, подход; б) формирование структуры целей «снизу» – морфологический, лингвистический, тезаурусный, терминальный подход; на практике обычно они сочетаются;

цели нижележащего уровня иерархии можно рассматривать как средства для достижения целей вышестоящего уровня, при этом они же являются целями для уровня нижележащего по отношению к ним (свойство «двуликого Януса»); поэтому в реальных условиях одновременно с использованием философских понятий «цель», «подцель» удобно разным уровням иерархической структуры присваивать различные названия типа «направления», «программы», «задания», «задачи» и т.п.);

в иерархической структуре по мере перехода с верхнего уровня на нижний происходит как бы смещение «шкалы» цели – от цели-направления (цели-идеала, цели-мечты) к конкретным целям и функциям, которые на нижних уровнях структуры могут выражаться в виде ожидаемых результатов конкретной работы с указанием критериев оценки ее выполнения, в то время как на верхних уровнях иерархии указание критериев может быть либо выражено в общих требованиях (например, «повысить эффективность»), либо вообще не приводится в формулировке цели;

для того чтобы структура целей была удобной для анализа и организации управления, к ней рекомендуется предъявлять некоторые требования: расчленение на каждом уровне должно быть соразмерным, а выделенные части – логически независимыми; признаки декомпозиции (структуризации) в пределах одного уровня должны быть едиными; число уровней иерархии и число компонентов в каждом узле должно (в силу гипотезы Миллера или числа Колмогорова) не превышать  $K = 7 \pm 2$ . Эти требования не всегда совместимы, и на практике нужно искать компромиссы;

процесс развертывания обобщенной цели в иерархической структуре в принципе может быть бесконечным, однако на практике ситуация иная: во-первых, в силу гипотезы Миллера число уровней иерархии следует ограничить 5–7, а во-вторых, на каком-то уровне возникает потребность изменить «язык» описания подцелей, и для того, чтобы не создавать сложностей при восприятии структуры, целесообразно считать одним «деревом цели» ту часть структуры, которая может быть сформирована в терминах одного «языка» (политического, экономического, инженерного, технологического и т.п.); иными словами, возникает потребность в стратифицированном представлении структуры целей.

Рассмотренные закономерности необходимо учитывать при разработке методик структуризации и структур целей (см. *Методика структуризации целей и функций*).

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 58–61.
- 2. Волкова В.Н. Структуризация и анализ целей в системах организационного управления: учеб. пособие / В.Н. Волкова. – СПб.: СПбГТУ, 1995.
- 3. Волкова В.Н. Цель: прогнозирование, анализ, структуризация / В.Н. Волкова, В.А. Чабровский. – СПб.: Изд-во ИСЭПРАН, 1995.
- 4. Волкова В.Н. Цель: целеобразование, структуризация, анализ: учеб. пособие / В.Н. Волкова. – СПб.: Школа «Public Relations», 1996.
- 5. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 60–64.
- 6. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 39–40.
- 7. Растрин Л.А. Кибернетика как она есть / Л.А. Растрин, П.С. Граве. – М.: Молодая гвардия, 1975.
- 8. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975.

*В.Н. Волкова*

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ АДДИТИВНОСТИ\*** – закономерность теории систем, двойственная по отношению к *закономерности целостности* (см.).

---

\* В литературе встречаются также названия – физическая аддитивность, независимость, суммативность, обособленность.

Свойства физической аддитивности проявляются у системы, как бы распавшейся на независимые элементы; тогда становится справедливым соотношение

$$Q_S = \sum_{i=1}^n q_i,$$

где  $Q_S$  – свойства системы;  
 $q_i$  – свойство  $i$ -го элемента.

В этом крайнем случае и говорить-то о системе нельзя.

На практике существует опасность искусственного разложения системы на независимые элементы, даже когда при внешнем графическом изображении они кажутся элементами системы.

Реальная развивающаяся система всегда находится между двумя крайними состояниями – абсолютной *целостности* и *аддитивности*, и важно оценивать *степень целостности* системы (см. *Закономерность целостности*).

- 1. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.
- 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 54–57.

*В.Н. Волкова*

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЕРАРХИЧНОСТИ ИЛИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ УПОРЯДОЧЕННОСТИ** – закономерность построения систем, которая была в числе первых исследованных Л. фон Берталанфи [1]. Берталанфи показал связь иерархической упорядоченности мира с явлениями дифференциации и негэнтропийными тенденциями, т.е. с *закономерностями самоорганизации* (см. Введение), развития *открытых систем* (см.).

На выделении уровней иерархии природы базируются некоторые *классификации систем* (см.), в частности *классификация* К. Боулдинга.

На необходимость учитывать не только внешнюю структурную сторону иерархии, но и функциональные взаимоотношения между уровнями обратил внимание В.А. Энгельгардт [5]. На примерах биологических организаций он показал, что более высоко-

кий иерархический уровень оказывает направляющее воздействие на нижележащий уровень, подчиненный ему, и это воздействие проявляется в том, что подчиненные компоненты иерархии приобретают новые свойства, отсутствовавшие у них в изолированном состоянии, а в результате появления этих новых свойств формируется новый, другой «облик целого». Возникшее таким образом новое целое приобретает способность осуществлять новые функции, в чем и состоит цель образования иерархий. Иными словами, речь идет о *закономерности эмерджентности*, или *целостности* (см. *Закономерность целостности*) и ее проявлении на каждом уровне иерархии.

Эти особенности иерархических структур систем (или, как принято иногда говорить, иерархических систем) наблюдаются не только на биологическом уровне развития Вселенной, но и в социальных организациях, при управлении предприятием, государством, при представлении замысла проектов сложных технических комплексов и т.п.

Исследование иерархической упорядоченности в организационных системах с использованием *информационного подхода* (см., напр., в [2–4]) позволило сделать вывод о том, что между уровнями и элементами иерархических систем существуют более сложные взаимосвязи, чем это может быть отражено в графическом изображении иерархической структуры. Если даже между элементами одного уровня иерархии нет явных связей («горизонтальных»), то они все равно взаимосвязаны через вышестоящий уровень.

Например, в производственной и организационной структурах предприятия от вышестоящего уровня зависит, какой из элементов этого уровня будет выбран для поощрения (при предпочтении одних исключается поощрение других) или, напротив, какому из элементов будет поручена непрестижная или невыгодная работа (что освободит от нее других).

Неоднозначно можно трактовать и связи между уровнями иерархических систем.

Иерархические представления помогают лучше понять и исследовать феномен сложности. Поэтому четче выделим основные особенности иерархической упорядоченности с позиции полезности их использования в качестве моделей системного анализа.

1. В силу закономерности *коммуникативности* (см. *Закономерность коммуникативности*), которая проявляется не только между выделенной системой и ее окружением, но и между уровнями

иерархии исследуемой системы, каждый уровень иерархической упорядоченности имеет сложные взаимоотношения с вышестоящим и нижележащим уровнями.

По метафорической формулировке, используемой Кёстлером [6], каждый уровень иерархии обладает свойством «двуликого Януса»: «лик», направленный в сторону нижележащего уровня, имеет характер автономного целого (системы), а «лик», направленный к узлу (вершине) вышестоящего уровня, проявляет свойства зависимой части (элемента вышестоящей системы, каковой является для него составляющая вышестоящего уровня, которой он подчинен).

Эта конкретизация закономерности иерархичности объясняет неоднозначность использования в сложных организационных системах понятий «система» и «подсистема», «цель» и «средство» (элемент каждого уровня иерархической структуры целей выступает как цель по отношению к нижестоящим и как «подцель», а начиная с некоторого уровня, и как «средство» по отношению к вышестоящей цели), что часто наблюдается в реальных условиях и приводит к некорректным терминологическим спорам.

2. Важнейшая особенность иерархической упорядоченности как закономерности заключается в том, что *закономерность целостности* (см.), т.е. качественные изменения свойств компонентов более высокого уровня по сравнению с объединяемыми компонентами нижележащего, проявляется в ней на каждом уровне иерархии.

При этом объединение элементов в каждом узле иерархической структуры приводит не только к появлению новых свойств у узла и к утрате объединяемыми компонентами свободы проявления некоторых своих свойств, но и к тому, что каждый подчиненный член иерархии приобретает новые свойства, отсутствовавшие у него в изолированном состоянии.

3. При использовании иерархических представлений как средства исследования систем с неопределенностью происходит как бы расчленение «большой» неопределенности на более «мелкие», лучше поддающиеся исследованию.

При этом даже если указанные мелкие неопределенности не удастся полностью раскрыть и объяснить, то все же иерархическое упорядочение частично снимает общую неопределенность, обеспечивает по крайней мере управляемый контроль за принятием решения, для которого используется иерархическое представление.

4. В силу закономерности целостности одна и та же система может быть представлена разными иерархическими структурами. Причем это зависит: а) от цели (разные иерархические структуры могут соответствовать разным формулировкам цели) и б) от лиц, формирующих структуру: при одной и той же цели, если поручить формирование структуры разным лицам, то они в зависимости от их предшествующего опыта, квалификации и знания объекта могут получить разные структуры, т.е. по-разному раскрыть неопределенность проблемной ситуации.

В связи с изложенным на этапе структуризации системы (или ее цели) можно (и нужно) ставить задачу выбора варианта структуры для дальнейшего исследования или проектирования системы, для организации управления технологическим процессом, предприятием, проектом и т.д. Для того чтобы помочь в решении подобных задач, разрабатывают методики структуризации, методы оценки и сравнительного анализа структур. Вид иерархической структуры зависит также от применяемой методики.

Благодаря рассмотренным особенностям иерархические представления могут использоваться в качестве средства для исследования систем и проблемных ситуаций с большой начальной неопределенностью.

- 1. Бергаланфи Л. фон. История и статус общей теории систем / Л. фон Бергаланфи // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37. 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 58–61. 3. Денисов А.А. Иерархические системы: учеб. пособие / А.А. Денисов, В.Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989. 4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 5. Энгельгардт В.А. О некоторых атрибутах жизни: иерархия, интеграция, узнавание / В.А. Энгельгардт // Вопросы философии. – 1976. – № 7. – С. 65–81. 6. Koestler A. Beyond Atomism and Holism / A. Koestler // Beyond Reductionism. – London, 1969. В.Н. Волкова

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИНТЕГРАТИВНОСТИ** – термин, который часто употребляется как синоним *целостности* (см. *Закономерность целостности*). Однако некоторые исследователи (например, В.Г. Афанасьев [1]) выделяют *закономерность интегративности* как самостоятельную, стремясь подчеркнуть интерес не к внешним факторам проявления целостности, а к более глубоким причинам, обуславливающим возникновение этого свойства, к факторам, обеспечивающим сохранение целостности.

Интегративными называют системообразующие, системосохраняющие факторы, в числе которых важную роль играют *неоднородность и противоречивость* элементов (рассматриваемые большинством философов), с одной стороны, и *стремление их вступить в коалиции* (на что обратил внимание А.А. Богданов [2] и исследовали А.А. Малиновский [5] и М. Месарович [6]) – с другой.

В связи с этим отметим, что носителем целостного знания о мире являются философские концепции, опираясь на которые, можно дополнить закономерность интегративности рекомендациями, базирующимися на законах диалектики (см. в [3, 4]).

Обратим также внимание на тот факт, что для сложных развивающихся систем в принципе невозможно разработать полный перечень рекомендаций по созданию и сохранению целостности, что проблема выбора и сохранения интегративных факторов должна решаться в конкретных приложениях на моделях, сочетающих средства качественного и количественного анализа.

- 1. Афанасьев В.Г. Проблема целостности в философии и биологии / В.Г. Афанасьев. – М.: Мысль, 1984. 2. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука: Тектология. В 2 кн. / А.А. Богданов. – М., 1905–1924. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 58–61. 4. Денисов А.А. Иерархические системы: учеб. пособие / А.А. Денисов, В.Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989. 5. Малиновский А.А. Механизмы формирования целостности систем / А.А. Малиновский. – СПб.: Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 52–62. 6. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага. – М.: Мир, 1973. 7. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 53.

*В.Н. Волкова*

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИСТОРИЧНОСТИ** – одна из *закономерностей развития систем* (см. Введение).

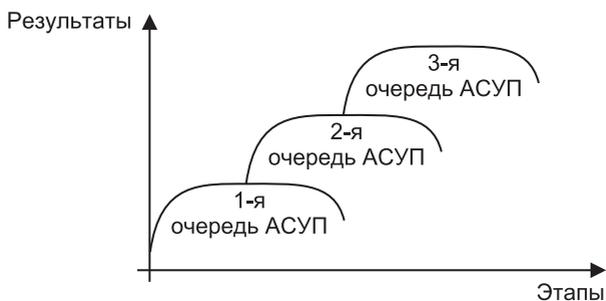
С позиции диалектического и исторического материализма очевидно, что любая система не может быть неизменной, что она не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает, и каждый может привести примеры становления, расцвета, упадка (старения) и даже смерти (гибели) биологических и социальных систем.

Однако для конкретных случаев развития организационных систем и сложных технических комплексов достаточно трудно определить эти периоды. Не всегда руководители организаций и конст-

рукторы технических систем учитывают, что время является не-пременной характеристикой системы, что каждая система подчиняется *закономерности историчности* и что эта закономерность такая же объективная, как целостность, иерархическая упорядоченность и др. Поэтому в практике проектирования и управления на необходимость учета закономерности историчности начинают обращать все больше внимания. В частности, при разработке технических комплексов предлагают учитывать их «жизненные циклы», рекомендуют [3] в процессе проектирования рассматривать не только этапы создания и обеспечения развития системы, но и вопрос о том, когда и как ее нужно уничтожить (возможно, предусмотрев «механизм» ее ликвидации или самоликвидации). Так, рекомендуют при создании технической документации, сопровождающей систему, включать в нее не только вопросы эксплуатации системы, но и ее срок жизни, ликвидацию. При регистрации предприятий также требуется, чтобы в уставе предприятия был предусмотрен этап его ликвидации.

Однако закономерность историчности можно учитывать, не только пассивно фиксируя старение, но и использовать для предупреждения «смерти» системы, разрабатывая «механизмы» реконструкции, реорганизации системы для разработки или сохранения ее в новом качестве.

Так, при создании сложных технических комплексов предлагалось (напр., М.М. Четвертаков [4]) корректировать технический проект с учетом старения идеи, положенной в его основу, уже в процессе проектирования и создания системы. При разработке АСУП рекомендовалось выделять укрупненные этапы, «очереди» (АСУ 1-й очереди, 2-й очереди и т.д.) и примерно в середине «жизненного цикла» разработки предшествующей очереди развития автоматизированной системы начинать концептуальное проектирование и формирование технического задания (ТЗ) на проектирование последующей очереди АСУП (что условно иллюстрировано рисунком).



Аналогичная процедура обновления комплексной программы и основных направлений экономического и социального развития страны (в середине каждой пятилетки) была предусмотрена в период реформ 70-х гг. XX в. [5].

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 61–62. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С.58–59. 3. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. 4 Четвертаков М.М. Организация систем управления созданием и развитием технической продукции: метод. рекомендации / М.М. Четвертаков и др. – Л.: ЦНИИ «Румб», 1981. 5. Совершенствование хозяйственного механизма: сб. документов. – М.: Изд-во «Правда», 1982. В.Н. Волкова

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ КОММУНИКАТИВНОСТИ** составляет основу определения системы В.Н. Садовским и Э.Г. Юдиным [1]: «...2) она (система) образует особое единство со средой; 3) как правило, любая исследуемая система представляет собой элемент системы более высокого порядка; 4) элементы любой исследуемой системы, в свою очередь, обычно выступают как системы более низкого порядка», из которого следует, что система не изолирована от других систем, она связана множеством коммуникаций со средой (см.).

Такое сложное единство со средой названо *закономерностью коммуникативности*, которая, в свою очередь, помогает легко перейти к *иерархичности* (см.) как закономерности построения всего мира и любой выделенной из него системы.

Закономерность коммуникативности является основой признака структуризации «пространство инициирования целей», принятого в одной из методик системного анализа [2–4], в соответствии с которым среда представляет собой сложное и неоднородное образование, содержащее *надсистему* (систему более высокого порядка, задающую требования и ограничения исследуемой системе), *подсистемы* (нижележащие, подведомственные системы), *системы одного уровня с рассматриваемой* (что согласуется с приведенным определением). Но в развитии этого определения в методике добавлена *собственно система*, формирующая в соответствии с самодвижением целостности как бы *внутреннюю среду*, иницирующую собственные потребности.

- 1. Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 12.
- 2. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ / Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976.
- 3. Ямпольский В.З. Опыт создания и развития отраслевой автоматизированной системы управления Минвуза РСФСР: Обзорн. информ. / В.З. Ямпольский, Н.И. Гвоздев, Л.В. Кочнев и др. – М.: НИИВШ, 1980.
- 4. Перегудов Ф.И. Принципы декомпозиции целей и методика построения дерева целей в системе мах организационного управления / Ф.И. Перегудов, В.Н. Сагатовский, В.З. Ямпольский, Л.В. Кочнев // Кибернетика и вуз. Вып. 8. – Томск: ТПИ, 1974. – С. 9–20.

*В.Н. Волкова*

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ** – одна из закономерностей теории систем, объясняющая возможность осуществимости системы.

Развивая идею В.А. Котельникова [3] о потенциальной помехоустойчивости систем, Б.С. Флейшман [1] связал сложность структуры системы со сложностью ее поведения, предложил количественные выражения предельных законов надежности, помехоустойчивости, управляемости и других качеств систем и показал, что на их основе можно получить количественные оценки осуществимости систем с позиции того или иного качества – предельные оценки жизнеспособности и потенциальной эффективности сложных систем.

Эти оценки исследовались применительно к техническим [1] и экологическим [2] системам и пока еще мало применялись для социально-экономических систем. Но потребность в таких оценках на практике ощущается все более остро.

Например, нужно определять: когда исчерпываются потенциальные возможности существующей организационной структуры предприятия и возникает необходимость в ее преобразовании, когда устаревают и требуют обновления производственные комплексы, оборудование и т.п. Возможности применения закономерности потенциальной эффективности к задаче определения «порога осуществимости» организационной системы исследовал В.И. Самофалов [4, С. 180–183].

- 1. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б.С. Флейшман. – М.: Сов. радио, 1971.
- 2. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б.С. Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982.
- 3. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости / В.А. Котельников. – М.: Госэнергоиздат, 1956.
- 4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева,

В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 180–183. 5. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 39.

*В.Н. Волкова*

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ЦЕЛОСТНОСТИ (ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ)** – закономерность, проявляющаяся в системе в виде возникновения, появления (*emerge* – появляться) у нее новых свойств, отсутствующих у элементов. Берталанфи считал эмерджентность основной системной проблемой [3, 8].

Проявление этой закономерности поясним на примерах поведения популяций, социальных систем и даже технических объектов.

Свойства станка отличаются от свойств деталей, из которых он собран. Предприятие обладает способностью производить сложные технические комплексы из компонентов и деталей, изготовить которые могут отдельные производственные подразделения или работники, объединенные правилами взаимодействия, определяемыми технологией производства и производственными отношениями, и т.д.

Для того чтобы глубже понять закономерность целостности, необходимо прежде всего учитывать три ее стороны:

1) свойства системы (целого)  $Q_s$  не являются простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей)  $q_i$ :

$$Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i; \quad (1)$$

2) свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов (частей):

$$Q_s = f(q_i). \quad (2)$$

Кроме этих двух основных сторон следует иметь в виду еще одну:

3) объединенные в систему элементы, как правило, утрачивают часть своих свойств, присущих им вне системы, т.е. система как бы подавляет ряд свойств элементов, но, с другой стороны, элементы, попав в систему, могут приобрести новые свойства.

Поясним рассмотренные особенности на примерах. Так, из датчиков, транзисторов, резисторов и других деталей может быть собрана система управления станком. При этом система, полу-

ченная из деталей-элементов, приобретает новые свойства по сравнению со свойствами каждого из отдельно взятых элементов, а элементы утрачивают при объединении в систему часть своих свойств.

Например, транзистор может использоваться в различных режимах работы в разных устройствах – радиоприемниках, телевизорах и т.п., а став элементом системы автоматического управления станком, он утрачивает эти возможности и сохраняет только свойство работать в необходимом для этой схемы режиме. Аналогично производственная система в рабочее время подавляет у своих элементов-рабочих вокальные, хореографические и некоторые другие способности и использует только те свойства, которые нужны для осуществления процесса производства. В еще большей степени подавляет проявление способностей человека конвейер.

Таким образом, первая сторона закономерности целостности характеризует изменение взаимоотношений системы как целого со средой (по сравнению с взаимодействием с ней отдельно взятых элементов), третья – утрату элементами некоторых свойств, когда они становятся элементами системы. Эти изменения бывают настолько разительны, что может показаться, будто свойства системы вообще не зависят от свойств элементов. Поэтому необходимо обращать внимание на вторую сторону закономерности целостности.

В самом деле, если транзистор или другой элемент вышел из строя или если поставлен датчик с другой чувствительностью, то либо система управления станком вообще перестанет существовать и выполнять свои функции, либо по крайней мере изменятся ее характеристики (во втором случае). Аналогично замена элементов в организационной структуре системы управления предприятием может существенно повлиять на качество его функционирования.

Свойство целостности связано с целью, для выполнения которой создается система. При этом если цель не задана в явном виде, а у отображаемого объекта наблюдаются целостные свойства, можно попытаться определить цель или выражение, связывающее цель со средствами ее достижения (целевую функцию, системообразующий критерий), путем изучения причин появления закономерности целостности.

В рассматриваемом примере целостность определяется конструкцией системы управления станком, технологической схемой

взаимодействия деталей и узлов. Но в подобных примерах и цель несложно сформулировать. А вот в организационных системах не всегда сразу легко понять причину возникновения целостности и приходится проводить анализ, позволяющий выявить, что привело к возникновению целостных, системных свойств.

Исследованию закономерности целостности в теории систем уделяется большое внимание [1, 2, 6 и др.].

Наряду с изучением причин возникновения целостности можно получать полезные для практики результаты путем сравнительной оценки степени целостности систем (и их структур) при неизвестных причинах ее возникновения.

Любая развивающаяся система находится, как правило, между состоянием абсолютной *целостности* и абсолютной *аддитивности* (см. *Закономерность аддитивности*), и выделяемое состояние системы (ее «срез») можно охарактеризовать степенью проявления одного из этих свойств или тенденций к его нарастанию или уменьшению.

Для оценки этих тенденций А. Холл [7] ввел две сопряженные закономерности, которые он назвал *прогрессирующей факторизацией* (см. *Прогрессирующая систематизация и прогрессирующая факторизация*) – стремлением системы к состоянию со все более независимыми элементами, и *прогрессирующей систематизацией* – стремлением системы к уменьшению самостоятельности элементов, т.е. к большей целостности.

А. Холл ввел некоторые косвенные оценки, позволяющие определять, какая из этих закономерностей проявляется в системе в большей мере. Но эти оценки были введены для конкретных систем связи.

Одним из авторов данного раздела в [5] введены сравнительные количественные оценки *степени целостности*  $\alpha$  и *коэффициента использования свойств элементов*  $\beta$  в целом (табл.), применимые для систем различной физической природы (см. *Информационный подход к анализу систем*).

Эти оценки получены на основе соотношения, определяющего взаимосвязь системной  $C_c$ , собственной  $C_o$  и взаимной  $C_v$  сложности системы (см. *Информационный подход к анализу систем*):

$$C_c = C_o + C_v. \quad (1)$$

*Собственная сложность*  $C_o$  представляет собой суммарную сложность (содержание) элементов системы вне связи их между

Т а б л и ц а

Закономерности взаимодействия части и целого	Степень целостности $\alpha$	Коэффициент использования элементов $\beta$
Целостность $Q_s \neq \sum_{i=1} q_i$ (эмерджентность)	1	0
Прогрессирующая систематизация		$\alpha > \beta$
Прогрессирующая факторизация		$\alpha < \beta$
Аддитивность $Q_s = \sum_{i=1} q_i$ (суммативность)	0	1

собой (в случае прагматической информации – суммарную сложность элементов, влияющих на достижение цели).

*Системная сложность*  $C_c$  представляет содержание системы как целого (например, сложность ее использования).

*Взаимная сложность*  $C_b$  характеризует степень взаимосвязи элементов в системе (т.е. сложность ее устройства, схемы, структуры).

Если разделить (1) на  $C_o$ , то получим основной закон систем:

$$\alpha + \beta = 1, \quad (2)$$

$$\text{где } \alpha = -C_b / C_o \quad (3)$$

есть относительная связность элементов системы;

$$\beta = C_c / C_o \quad (4)$$

есть относительная их свобода.

Соотношение (3) характеризует степень целостности, связности, взаимозависимости элементов системы; для организационных систем  $\alpha$  может быть интерпретирована как характеристика устойчивости, управляемости, степени централизации управления.

Соотношение (4) – самостоятельность, автономность частей в целом, степень использования возможностей элементов. Для организационных систем  $\beta$  удобно называть коэффициентом использования элементов в системе.

Знак минус в выражение (3) введен для того, чтобы  $\alpha$  было положительным, поскольку  $C_b$  в устойчивых системах, для которых характерно  $C_o > C_c$ , формально имеет отрицательный знак.

Связное (остающееся как бы внутри системы) содержание  $C_B$  характеризует работу системы на себя, а не на выполнение стоящей перед ней цели (чем и объясняется отрицательный знак  $C_B$ ).

Из (2) следует, что сумма свободы и связности элементов системы есть величина постоянная.

Без обеспечения целостности в системе не могут возникнуть целостные, общесистемные свойства, полезные для ее сохранения и развития. Но в случае большой целостности система будет подавлять свойства элементов и может утратить часть из них, в том числе полезных. В то же время при стремлении предоставить элементам больше свободы следует учитывать, что при суммировании (аддитивности) свойств элементов могут возникать противоречия и конфликтные ситуации, и эти свойства не будут проявляться в системе.

Применительно к социальным системам это значит, что рост справедливости  $\alpha$  достигается только за счет ограничения свободы  $\beta$  и наоборот. Поэтому реальная сложная развивающаяся система всегда находится между двумя крайними состояниями – абсолютной целостности и абсолютного распада, хаоса. И общество стоит перед выбором степени регулирования целостности.

Для характеристики различных состояний системы на практике вводят различные термины.

Например, беспредельная свобода – хаос, власть толпы, *охлакратия* («охломон» – человек толпы), *анархия*; *свобода* (философия трактует это понятие как «осознанную необходимость», свобода с учетом прав другой личности); *демократия* – власть народа («демос» – народ), но упорядоченная законами; *порядок* (власть государства); *диктатура*, *тоталитаризм* (от немецкого «*tot*» – смерть) – абсолютная власть.

Руководители государства стремятся выбрать промежуточное состояние, которое обеспечило бы и целостные, системные свойства (такие, как безопасность, обороноспособность, стабильность экономики и т.п.), и в то же время – свободу граждан в проявлении их потребностей и способностей, что способствует развитию системы. Поэтому вводят понятие «свободная регулируемая экономика», или «регулируемый рынок» (рассматривая рынок как основу свободно развивающейся экономики). При этом следует иметь в виду важную зависимость (2).

Это означает, что невозможно одновременно обеспечить и большую целостность (устойчивость экономики, безопасность и тому подобные общесистемные свойства), и беспредельную свободу граждан. В частности, зарубежные исследования показали,

что в тех регионах, где неограниченно возрастает свобода, снижается безопасность, увеличивается число конфликтов, в том числе приводящих к локальным войнам.

В конкретных условиях нужно выбирать, чем пожертвовать для достижения желаемого в данный период состояния системы.

Исследованию причин возникновения или утраты целостных свойств в теории систем уделяется большое внимание. Однако в ряде реальных ситуаций не удается выявить факторы, обуславливающие возникновение целостности. Тогда системные представления становятся средством исследования. Благодаря тому, что отображение объекта в виде системы подразумевает в силу закономерности целостности качественные изменения при объединении элементов в систему и при переходе от системы к элементам (и эти изменения происходят на любом уровне расчленения системы), можно вначале структурой представить объект или процесс, для изучения которого не может быть сразу сформирована математическая модель, требующая выявления точных, детерминированных взаимоотношений между элементами системы.

Иными словами, благодаря закономерности целостности с помощью понятия *структура* можно отображать проблемные ситуации с неопределенностью. При этом «большая» неопределенность разделяется на более «мелкие», которые в ряде случаев легче поддаются изучению, что помогает выявлять причины качественных изменений при формировании целого из частей. Расчленяя систему, можно анализировать причины возникновения целостности на основе установления причинно-следственных связей различной природы между частями, частью и целым, выявляя причинно-следственной обусловленности целого средой.

- 1. Абрамова Н.Т. Целостность и управление / Н.Т. Абрамова. – М.: Наука, 1974. 2. Афанасьев В.Г. Проблема целостности в философии и биологии / В.Г. Афанасьев. – М.: Мысль, 1984. 3. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор / Л. фон Берталанфи // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82. 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С.57, 205–212. 5. Денисов А.А. Информационные основы управления / А.А. Денисов. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. 6. Тюхтин В.С. Отражение, система, кибернетика: теория отражения в свете кибернетики и системного подхода / В.С. Тюхтин. – М.: Наука, 1972. 7. Холл А. Опыт методологии для системотехники / А. Холл. – М.: Сов. радио, 1975. 8. Bertalanfy L. von. General System Theory – a Critical Review / L. von Bertalanfy // General System, vol. VII, 1962, p. 1–20.

*В.Н. Волкова, А.А. Денисов*

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ЭКВИФИНАЛЬНОСТИ** – одна из *закономерностей функционирования и развития систем* (см. Введение), характеризующая предельные возможности системы.

Этот термин предложил Л. фон Бергаланфи, который для открытой системы (см.) определил эквифинальность как «способность, в отличие от состояния равновесия в закрытых системах, полностью детерминированных начальными условиями, ...достигать не зависящего от времени состояния, которое не зависит от ее начальных условий и определяется исключительно параметрами системы» ([2], С. 42).

По Бергаланфи, можно говорить об уровне развития крокодила, обезьяны и характеризовать их предельными возможностями, предельно возможным состоянием, к которому может стремиться тот или иной вид, а соответственно и стремлением к этому предельному состоянию из любых начальных условий, даже если индивид появился на свет раньше положенного времени или провёл подобно Маугли некоторый начальный период жизни в не свойственной ему среде.

Живые организмы по мере эволюции усложняются, и в разные периоды их жизни можно наблюдать различные состояния эквифинальности. В наибольшей мере это проявляется у человека, что служит предметом изучения многих исследователей – биологов, философов, инженеров, которые выделяют примерно следующие уровни (называемые по-разному): материальный, эмоциональный, семейно-общественный, социально-общественный, интеллектуальный и т.п.

Потребность во введении понятия эквифинальности возникает, начиная с некоторого уровня сложности систем. Бергаланфи не дал ответы на вопросы: какие именно параметры в конкретных условиях обеспечивают эквифинальность? Как проявляется закономерность эквифинальности в сообществах, в организационных системах? Однако эта закономерность заставляет задуматься о предельных возможностях создаваемых предприятий, организационных систем управления отраслями, регионами, государством.

Особый интерес представляют исследования возможных уровней существования социально-общественных систем, что важно учитывать при определении целей системы.

Использование закономерности эквифинальности при формулировании целей связано с системой ценностей личности, общества, форм существования сообщества – города, региона, страны и т.п.

В качестве примера можно рассмотреть следующие основные уровни (которые исследователи называют по-разному):

*материальный* уровень, который определяется врожденными потребностями и программами человека (самосохранение, т.е. поесть, поспать, одеться, иметь материальные блага разного рода);

*эмоциональный* (доступные развлечения, эстетическое восприятие мира, потребность в проявлении и реализации чувств восхищения, любви и т.п.);

*семейно-общественный* (реализация программы продолжения рода, создания условий для воспитания потомства, ассоциирующихся традиционно с семьей, семейно-общественным укладом жизни);

*социально-общественный*, определяемый соответствующими правилами сообщества того или иного типа, закрепляемыми в законодательстве, этических нормах, традициях и т.п. (история изучает развитие представлений об этом уровне в различных общественных формациях);

*интеллектуальный*, для которого характерна специфическая система ценностей, ориентированная главным образом на развитие творческих способностей личности (примером может служить атмосфера отечественных академгородков в начальный период их развития).

У сформировавшейся личности присутствуют все уровни. Возможно, каждый последующий вид включает необходимость достижения предыдущих. Однако имеются и иные точки зрения: у интеллектуально развитой личности могут быть не решены не только семейные проблемы, но и материальные. И уж по крайней мере в различные периоды жизни индивида рассмотренные ценности занимают разное место в его жизни, приоритеты различны у разных народов и изменяются по мере развития человека и цивилизации.

Известны исследования, в которых детализируется социально-общественный уровень развития социума и его образований – города, региона, государства.

Эти уровни изучали В.И. Вернадский и его последователи. В их трудах нет упоминания об *эквифинальности* по Берталанфи, но они могут помочь ответить на вопросы, не решенные автором этой закономерности.

Мировоззрение Вернадского связано с представлением о сфере разума – *ноосфере* (термин был предложен французским исследователем Э. Леруа) как уровне развития сообщества людей, отличном от *геосферы* и *биосферы*, существовавших до появления человека. Развивая его учение, некоторые философы предлагают понятия *пневмосферы* (духовной сферы)\*, *этносферы* (сферы этики), сферы нравственности.

---

\* Флоренский П.А. Марксизм и микрокосм / П.А. Флоренский // Богословские труды. – М., 1983, т. 24. – С. 237.

В исследованиях В.Н. Сагатовского [4] формулируются характеристики современного и перспективного уровней существования человечества – *антропоцентризма* и *антропокосмизма*.

Применительно к обществу профессор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета В.А. Жуков предлагает выделять более детализированные уровни развития человека и сообщества\*:

*с и т у а т и в н о е* пространство смыслов, в котором каждый индивид (или социальная группа, народ, регион, страна) рассматривает другого (другую общность) инструментально, т.е. как средство для достижения своих целей;

*с о ц и а л ь н о е* пространство, в котором личность стремится ставить социально значимые цели (достижение власти, должности, богатства и т.п.), а цели сообщества могут признаваться выше индивидуальных, и возможно даже подавление локальных подцелей ради достижения общей цели (такую модель системы или общины, стремящейся к идеалу, предлагают, в частности, Р. Акофф и Ф. Эмери [1]);

*п р о с т р а н с т в о* культуры, в котором другой человек (другое сообщество) рассматривается как партнер по воспроизводству культуры и ее развитию; каждый начинает считаться с правом на существование другого и строить модели своего поведения с учетом этого факта; отношения между людьми (сообществами) решаются не большинством голосов, а взаимным дополнением, во взаимных добровольных уступках, на основе диалога, отвергающего оценочное отношение к партнеру и допускающего право на ошибку;

*п р о с т р а н с т в о* «вечных смыслов», в котором другой человек, народ, страна воспринимаются как неповторимое, самобытное творение, самоценность; для этого пространства характерно не только признание права на существование других, но и интерес к другому, к его системе ценностей, и даже потребность в ее заимствовании, объединении в совместных моделях.

Система ценностей отражается в концепциях авторов *методик структуризации целей и функций систем* (см.).

Так, в *методике, основанной на концепции системы, учитывающей ее взаимодействие со средой* (см.), эквивиальность в большей мере ориентирована на детализированную среду (надсистему, актуальную среду, подведомственные системы). В *методике структуризации целей системы, стремящейся к идеалу* (см.), Р. Акофф и Ф. Эмери предложили принципы, соответствующие социальному пространству, формулируя на их основе систему ценностей для системы (в их терминологии – общины), стремящейся к идеалу.

---

\* Жуков В.А. Высшая школа – социальный институт или часть культуры? / В.А. Жуков// Политехник. – 1994. – 22 дек. – №27.

Обратим внимание на сложность реализации желаемого уровня (пространства) на практике, поскольку в силу второй *закономерности целеобразования* (см.) формулирование и реализация целей зависят не только от внешних, но и от внутренних факторов, т.е. от уровня развития населения, проживающего в регионе, сотрудников предприятия и т.п. При этом возникает проблема согласования локальных и глобальных критериев, при решении которой могут использоваться модели *векторной (многокритериальной) оптимизации* (см.).

- 1. Акофф Р. О целеустремленных системах: пер. с англ. / Р. Акофф, Ф. Эмери. – М.: Сов. радио, 1974. 2. Берта л а н ф и Л. фон. История и статус общей теории систем / Л. фон Берта л а н ф и // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37. 3. Волк о в а В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 64–66, 238–243. 4. Сага т о в с к и й В.Н. Русская идея: продолжим ли прерванный путь? / В.Н. Сага т о в с к и й // Серия: Россия накануне XXI века. – СПб.: ТОО ТК «Петрополис», 1994. 5. С и с т е м н ы й анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – 356 с. 6. Волк о в а В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи/В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 37–38. В.Н. Волкова

**ЗАКРЫТАЯ (ЗАМКНУТАЯ) СИСТЕМА** – система, полностью изолированная от внешней среды, т.е. не обменивающаяся с ней массой (веществом), энергией, информацией.

Термин был введен Л. фон Берта л а н ф и [1, 9] как парный по отношению к понятию *открытая система* (см.).

Строго говоря, такая полная изоляция любой системы весьма условна в силу всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений и процессов в природе и обществе. Можно лишь условно считать, что доля взаимосвязей системы со средой пренебрежимо мала по сравнению с внутренними взаимосвязями системы.

Поэтому понятие закрытой системы следует рассматривать как своего рода закрытую, или *замкнутую модель*.

При отображении проблемной ситуации такой моделью условно принимается, что либо «входы» и «выходы» у системы отсутствуют, либо их состояния неизменны в рассматриваемый период времени.

Поведение закрытой системы определяется начальными условиями, характеристиками ее элементов и связей, структурой,

внутренними закономерностями функционирования системы. Предметом исследования являются внутренние изменения, определяющие поведение системы. Внешние же управляющие или возмущающие воздействия рассматриваются как помехи.

Формальные математические модели представляют собой закрытые модели. *Теория автоматического управления* разрабатывалась в основном как теория закрытых систем.

Одним из первых важных достижений *кибернетики* (см.) была модель, учитывающая «вход-выход» и получившая название «*черного ящика*» (см.). Вначале У.Р. Эшби даже определял систему как «машину со входом», а позднее – как пару «черный ящик» и исследователь, взаимодействующие между собой ([8], [7, С. 35; 141]). Но эта модель еще не была моделью открытой системы.

Первоначально отображение в виде закрытой системы пытались применять и для моделирования социально-экономических объектов. Однако эти модели неадекватно отображают системы с активными элементами, реальные процессы в живых системах. Разработкой моделей для таких систем занимается теория систем.

В частности, одним из принципиальных отличий закрытых систем от открытых является тот факт, что они оперирует обычно понятием *цель* (см.) как внешним по отношению к системе, а в *открытых*, развивающихся системах цели не задаются извне, а формируются внутри системы на основе соответствующих *закономерностей целеобразования* (см.).

Впервые эту особенность исследовал Ю.И. Черняк [6], и она вначале вызвала резкое непонимание, но впоследствии значимость данной закономерности для систем с активными элементами была осознана и стала широко использоваться в практике управления социально-экономическими объектами [2, 4, 5].

- 1. Бергаланфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор / Л. фон Бергаланфи // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82. 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 54–67. 3. Лопатников Л.И. Краткий экономико-математический словарь / Л.И. Лопатников; отв. ред. Н.П. Федоренко. – М.: Наука, 1979. 4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 50–60. 5. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 34–39. 6. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. 7. Эшби У. Р.

Общая теория систем как новая научная дисциплина / У.Р. Эшби // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 125–142. 8. Ashby W.R. General Systems Theory as a New Discipline / W.R. Ashby // General Systems, vol. III, 1958, p. 1–6. 9. Bertalanffy L. von. General System Theory – a Critical Review / L. von Bertalanffy // General System, vol. VII, 1962, p. 1–20.

В.Н. Волкова

И

**ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА** – взаимосвязанные понятия, поскольку *иерархическими* называют системы, имеющие иерархические структуры.

Иерархическая структура представляет собой *декомпозицию* (см.) системы *в пространстве*. Все компоненты (вершины, узлы) и связи (дуги, соединения узлов) существуют в этих структурах одновременно, не разнесены *во времени*, как это имеет место в *сетевой структуре* (см.).

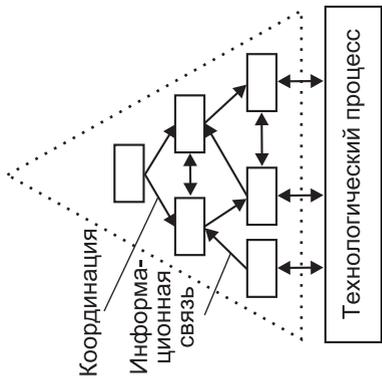
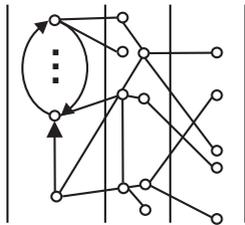
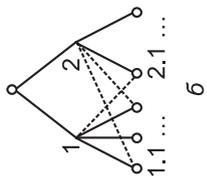
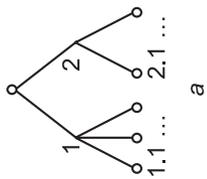
Иерархические структуры могут иметь различное число уровней декомпозиции (структуризации).

Структуры типа показанных на рисунке, в которых каждый элемент нижележащего уровня подчинен одному узлу (одной вершине) вышестоящего (и это справедливо для всех уровней иерархии), называют *древовидными* структурами, структурами *типа «дерева»*, структурами, на которых выполняется отношение древесного порядка, иерархическими структурами с *«сильными»* связями.

Структуры типа изображенной на рисунке (б), в которой элемент нижележащего уровня может быть подчинен двум и более узлам (вершинам) вышестоящего, называют иерархическими структурами со *«слабыми»* связями.

Иерархическим структурам, приведенным на рисунке *а* и *б*, соответствуют *матричные структуры* (см.), показанные на рисунке *д*, *е*. Отношения, имеющие вид «слабых» связей между двумя уровнями на рис. *б*, подобны отношениям в матрице, образованной из составляющих этих двух уровней на рисунке *е*.

Наибольшее распространение имеют древовидные иерархические структуры, с помощью которых представляются конструкции сложных технических изделий и комплексов, структуры классификаторов и словарей, структуры целей и функций, производственные структуры, организационные структуры предприятий и т.п.



Цели	Подцели
1...	1.1...
	1.2...
	1.3...
2...	2.1...
	2.2...

д

	1.	2.
1.1	+	+
1.2	+	-
1.3	+	+
2.1	+	+
2.2	-	+

е

ж

В виде иерархий со «слабыми» связями представляют структуры целей и функций в тех случаях, когда цели сформулированы слишком близко к идеальным устремлениям и недостаточно подцелей, обеспеченных средствами для их реализации. «Слабые» связи имеют место в некоторых видах организационных структур, например, *линейно-функциональная организационная структура*, в структуре управления государством (см. *Смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями*) и т.д.

Поскольку в общем случае термин *иерархия* (см.) означает соподчиненность, т.е. любой согласованный по подчиненности порядок объектов, в принципе в иерархических структурах важно лишь выделение уровней соподчиненности, а между уровнями и между компонентами в пределах уровня могут быть любые взаимоотношения.

В соответствии с этим существуют структуры, использующие иерархический принцип, но имеющие специфические особенности. В частности, в *теории многоуровневых иерархических систем* (см.) М. Месаровича [2] предложены особые классы иерархических структур – *страты* (см.), *слои* (см.), *эшелоны* (см.), отличающиеся различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего. Такие структуры называют *многоуровневыми иерархическими структурами* (см.).

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 33–42. 2. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахаара. – М.: Мир, 1973.

*В.Н. Волкова*

**ИЕРАРХИЯ** (от греч. *ιєραρχια*) – соподчиненность, любой согласованный по подчиненности порядок объектов.

Иерархическая упорядоченность мира была осознана уже в Древней Греции. Такая упорядоченность наблюдается на любом уровне развития Вселенной: химическом, физическом, биологическом, социальном.

Термин первоначально возник как наименование «служебной лестницы» в религии. Широко применяется для характеристики взаимоотношений в аппарате управления государством, армией и т.д. В дальнейшем концепция иерархии была распространена

на любой согласованный по подчиненности порядок объектов, порядок подчинения низших по должности и чину лиц высшим в социальных организациях, при управлении предприятием, регионом, государством и т.п.

Понятия иерархии, закономерности *иерархичности*, или *иерархической упорядоченности* (см.), было в числе первых закономерностей теории систем, которые выделил и исследовал Л. фон Берталанфи [1]. Он, в частности, показал связь иерархической упорядоченности мира с явлениями дифференциации и негэнтропийными тенденциями, т.е. с *закономерностями самоорганизации* (см. *Самоорганизация*), развития *открытых систем* (см.). Большой вклад в изучение и развитие понятия «иерархия» внес В.А. Энгельгардт [2].

Иерархия реализуется в форме *иерархических структур* (см.) разного рода. В иерархических структурах важно лишь выделение уровней соподчиненности, а между уровнями и между компонентами в пределах уровня могут быть любые взаимоотношения.

- 1. Берталанфи Л. фон. История и статус общей теории систем // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37. 2. БСЭ. Изд. 2-е. – Т. 11. – С. 343. 3. Энгельгардт В.А. О некоторых атрибутах жизни: иерархия, интеграция, узнавание // Вопросы философии. – 1976. – № 7. – С. 65–81. В.Н. Волкова

**ИЗОМОРФИЗМ** – алгебраическое понятие, частный случай гомоморфизма.

Понятие изоморфизма возникло в абстрактной алгебре применительно к алгебраическим системам – группам, кольцам, полям и т.д. Затем стало использоваться в других математических дисциплинах, широко распространилось в *математической логике* (см.), *кибернетике* (см.), *теории систем* (см.).

Пусть имеется множество  $G$ . Говорят, что в этом множестве задана  $n$ -арная ( $n$  – целое неотрицательное число) *алгебраическая операция*  $\omega$ , если любому упорядоченному набору из  $n$  элементов  $a_1, \dots, a_n$  множества  $G$  поставлен в соответствие один определенный элемент этого же множества. Этот элемент обозначим через  $\omega(a_1, \dots, a_n) \in G$ ; он является результатом выполнения алгебраической операции  $\omega$  над элементами  $a_1, \dots, a_n$ . При  $n = 0, 1, 2, 3$  соответственно получаем нульарную, унарную, бинарную и тернарную операции. Сложение, умножение и деление элементов – примеры бинарных операций.

Множество  $G$  называют *универсальной алгеброй*, если в нем задана некоторая система  $\Omega$   $n$ -арных алгебраических операций  $\omega$ , причем для различных операций  $\omega$  числа  $n$  могут быть как различными, так и совпадающими. Кроме того, система операций может быть и бесконечной. Примерами алгебраических систем являются такие алгебраические понятия, как группы, группоиды, кольца и т.п.

Пусть имеются две универсальные алгебры  $G$  и  $G'$ , в которых заданы системы алгебраических операций  $\Omega$  и  $\Omega'$  соответственно. Будем считать, что существует такое взаимно однозначное соответствие между системами  $\Omega$  и  $\Omega'$ , при котором любая операция  $\omega \in \Omega$  и соответствующая ей операция  $\omega' \in \Omega'$  будут  $n$ -арными с одним и тем же  $n$ . Иными словами, считается, что в данных двух алгебрах задана система операций одного и того же типа.

*Изоморфизмом* двух универсальных алгебр  $G$  и  $G'$  называется взаимно однозначное отображение  $\varphi$  алгебры  $G$  и  $G'$ , при котором равенство

$$\varphi[\omega(a_1, \dots, a_n)] = \omega(\varphi[a_1], \dots, \varphi[a_n])$$

имеет место для всех элементов  $a_1, \dots, a_n \in G$  и любой  $n$ -арной операции  $\omega \in \Omega$ . При этом алгебры  $G$  и  $G'$  называют *изоморфными*.

Изоморфизм алгебр означает, что с алгебраической точки зрения они «устроены» одинаковым образом. Если сравнить приведенное определение изоморфизма с *гомоморфизмом* (см.), то легко заметить, что первое понятие есть частный случай второго, когда отображение  $\varphi$  является не просто однозначным, но взаимно однозначным.

Отношение изоморфизма рефлексивно, симметрично и транзитивно, так что можно говорить о классах эквивалентности изоморфных систем.

- 1. Бурбаки Н. Алгебра: пер. с франц. / Н. Бурбаки. – М.: Физматгиз, 1962. 2. Гастев Ю.А. Изоморфизм / Ю.А. Гастев // Философская энциклопедия; т. 2. – М., 1962. 3. Курош А.Г. Лекции по общей алгебре / А.Г. Курош. – М.: Наука, 1973. 4. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 81. 5. Эшби У.Р. Введение в кибернетику: пер. с англ. / У.Р. Эшби. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959.

*В.Д. Ногин*

**ИМИТАЦИОННОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** – принятое в настоящее время название метода системной динамики (System Dynamics), основы которого разработаны профессором Дж. Форрестером (США) в 50-х гг. XX в. [5, 6].

Первоначальное название System Dynamics не совсем точно отражает сущность метода, так как при его использовании имитируется поведение моделируемой системы во времени с учетом внутрисистемных связей. Поэтому в ряде зарубежных работ в последние годы метод все чаще называют System Dynamics Simulation Modeling, и мы будем также называть его более правильно – имитационное динамическое моделирование (ИДМ).

*Основные принципы и понятия ИДМ.* Любую систему можно представить в виде сложной структуры, элементы которой тесно связаны и влияют друг на друга различным образом. Связи между элементами могут быть разомкнутыми и замкнутыми (или контурными), когда первичное изменение в одном элементе, пройдя через контур обратной связи, снова воздействует на этот же элемент. Так как реальные системы обладают инерционностью, в их структуре имеются элементы, определяющие запаздывание передачи изменения по контуру связи.

При использовании ИДМ строится модель, адекватно отражающая внутреннюю структуру моделируемой системы; затем поведение модели проверяется на ЭВМ на сколь угодно продолжительное время вперед. Это дает возможность исследовать поведение как системы в целом, так и ее составных частей. ИДМ использует специфический аппарат, позволяющий отразить причинно-следственные связи между элементами системы и динамику изменений каждого элемента. Модели реальных систем обычно содержат значительное число переменных, поэтому их имитация осуществляется на ЭВМ. Описывают ИДМ с помощью специализированного языка моделирования DYNAMO, формальное описание которого приведено в [1]. Символика, принятая здесь, соответствует основным обозначениям этого языка. При построении ИДМ используются следующие понятия и определения.

*Диаграмма причинно-следственных связей* – графическое изображение причинно-следственных связей между элементами, составляющими моделируемую систему. Причинно-следственная связь отражает отношения между отдельными элементами системы, как между причиной и следствием. Она обозначается стрелкой, направленной от причины к следствию. Связь может быть

положительной (когда изменение причины вызывает аналогичное изменение следствия) и отрицательной (изменение причины вызывает противоположное изменение следствия). Полярность связи обозначается знаком «+» или «-» у соответствующей стрелки (рис. 1).

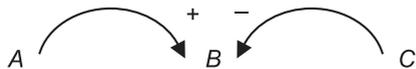


Рис. 1

Две последовательно соединенные отрицательные связи образуют в итоге положительную связь, то есть  $A \rightarrow \bar{B} \rightarrow \bar{C}$  аналогично (в смысле связи между  $A$  и  $C$ )  $A \rightarrow^+ C$ , а связь  $A \rightarrow^+ B \rightarrow \bar{C}$  аналогична  $A \rightarrow \bar{C}$ .

Причинно-следственные связи могут образовывать замкнутые однонаправленные контуры, то есть контуры положительной или отрицательной обратной связи. Например, рассмотрим левый контур на рис. 2.

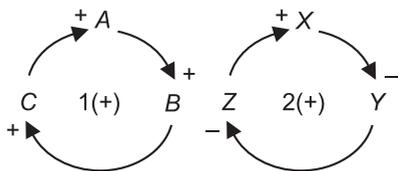


Рис. 2

Увеличение  $A$  вызывает рост  $C$ , а рост  $C$ , в свою очередь, вызывает рост  $A$  и т.д. Другой пример положительной обратной связи – правый контур на том же рисунке. Увеличение  $X$  вызывает уменьшение  $Y$ . Это, в свою очередь, вызывает увеличение  $Z$ , так как связь  $Y \rightarrow Z$  отрицательная, а рост  $Z$  вызывает дальнейшее увеличение  $X$ . Полярность контура обозначена знаком «+» в скобках внутри контура. Примеры контуров отрицательной обратной связи приведены на рис. 3. В левом контуре 1 увеличение  $A$  вызывает уменьшение  $B$ . Уменьшение  $B$  вызывает уменьшение  $C$ , так как они связаны положительной связью, при которой изменение (уменьшение) в причине ( $B$ ) вызывает аналогичное изменение (уменьшение) в следствии ( $C$ ). Аналогично уменьшение  $C$  вызывает уменьшение  $A$ , т.е. реакция контура направлена на то, чтобы компенсировать начальное увеличение  $A$ . Подобным же образом прослеживается поведение второго контура.

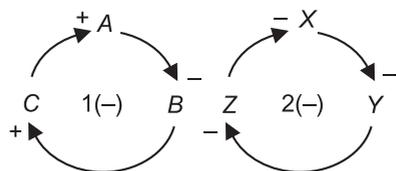


Рис. 3

Можно предложить следующее правило определения полярности контуров обратной связи. Если в контур входит четное число отрицательных причинно-следственных связей или их вообще нет в нем, то это контур положительной обратной связи; если в контур входит нечетное число отрицательных причинно-следственных связей, то это контур отрицательной обратной связи. При этом полярность причинно-следственной связи между двумя элементами контура определяется реакцией элемента-следствия на изменение элемента-причины независимо от их связей с другими элементами.

На основе диаграммы причинно-следственных связей моделируемой системы строится диаграмма потоков и уровней – графическое изображение ИДМ в виде уровней и связывающих их потоков (рис. 4).

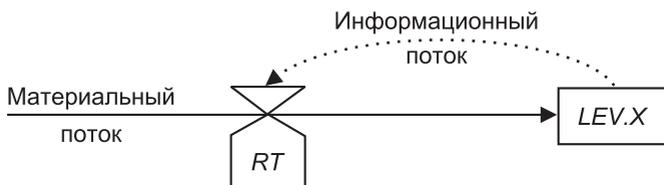


Рис. 4

Уровень – элемент, характеризующий накопление потока. Достигнутый уровень – это, например, уровень числа рабочих, занятых на предприятиях; объем произведенной продукции, хранящейся на складе, и т.п.

Уровень изображается прямоугольником, внутри которого помещают его обозначение  $LEV.X$  и номер уравнения, описывающего динамику уровня. Индекс  $X$  соответствует моменту времени, для которого берется значение уровня  $X+J$ ,  $K$ ,  $L$ . Значение уровня в настоящий момент времени  $K$  равно его значению в пре-

дыдущий момент  $J$  плюс (или минус) изменение уровня за период от момента  $J$  до момента  $K$ .

Поток, вливаясь в уровень или вытекая из него, определяет изменение уровня. Обычные потоки являются материальными (например, поток рабочей силы, поток готовой продукции, поток корреспонденции и т.п.). Кроме того, различают информационные потоки, с помощью которых принимается решение (определяется значение темпа потока на следующий интервал времени  $KL$ ). Обычные потоки обозначаются непрерывными стрелками, информационные – пунктиром. Поток измеряется темпом потока, характеризующим количество переносимого потока ингредиента в единицу времени. В общем случае темп потока обозначается  $RT$ .

Принимается, что темп, определенный в момент  $J$  (или  $K$ ), остается неизменным до момента  $K$  (или  $L$ ). Так как темп действует на протяжении временного интервала  $DT$ , время его действия обозначается двумя индексами, соответствующими началу и концу временного интервала (например,  $RT.JK$  – темп, действующий на протяжении времени от  $J$  до  $K$ ).

Число уровней определяет порядок ИДМ. При построении ИДМ возникает необходимость введения различных промежуточных, вспомогательных по своему назначению элементов, отображающих как промежуточные этапы в процедуре определения уровней и темпов, так и отдельные параметры (например, усредненные величины, запаздывания и т.п.), влияющие на поведение моделируемой системы. Вспомогательные переменные обозначаются окружностью, и их вводят в модель по мере необходимости при построении ИДМ.

Шаг моделирования – это интервал времени, через который вычисляются все параметры модели. Он обозначается  $DT$ ; момент, предшествующий настоящему, –  $L$ , расстояние между ними –  $DT$  (рис. 5).

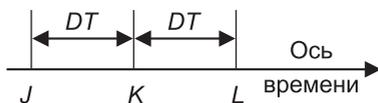


Рис. 5

На протяжении интервала  $DT$  все переменные модели считаются неизменными, определенными в момент времени  $J$  и прини-

мающими новые значения скачкообразно в момент времени  $K$ . Так как некоторые переменные (например, темп потока) характеризуют принятие решений, интервал времени  $DT$  иногда называют интервалом принятия решений, т.е. имеется в виду, что решения, принятые в момент  $J$  (или  $K$ ), определяют значения переменных, которые уже не меняются до момента  $K$  (или  $L$ ).

**Аппарат имитационного динамического моделирования.** Рассмотрим более подробно основные элементы, применяющиеся при построении ИДМ, их формальное описание и характеристики. Обозначения соответствуют общим обозначениям ИДМ.

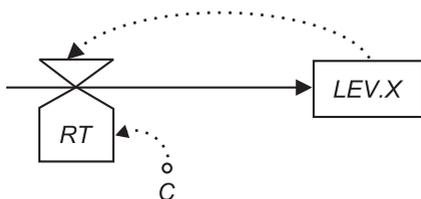


Рис. 6

*Контур положительной обратной связи.* Диаграмма потоков и уровней для элементарного одноуровневого контура положительной обратной связи приведена на рис. 6. Единственный поток с темпом  $RT$  собирается в уровне  $LEV$ . Темп потока прямо пропорционален уровню,  $C$  – константа пропорциональности. В соответствии с приведенными правилами и обозначениями система описывается уравнением

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT.JK, \quad (1L),$$

где  $LEV.K$  – величина уровня в момент  $K$ ;

$LEV.J$  – величина уровня в момент  $J$ ;

$RT.JK$  – темп потока, влияющего в уровень в течение интервала  $DT$  (от момента  $J$  до момента  $K$ ).

Цифра 1 в нумерации уравнения (1L) означает, что это первое уравнение, а буква  $L$  – что это уравнение уровня.

Зададимся начальными условиями

$$LEV = 1.$$

Уравнение темпа

$$RT.KL = C \cdot LEV.K,$$

$$C = 0,2,$$

$$DT = 1.$$

Проведя численное моделирование, получим экспоненциальный рост уровня и темпа (поэтому контур положительной обратной связи иногда называют контуром экспоненциального роста). Темп постоянно увеличивается, так как он пропорционален уровню. Приращение уровня на каждый интервал времени  $DT$  также увеличивается, поскольку оно пропорционально темпу. Значения темпа и уровня экспоненциально растут (рис. 7).

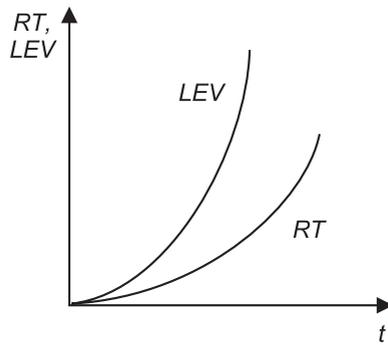


Рис. 7

Аналитически эту систему можно описать следующим образом:

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT.JK$$

или

$$LEV.L = LEV.K + DT \cdot RT.KL,$$

но

$$RT.JK = LEV.J + DT \cdot RT.JK.$$

Подставляя это выражение в предыдущее, получаем

$$LEV.K - LEV.J = C \cdot DT \cdot LEV.J$$

и при  $DT \rightarrow 0$  имеем

$$d(LEV(t)) = C \cdot LEV(t) \cdot dt$$

или

$$d(LEV(t)) / LEV(t) = C \cdot dt.$$

Заменяя  $t$  на  $\tau$  и интегрируя в пределах от нуля до  $t$ , получим

$$\int_{LEV(0)}^{LEV(t)} \frac{d(LEV(\tau))}{LEV(\tau)} = \int_0^t C d\tau,$$

$$\text{т.е. } LEV(t) = LEV(0) \cdot e^{Ct}.$$

Кривая экспоненциального роста характеризуется временной постоянной  $T = 1/C$  и временем удвоения  $T_d$ . Временная постоянная – это время, за которое значение уровня увеличивается в  $e$  раз. Она показывает, как быстро происходит рост в системе с положительной обратной связью. Время удвоения  $T_d$  – это время, за которое начальное значение уровня увеличивается вдвое:

$$T_d = T \cdot \ln 2 \approx 0,69.$$

Поведение системы с положительной обратной связью легко понять из графика зависимости темпа  $RT$  от уровня  $LEV$  (рис. 8).

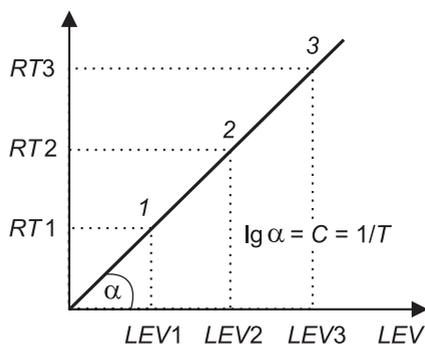


Рис. 8

Любое начальное значение уровня  $LEV1$ , отличное от нуля, дает положительное значение темпа  $RT1$  (точка 1). За интервал времени  $DT$  поток, величина которого определяется этим темпом, вливается в уровень и увеличивает его значение до  $LEV2$  (точка 2). Но этому значению уровня соответствует темп  $RT2$ . За следующий интервал времени  $DT$  уровень вновь увеличивается из-за вливающегося в него потока с темпом  $RT2$  и т.д.

Таким образом, любое начальное возмущение системы с положительной обратной связью вызывает ее рост. В реально существующих системах рост длится до тех пор, пока система может подавлять силы, замедляющие рост. Следовательно, в реальных системах, имеющих контуры положительной и других обратных связей, с течением времени усиливается влияние контролирующих обратных связей так, что они подавляют экспоненциальный рост.

*Системы с отрицательной обратной связью.* Их можно представить как системы, стремящиеся к цели  $GL$ ; при этом чем дальше система от цели, тем большее усилие нужно приложить для ее достижения. Рассмотрим в общем виде элементарный контур отрицательной обратной связи, изображенный на рис. 9.

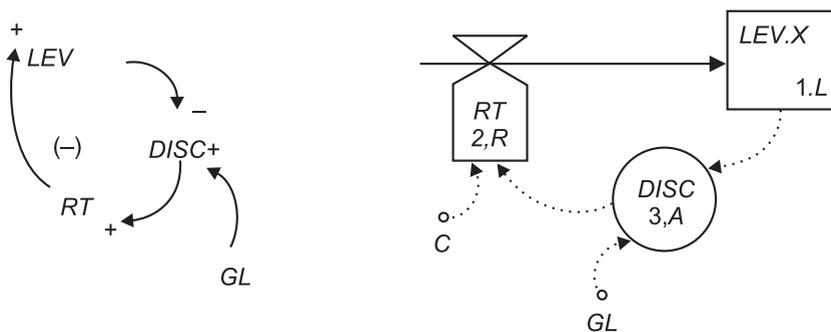


Рис. 9

В отличие от контура положительной обратной связи здесь темп потока зависит от разности между фактическим и желаемым состояниями системы  $DISC$ . В нашем примере желаемое состояние – цель – определяется экзогенно (извне).

Модель описывается следующими уравнениями:

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT.JK,$$

где  $LEV$  – уровень (единиц);  $RT$  – темп (1/время);

$$RT.KL = C \cdot DISC.K,$$

где  $C$  – константа пропорциональности, характеризующая чувствительность системы (1/время);  $DISC$  – разность между целью и уровнем;

$$DISC.K = GL - LEV.K.$$

Для понимания поведения системы рассмотрим график «температура – уровень» (рис. 10). Начальному значению уровня  $LEV1$  (точка 1 на графике) соответствует большое значение темпа  $RT1$ . Поток, темп которого равен  $RT1$ , вливаясь в уровень в течение интервала времени  $DT$ , увеличивает его до значения  $LEV2$  (точка 2 на графике). Этому уровню соответствует темп  $RT2$ . В следующий интервал времени  $DT$  уровень возрастает на меньшую величину, так как  $RT2 < RT1$ , и достигает значения  $LEV3$  (точка 3 на графике). Этому уровню соответствует темп  $RT3$  и т.д. По мере приближения уровня к цели  $GL$  его приращения за каждый следующий интервал времени  $DT$  будут все меньше и меньше. Хотя теоретически они никогда не будут равны нулю, но практически при  $LEV \approx GL$  можно считать  $LEV = GL$  и  $RT = 0$ , т.е. система достигнет устойчивого состояния (цели) и останется в нем. Что произойдет, если систему вывести из этого состояния? Пусть в результате какого-то внешнего воздействия уровень увеличится до значения  $LEV4$  (точка 4 на графике). Этому значению соответствует поток с темпом  $RT4$ , причем темп отрицательный, т.е. имеет место поток, исходящий из уровня. В результате за время  $DT$  уровень уменьшится на какую-то величину и будет уменьшаться до тех пор, пока система вновь не достигнет равновесия в точке  $GL$ .

Выведем аналитический вид уравнения для  $LEV(t)$ :

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT.JK;$$

$$LEV.K - LEV.J = DT \cdot C \cdot (GL - LEV.J).$$

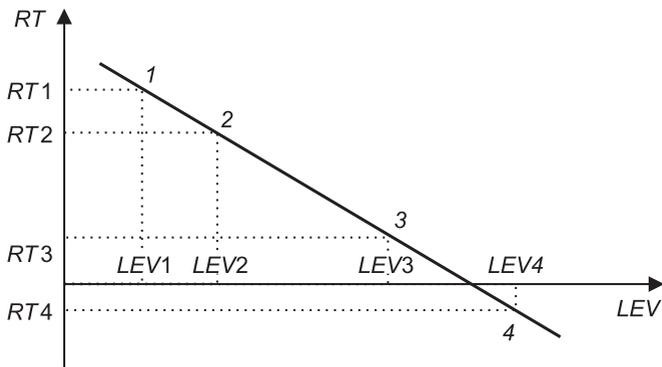


Рис. 10

При  $DT \rightarrow 0$  получим

$$\frac{d(LEV(t))}{GL - LEV(t)} = C \cdot dt.$$

Меняя  $t$  на  $\tau$  и интегрируя в пределах от 0 до  $t$ , имеем:

$$LEV(t) = GL + (LEV(0) - GL) \cdot e^{-Ct};$$

$$LEV(0) + (GL - LEV(0)) \cdot (1 - e^{-Ct}).$$

График поведения элементов контура отрицательной обратной связи во времени представлен на рис. 11.

Характеристикой поведения такого контура является временная постоянная  $T = 1/C$ . За время, равное  $T$ , уровень увеличивается на  $(1 - 1/e)$  разности между целью  $GL$  и достигнутым значением уровня (см. рис. 11):

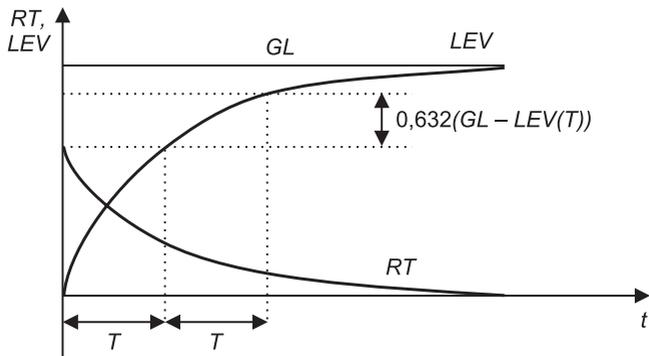


Рис. 11

$$LEV(T) = LEV(0) + (GL - LEV(0)) \cdot (1 - e^{-1}) \approx \\ \approx LEV(0) + 0,0632(GL - LEV(0)).$$

За время  $3T$  значение уровня приблизительно равно  $0,95GL$ , т.е. за это время система с отрицательной обратной связью примерно достигает своей цели.

Характер поведения контура отрицательной обратной связи зависит от величины цели и начального значения уровня. Приведенный на рис. 11 график справедлив для случая, когда  $GL > LEV(0)$ ; если  $GL < LEV(0)$ , то график будет иметь вид, показанный на рис. 12.

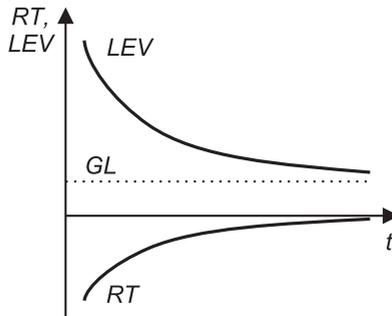


Рис. 12

Когда  $GL=0$ , вид контура причинно-следственных связей и диаграмма «поток–уровень» меняются (рис. 13).

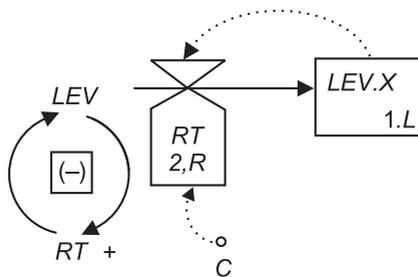


Рис. 13

Эта система описывается следующими уравнениями:

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT.JK;$$

$$RT.KL = -C \cdot LEV.K.$$

Графики «темп–уровень» и зависимости темпа и уровня от времени для такой системы приведены на рис. 14.

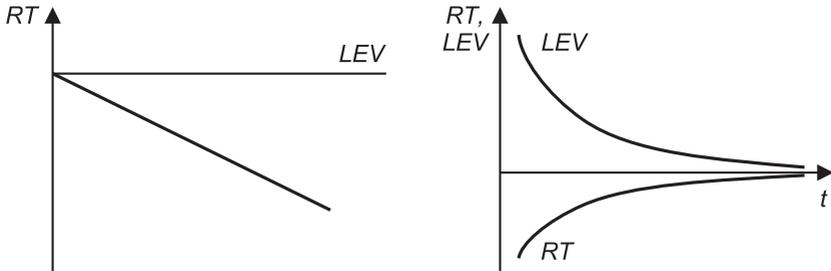


Рис. 14

Аналитическое уравнение уровня для данного случая имеет вид

$$LEV(t) = LEV(0) \cdot e^{-Ct} = LEV(0) \cdot e^{-t/T},$$

где  $T$  – временная постоянная.

За время  $T$  уровень уменьшается в  $e$  раз от начального значения.

Кроме временной постоянной такая система характеризуется временем полужизни  $T_h$  – это время, за которое начальное значение уровня уменьшается вдвое, т.е.

$$LEV(T_h) = \frac{1}{2} LEV(0).$$

Рассмотрим теперь систему с отрицательной обратной связью, имеющую дополнительный постоянный поток с темпом  $RT_2$ , на который система не может оказать влияние.

Диаграмма потоков и уровней для этого случая приведена на рис. 15. Система описывается следующими уравнениями:

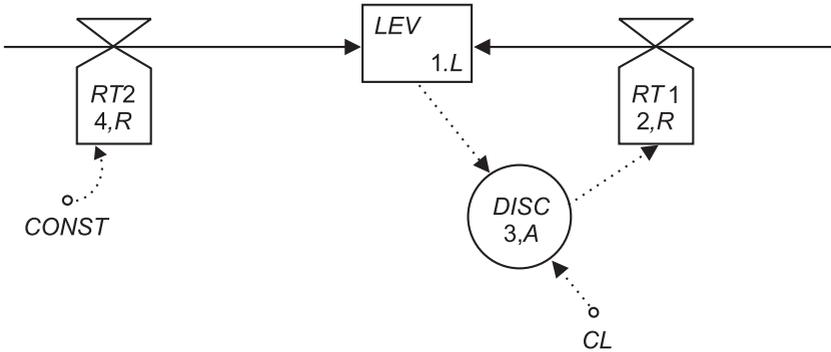


Рис. 15

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot (RT1.JK + RT2.JK);$$

$$RT1.KL = C \cdot DISC.K;$$

$$RT2.KL = CONST;$$

$$DISC.K = GL - LEV.K.$$

Проанализируем поведение такой системы с помощью графика «темп–уровень» (рис. 16). Линия *a* (*RT1*) дает график для системы без *RT2*. Линия *b* (*RT2*) соответствует постоянному входящему потоку *RT2*. Линия *c* (чистый темп *NTRT*) соответствует нашей системе, в которой темп равен сумме *RT1* и *RT2*.

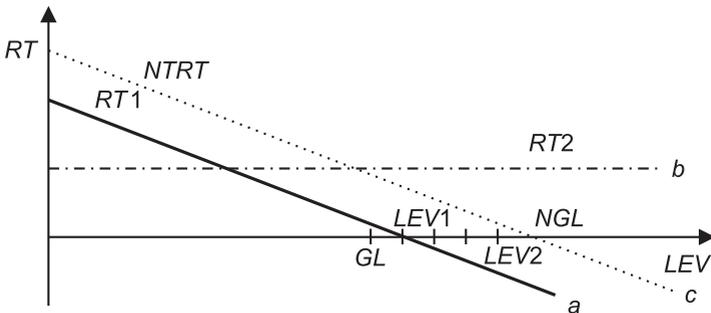


Рис. 16

Предположим, что входящий поток  $RT2$  начинает действовать, когда значение уровня равно целевому. Уровень увеличивается до значения  $LEV1$ , что вызывает исходящий поток  $RT1$ , так как  $LEV1 > GL$ . Однако темп  $RT1$ , соответствующий  $LEV1$ , по абсолютному значению меньше  $RT2$ , т.е. суммарный темп двух потоков будет больше нуля; в результате этого уровень возрастает до  $LEV2$  и т.д. Так будет продолжаться до тех пор, пока темп исходящего потока  $RT1$  не сравняется с темпом входящего потока  $RT2$ . Это произойдет, когда уровень достигнет значения новой цели  $NGL$ , т.е.  $NGL = GL + (1/C) \cdot RT2$ .

Это будет новое равновесие состояния системы. Очевидно, что в данном случае система с отрицательной обратной связью компенсирует входящий постоянный поток при достижении нового равновесного уровня (отличного от прежнего), такого, что соответствующий ему исходящий поток, определяемый системой, равен по величине входящему.

*Структура S-образного роста.* Общий вид кривой S-образного роста, называемой также логистической (или сигмоидальной), показан на рис. 17. Кривая разбивается на две области: экспоненциального роста (типичную для положительной обратной связи) и асимптотического роста (типичную для отрицательной обратной связи).

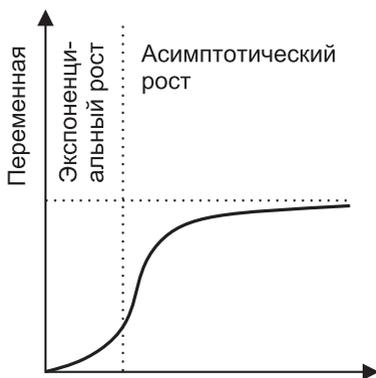


Рис. 17

Характерным примером S-образного роста является рост численности биологических популяций на замкнутой территории или рост производительности однотипного оборудования по мере его

модернизации. Рост такого вида означает, что в системе вначале действует положительная, а затем – отрицательная обратная связь.

Диаграмма потока и уровни элементарной структуры  $S$ -образного роста приведена на рис. 18.

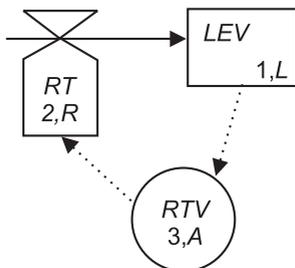


Рис. 18

Поведение  $S$ -образного характера в данном случае обеспечивается специальным способом определения темпа. Величина темпа задается таблично в зависимости от значения уровня  $LEV$ . График «темп–уровень», обеспечивающий  $S$ -образный рост (рис. 19), состоит из двух частей: прямой с положительным наклоном (типичная положительная обратная связь) и прямой с отрицательным наклоном (типичная отрицательная обратная связь). Вначале (до точки перегиба) уровень и темп растут экспоненциально, т.е. как в системе с положительной обратной связью. После точки перегиба темп (хотя и остается сначала положительным) уменьшается по абсолютной величине с ростом уровня. В итоге кривая роста начинает загигаться, асимптотически приближаясь к значению цели. Если значение уровня превысит значение цели, появляется отрицательный поток, возвращающий систему в состояние равновесия (к значению  $LEV = GL$ ). Вообще говоря, структура  $S$ -образного роста имеет две точки равновесия. Первая (при  $LEV = 0$ ) – точка неустойчивого равновесия, так как любое отклонение уровня от нуля усиливается в силу того, что здесь действует положительная обратная связь. Вторая (при  $LEV = GL$ ) – точка устойчивого равновесия, так как здесь отклонение уровня от цели в силу действия отрицательной обратной связи подавляется.



Рис. 19

Приведенная на рис. 18 система описывается следующими уравнениями:

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT.JK;$$

$$RT.KL = RTV.K;$$

$$RTV.K = TABLE(RTT, LEV.K, X_0, X_n, \Delta X);$$

$$RTT = Y_0/Y_1/\dots/Y_n.$$

Уравнение  $RTV$  означает, что  $RTV$  является табличной функцией  $LEV$ , которая меняется в пределах от  $X_0$  до  $X_n$  через  $\Delta X$ . Собственно значения  $RTV$  приводятся в виде таблицы  $RTT$ , содержащей последовательность значений  $Y$ , где  $Y_0$  – значение  $RTV$  при  $LEV = X_0$ ,  $Y_1 = RTV$  при  $LEV = X_1$ , ...,  $Y_n = RTV$  при  $LEV = X_n$ . Временная зависимость уровня и темпа приведена на рис. 20.

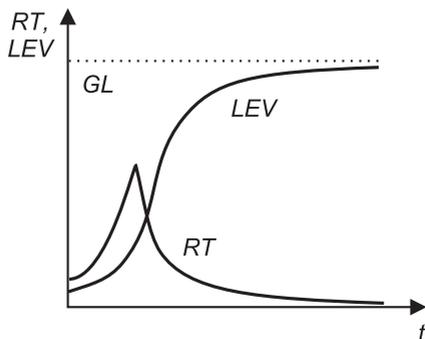


Рис. 20

Необходимо отметить, что любая одноуровневая система, имеющая график «темп–уровень» с изменяющимся знаком наклона, показывает S-образный рост.

*Запаздывания.* В реальных системах всегда возникают запаздывания, связанные с тем, что любое принимаемое решение реализовать мгновенно невозможно, а также с тем, что все процессы в природе, обществе, производстве и т.д. инерционны. Например, от принятия решения о строительстве предприятия до его ввода в строй проходит определенное время, какое-то время проходит и до выпуска первой продукции этим предприятием, ее перевозки к потребителям и т.п. Для отображения этих явлений в ИДМ вводятся специальные элементы запаздывания, упрощенно учитывающие такие процессы. Смысл запаздывания состоит в том, что любой входящий поток появляется на выходе не сразу, а через некоторое время.

Графически это можно изобразить так, как показано на рис. 21.

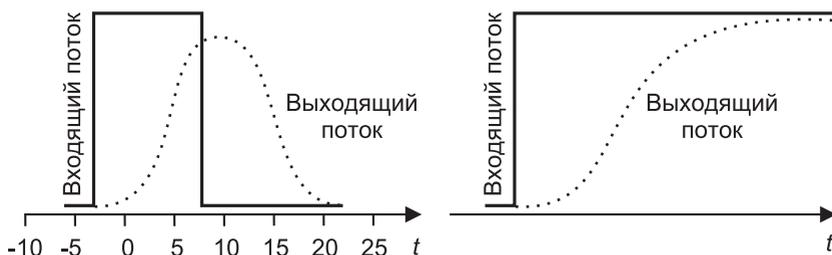


Рис. 21

В терминах ИДМ запаздывания изображаются так, как показано на рис. 22. В сжатой форме их можно представить в виде рис. 23.

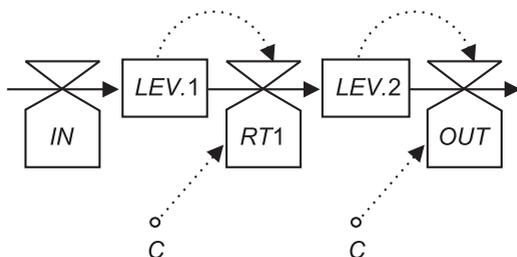


Рис. 22

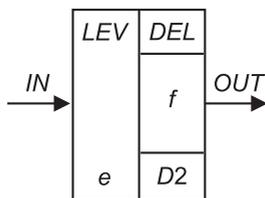


Рис. 23

Запаздывание описывается следующими уравнениями:

$$RT1.KL = \frac{LEV1.K}{DEL/2}; \quad (1)$$

$$LEV1.K = LEV1.J + DT \cdot (IN.JK - RT1.JK); \quad (2)$$

$$OUT.KL = \frac{LEV2.K}{DEL/2}; \quad (3)$$

$$LEV2.K = LEV2.J + DT \cdot (RT1.JK - OUT.JK). \quad (4)$$

Общее количество потока материальных ресурсов, перемещающееся в запаздывании, составляет

$$LEV.K = LEV1.K + LEV2.K = LEV.J + DT \cdot (IN.JK - OUT.JK). \quad (5)$$

Уравнения (1)–(4) в сжатой форме записываются следующим образом:

$$OUT.KL = DELAY2(IN.JK, DEL). \quad (6)$$

Обозначения запаздывания на рис. 22 и 23 расшифровываются так:  $IN$  – входящий в запаздывание поток;  $LEV$  – общее количество потока, находящееся в запаздывании, оно описывается уравнением (5);  $DEL$  – общее время запаздывания, за которое темпы входящего и выходящего потоков сравниваются, а количество материальных ресурсов, находящееся в запаздывании, становится постоянным;  $D2$  – запаздывание второго порядка, то есть имеющее внутри себя два промежуточных уровня. Это же обозначает и индекс 2 в уравнении  $OUT$ ;  $OUT.KL$  – выходящий из запаздывания поток, описываемый уравнением (6).

Приведенные уравнения описывают запаздывание второго порядка. При запаздывании другого порядка число уравнений изменится. Например, для запаздывания третьего порядка будет не четыре, а шесть промежуточных уравнений, а также общие уравнения для *OUT* и *LEV*, т.е. всего восемь уравнений; для запаздывания четвертого порядка – десять и т.д. При этом в уравнениях темпов в знаменателе будет стоять соответственно *DEL/3*, *DEL/4* и т.д. Фактически запаздывание *n*-го порядка представляет собой *n* последовательно соединенных запаздываний первого порядка, или пакет *n* уравнений.

Кроме описанных элементов ИДМ имеются еще и такие, как усреднения, с различными типами которых, а также с различными модификациями описанных выше базовых элементов можно более детально ознакомиться в [2, 3, 4].

**Методика построения и применения ИДМ в управлении.** Весь процесс построения ИДМ можно разделить на следующие этапы:

1) анализ вербального описания моделируемой системы с целью выделения взаимодействий ее отдельных элементов;

2) построение диаграммы причинно-следственных связей (ДПСС), определение полярностей связей и контуров причинно-следственных связей, выделение среди переменных уровней и темпов;

3) построение на основе ДПСС диаграммы потоков и уровней;

4) перевод диаграммы потоков и уровней в математическую форму, т.е. написание уравнений динамики модели;

5) верификация модели (проверка модели на адекватность и приведение ее в соответствие с моделируемой системой).

Адекватная ИДМ используется для проверки результатов предполагаемых управленческих решений и различных альтернатив развития. Однако применение ИДМ в управлении возможно практически на всех этапах моделирования. Так, уже при анализе вербального описания выявляются отдельные логические противоречия алгоритмов функционирования системы, которые можно оперативно устранить. При построении ДПСС в результате идентификации и уточнения этих связей конкретизируется вербальное описание и могут быть определены оперативные меры по улучшению функционирования системы. Диаграмма потоков и уровней и математическое описание модели, которые строятся на основе ДПСС и вербального описания, часто вызывают необходимость корректировок и уточнений, которые могут быть опе-

ративно реализованы в управлении, и т.д. Схема процесса построения и применения ИДМ в управлении дана на рис. 24.

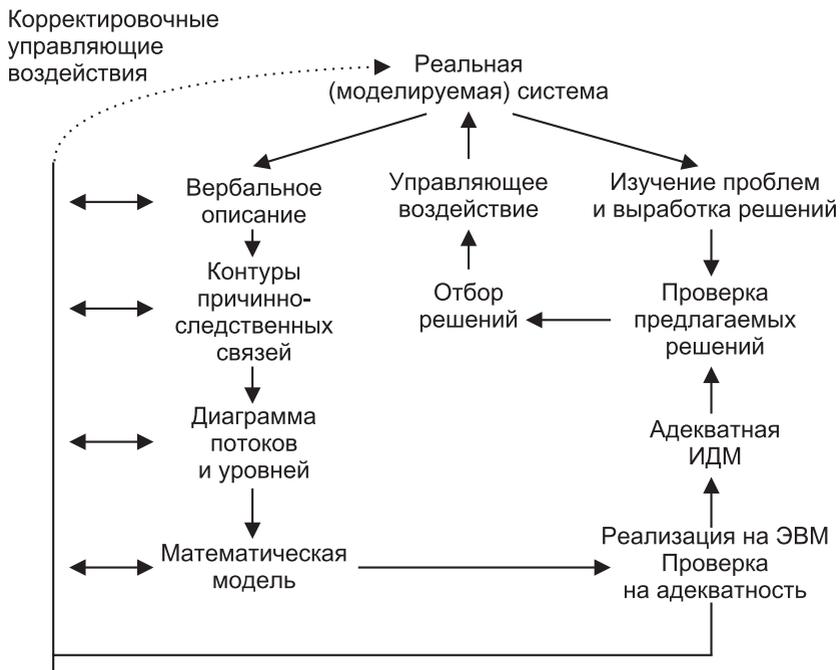


Рис. 24

Задавая различные альтернативы поведения ИДМ, меняя ее уравнения и структуру, можно получить наборы результатов, характеризующих поведение моделируемой системы и последствия, к которым приводят те или иные управленческие решения. Отбирая, например, на основе использования оптимизационных методов одну альтернативу, определяют, каким должно быть управляющее воздействие, приводящее моделируемую систему в оптимальное состояние. Применение ИДМ совместно с АСУ позволяет при определенных условиях построить автоматизированную информационно-советующую систему, которая по запросу пользователя будет в автоматическом режиме формировать различные управленческие решения, отбирать оптимальное решение и информировать о нем пользователя. Более подробно структура и функционирование таких систем рассмотрены в [3, 4].

Наряду с проверкой результатов решений на основе прямого моделирования ИДМ может использоваться для обратного моделирования, т.е. моделирования от заданного состояния в будущем к настоящему. Реализуя этот подход, определяют, какими должны быть показатели функционирования системы сейчас для достижения заданного состояния в будущем и соответственно, что и в каком направлении должно быть изменено. Естественно, что уравнения ИДМ при обратном моделировании определенных элементов ИДМ-контуров положительной и отрицательной обратной связи. Поведение контура положительной обратной связи при прямом моделировании описывается уравнениями:

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT.JK; \quad (7)$$

$$RT.KL = C \cdot LEV.K. \quad (8)$$

При прямом моделировании состояние системы в момент  $K$  определяется состоянием в предыдущий момент  $J$ . При обратном моделировании состояние системы в момент  $K$  должно определяться состоянием в будущий момент времени  $L$ . Учитывая это, а также то, что моделирование идет от будущего к настоящему, необходимо заменить индекс  $JK$  индексом  $KJ$  и  $KL$  на  $LK$ . При этом для параметров, имеющих один индекс, он не меняется. Тогда из уравнения (7) следует:

$$LEV.J = LEV.K - DT \cdot RT.KJ, \quad (9)$$

а из уравнений (8) и (9), в которых поменяем также индексы  $J$  и  $K$  на  $K$  и  $L$  соответственно, получаем:

$$RT.LK = C \cdot LEV.K = C \cdot (LEV.L - DT \cdot RT.LK); \quad (10)$$

$$RT.LK = C \cdot LEV.L / (1 + C \cdot DT) = C \cdot LEV.L / (1 + DT/T).$$

Для контура отрицательной обратной связи:

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT.JK; \quad (11)$$

$$RT.KL = C \cdot DISC.K = C \cdot (GL - LEV.K). \quad (12)$$

Меняя, как и в предыдущем случае, индексы  $JK$  и  $KL$  на  $RJ$  и  $LK$  соответственно, из уравнения (11) получаем

$$LEV.J = LEV.K - DT \cdot RT.KJ, \quad (13)$$

а из уравнений (12) и (13), заменив индексы  $J$  и  $K$  на  $K$  и  $L$  соответственно, имеем:

$$RT.LK = C \cdot (GL - LEV.K) = C \cdot (GL - (LEV/L - DT \cdot RT.LK));$$

$$RT.LK = \frac{C(GL - LEV.L)}{1 - C \cdot DT} = \frac{C(GL - LEV.L)}{1 - DT/T}, \quad (14)$$

где  $T$  – временная постоянная.

Из (14) видно, что обратное моделирование имеет особенности для контура отрицательной обратной связи. Прежде всего, чтобы получить траекторию движения от будущего к настоящему, следует положить  $LEV.L \neq GL$ , так как в противном случае  $RT = 0$  всегда. Если вспомнить аналитический вид уравнения для контура отрицательной обратной связи, то это вполне объяснимо, поскольку теоретически  $LEV$  никогда не достигнет значения  $GL$ . Вторая особенность связана со знаменателем  $1 - C \cdot DT$ . Рассмотрев различные комбинации  $C$  и  $DT$  и проведя для каждого случая прямое моделирование контура отрицательной обратной связи, можно выявить пять областей значений  $DT$ , определяющих характер поведения контура (рис. 25).

При  $C < 1/DT$  (или при  $DT < T$ ) траектория поведения модели – непрерывная, монотонно стремящаяся к цели кривая.

При  $1/DT < C < 2/DT$  (или при  $T < DT < 2T$ ) траектория поведения модели имеет вид затухающих по амплитуде колебаний, стремящихся к цели. Это свидетельствует о том, что модель обладает большой чувствительностью, но она устойчива в смысле достижения цели.

При  $C = 1/DT$  ( $DT = T$ ) обратное моделирование невозможно без применения специальных методик, а траектория поведения прямой модели представляет собой ступеньку, соответствующую мгновенному достижению цели.

При  $C = 2/DT$  ( $DT = 2T$ ) траектория поведения прямой модели имеет вид постоянных по амплитуде колебаний, т.е. модель неустойчива в смысле достижения цели.

При  $C > 2/DT$  ( $DT > 2T$ ) траектория поведения представляет собой возрастающие по амплитуде колебания, т.е. модель неустойчива в полном смысле.

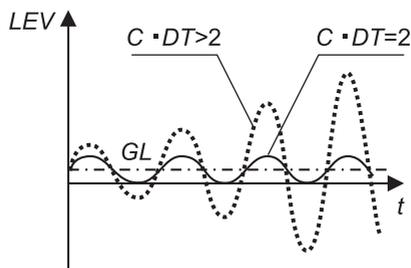
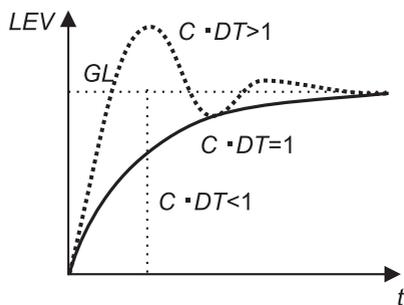


Рис. 25

Таким образом, исследуя обратное моделирование, одновременно получаем критерии устойчивости модели, использование которых позволяет при построении модели правильно выбирать шаг моделирования.

Для реализации имитационного динамического моделирования на ЭВМ используется язык DYNAMO и специально разрабатываемые языки типа предложенного в [4].

- 1. Киндлер Е. Языки моделирования / Е. Киндлер. – М.: Энергоиздат, 1985.
- 2. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983.
- 3. Федотов А.В. Моделирование в управлении вузом / А.В. Федотов. – Л.: ЛГУ, 1985.
- 4. Федотов А.В. Прогнозирование с использованием имитационных динамических моделей / А.В. Федотов, В.О. Лебедев. – Л.: ЛПИ, 1980.
- 5. Форрестер Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978.
- 6. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия / Дж. Форрестер. – М.: Прогресс, 1971.

*А.В. Федотов*

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** – в широком смысле представляет собой целенаправленные серии многовариантных исследований, выполняемых на компьютере с применением математических моделей.

Имеются различные подходы к имитационному моделированию (ИМ) [2–4, 6]. Предлагаются различные классификации имитационных моделей [7, 9] и языков моделирования [2, 7 и др.].

Например, в [5, 8] предлагается многоаспектная классификация, в которой различают модели для *исследования* (на этапе проектирования системы) и для *управления* (в процессе функционирования системы); учитывается ряд признаков: фактор неопределенности, фактор времени, тип связей между моделируемыми переменными и т.п., вид методов моделирования (детерминированные, статистические, дискретные и др.), классы моделей (статические, динамические, непрерывные, нелинейные и т.п.).

С позиции использования компьютерных технологий различают:

1) моделирование как обычные итерационные вычисления, выполняемые с помощью расчетных программ или табличного процессора; такие вычисления можно выполнять и без компьютера, используя «подручные средства»: калькулятор, правила арифметических действий, вспомогательные таблицы;

2) ИМ как разновидность аналогового моделирования, реализуемого с помощью набора математических инструментальных средств, специальных имитирующих компьютерных программ и технологий программирования, позволяющих посредством процессов-аналогов провести целенаправленное исследование структуры и функций реального сложного процесса в памяти компьютера в режиме «имитации», выполнить оптимизацию некоторых его параметров.

В последнее время термин «имитационное моделирование» применяют в основном ко второму способу использования компьютерных технологий.

**Основная терминология.** *Имитационной моделью* называется специальный программный комплекс, который позволяет имитировать деятельность какого-либо сложного объекта. Он запускает в компьютере параллельные взаимодействующие вычислительные процессы, которые являются по своим временным параметрам (с точностью до масштабов времени и пространства)

аналогами исследуемых процессов. В странах, занимающих лидирующее положение в создании новых компьютерных систем и технологий, научное направление Computer Science использует именно такую трактовку ИМ, а в программах магистерской подготовки по данному направлению имеется соответствующая учебная дисциплина.

Имитационная модель отражает большое число параметров, логику и закономерности поведения моделируемого объекта во времени (*временная динамика*) и в пространстве (*пространственная динамика*). Моделирование объектов экономики дополнительно связано с понятием *финансовой динамики* объекта.

Имитационную модель нужно создавать. Для этого необходимо специальное программное обеспечение – *система моделирования* (simulation system). Специфика такой системы определяется технологией работы, набором языковых средств, сервисных программ и приемов моделирования.

Система должна обладать свойствами:

- проведения структурного анализа сложного процесса инструментальными методами;
- способностью моделирования материальных, информационных и денежных процессов в рамках единой модели, в общем модельном времени;
- возможностью введения режима постоянного уточнения при получении выходных данных (временных и пространственных характеристик, параметров рисков, финансовых показателей и др.) и проведении экстремального эксперимента.

Моделирующая система позволяет передавать результаты моделирования, используемые для принятия управленческих решений, из модели в базы данных информационной системы (например, система Pilgrim внедряет для этого в модель интерфейсы ODBC – Open Data Base Connectivity).

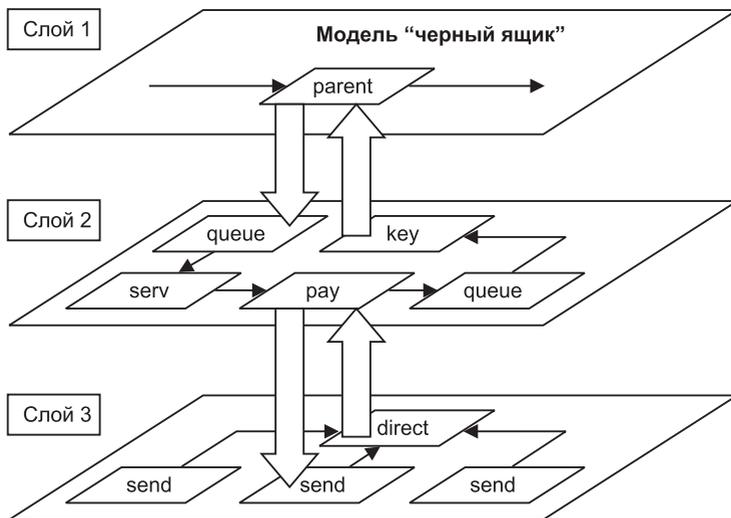
С точки зрения специалиста, создающего модель, ИМ контролируемого процесса или управляемого объекта – это высокоуровневая информационная технология, которая обеспечивает два вида действий, выполняемых с помощью компьютера:

- работы по созданию или модификации имитационной модели;
- эксплуатация имитационной модели и интерпретация результатов.

**Методологические особенности моделирования.** В отличие от других видов и способов математического моделирования с применением компьютеров, ИМ имеет свою специфику: запуск в компьютере взаимодействующих вычислительных процессов, которые являются по своим временным параметрам – с точностью до масштабов времени и пространства – аналогами исследуемых процессов.

ИМ как особая информационная технология состоит из следующих 5 основных этапов.

1. *Структурный анализ процессов.* Проводится формализация структуры сложного реального процесса путем разложения его на подпроцессы, выполняющие определенные функции и имеющие взаимные функциональные связи согласно легенде, разработанной рабочей экспертной группой. Выявленные подпроцессы, в свою очередь, могут разделяться на другие функциональные подпроцессы. Структура общего моделируемого процесса может быть представлена в виде графа, имеющего иерархическую многослойную структуру. В результате появляется формализованное изображение имитационной модели в графическом виде (упрощенный пример показан на рисунке).



Структурный анализ особенно эффективен при моделировании экономических процессов, где (в отличие от технических)

многие составляющие подпроцессы не имеют физической основы и протекают виртуально, поскольку оперируют с информацией, деньгами и логикой (законами) их обработки.

2. *Формализованное описание модели.* Графическое изображение имитационной модели, выполняемые каждым подпроцессом функции, условия взаимодействия всех подпроцессов и особенности поведения моделируемого процесса (временная, пространственная и финансовая динамика) должны быть описаны на специальном языке для последующей трансляции. Для этого существуют различные способы:

- описание вручную на языке типа GPSS, Pilgrim и даже на Visual Basic. Последний очень прост, на нем можно запрограммировать элементарные модели, но он не подходит для разработки реальных моделей сложных экономических процессов, так как описание модели средствами GPSS или Pilgrim компактнее аналогичной алгоритмической модели на Visual Basic в десятки-сотни раз;

- автоматизированное описание с помощью компьютерного графического конструктора во время проведения структурного анализа, т.е. с очень незначительными затратами на программирование. Такой конструктор, создающий описание модели, имеется в составе систем моделирования ReThink и Pilgrim.

3. *Построение модели.* Обычно это трансляция и редактирование связей – сборка модели.

Трансляция осуществляется в одном из двух режимов:

- в режиме интерпретации (характерном для систем типа GPSS, SLAM-II и ReThink);

- в режиме компиляции, увеличивающем быстродействие модели (характерен для системы Pilgrim).

4. *Верификация* (калибровка) параметров модели, выполняемая в соответствии с легендой, на основе которой построена модель, с помощью специально выбранных тестовых примеров.

5. *Проведение экстремального эксперимента* с применением регрессионных моделей (например, второго порядка) для оптимизации определенных параметров реального процесса. Эффективность применения имитационных моделей резко повышается, если разработчик предварительно знаком с методом Монте-Карло, с методологией проведения проверок статистических гипотез, с регрессионным анализом.

**Основные объекты имитационной модели.** Можно выделить не менее шести типов основных объектов, на которых базируется концепция моделирующей системы.

1. *Граф модели*. Все процессы независимо от числа уровней структурного анализа объединяются в виде направленного графа. Пример изображения модели в виде многослойного иерархического графа, полученного при структурном анализе процесса, см. на рисунке.

2. *Транзакт* – это формальный запрос на какое-либо обслуживание, это динамическая единица любой модели. Транзакт в отличие от обычных заявок, которые рассматриваются при анализе моделей массового обслуживания, имеет набор динамически изменяющихся особых свойств и параметров. Пути миграции транзактов по графу стохастической сети определяются логикой функционирования компонентов модели в узлах сети. Транзакт может выполнять следующие функции:

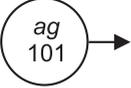
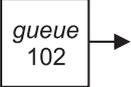
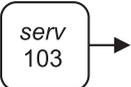
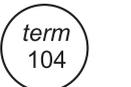
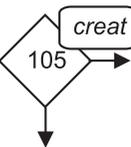
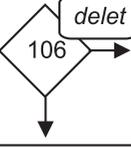
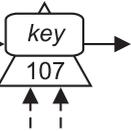
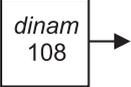
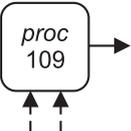
- порождать группы (семейства) других транзактов;
- поглощать другие транзакты конкретного семейства;
- захватывать ресурсы и использовать их некоторое время, а затем освобождать;
- определять время обслуживания, накапливать информацию о пройденном пути и иметь информацию о своем дальнейшем пути и о путях других транзактов;
- мигрировать в модельном пространстве.

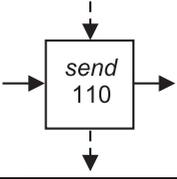
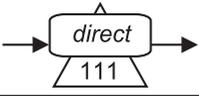
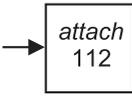
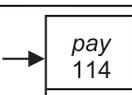
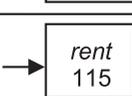
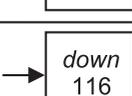
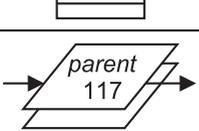
Примеры транзактов: требование на перечисление денег, заказ на выполнение работ в фирме, телеграмма, поступающая на узел коммутации сообщений, приказ руководителя, покупатель в магазине, пассажир транспортного средства, проба загрязненной почвы, ожидающая соответствующего анализа.

3. *Узлы* графа сети представляют собой центры обслуживания транзактов (но необязательно массового обслуживания). В узлах выполняются моделирующие функции, причем с позиции вычислительных процессов в каждом узле порождается независимый процесс. Эти процессы выполняются параллельно и взаимно координируются. Они реализуются в едином модельном времени, в одном пространстве, учитывают временную, пространственную и финансовую динамику. Узлы, как и транзакты, мигрируют в пространстве.

В различных моделирующих системах имеются разные способы представления узлов графа. Например:

- в GPSS узлы называются блоками, причем количество различных типов блоков более сотни (это иногда затрудняет восприятие модели);

Изображение	Функциональное назначение узла
	Генератор транзактов (с бесконечной емкостью)
	Очередь (с приоритетами или без приоритетов)
	Узел обслуживания с многими параллельными каналами
	Терминатор, убирающий транзакты из модели
	Управляемый генератор (размножитель) транзактов
	Управляемый терминатор транзактов
	Клапан, перекрывающий путь транзактам
	Очередь с пространственно-зависимыми приоритетами
	Управляемый процесс (непрерывный или пространственный)

Изображение	Функциональное назначение узла
	Счет бухгалтерского учета (операция типа "проводка")
	Распорядитель финансов (главный бухгалтер)
	Склад перемещаемых ресурсов
	Менеджер (или распорядитель) ресурсов
	Структурный узел финансово-хозяйственных платежей
	Структурный узел выделения ресурсов
	Произвольный структурный узел
	Виртуальный структурный узел

- в Pilgrim имеются 17 типов узлов (функционально они перекрывают возможности блоков GPSS).

Существуют определенные правила обозначения узлов, помогающие «читать» граф модели. Пример таких правил приведен в таблице.

4. *Событием* называется факт выхода из узла одного транзакта. События всегда происходят в определенные моменты времени. Они могут быть связаны и с точкой пространства. Интервалы между двумя соседними событиями в модели – это, как правило, случайные величины. Предположим, что в момент времени  $t$  произошло какое-то событие, а в момент времени  $t+d$  должно произойти ближайшее следующее, но не обязательно в этом же узле. Если в модель включены непрерывные компоненты, то очевидно, что передать управление таким компонентам модели можно только на время, в пределах интервала  $(t, t+d)$ .

Разработчик модели практически не может управлять событиями вручную (например, из программы). Поэтому функция управления событиями отдана специальной управляющей программе-координатору, автоматически внедряемому в состав модели.

5. *Ресурс* независимо от его природы (материальный, информационный, денежный и др.) в процессе моделирования может характеризоваться тремя параметрами: мощностью, остатком и дефицитом. Мощность ресурса – это максимальное число ресурсных единиц, которые можно использовать для различных целей. Остаток ресурса – число не занятых на данный момент единиц. Дефицит ресурса – количество единиц ресурса в суммарном запросе транзактов, стоящих в очереди к данному ресурсу.

6. *Пространство* – это поверхность Земли, декартова плоскость или др. Узлы, транзакты и ресурсы могут быть привязаны к точкам пространства и мигрировать в нем.

**Примеры практического использования имитационных моделей.** На практике ИМ обычно применяется в двух случаях:

- для управления сложным процессом, когда имитационная модель управляемого объекта используется в качестве инструментального средства в контуре адаптивной системы управления, создаваемой на основе информационных (компьютерных) технологий;

- при проведении экспериментов с дискретно-непрерывными моделями сложных объектов для получения и отслеживания

ния их динамики в экстренных ситуациях, связанных с рисками, натурное моделирование которых нежелательно или невозможно.

Анализ литературных источников позволяет привести следующий перечень задач, решаемых средствами ИМ при управлении экономическими объектами:

- анализ функциональных параметров, эксплуатационных свойств и живучести распределенной многоуровневой информационной управляющей системы с учетом неоднородной структуры, пропускной способности каналов связи и физической организации распределенной базы данных в региональных центрах;
- моделирование системы управления ядерным реактором;
- анализ сетевой модели PERT (Program Evaluation and Review Technique) для проектов замены и наладки производственного оборудования с учетом возникновения неисправностей;
- моделирование технологического процесса в промышленности;
- моделирование действий курьерской (фельдъегерской) вертолетной группы в регионе, пострадавшем в результате природной катастрофы или крупной промышленной аварии;
- анализ клиринговых процессов в работе сети кредитных организаций (в том числе применение к процессам взаимозачетов в условиях российской банковской системы);
- моделирование процессов логистики для определения временных и стоимостных параметров;
- управление процессом реализации инвестиционного проекта на различных этапах его жизненного цикла с учетом возможных рисков и тактики выделения денежных сумм;
- бизнес-реинжиниринг несостоятельного предприятия (изменение структуры и ресурсов предприятия-банкрота, после чего с помощью имитационной модели можно сделать прогноз основных финансовых результатов и дать рекомендации о целесообразности варианта реконструкции, инвестиций или кредитования производственной деятельности);
- анализ работы автотранспортного предприятия, занимающегося коммерческими перевозками грузов, с учетом специфики товарных и денежных потоков в регионе.

Приведенный перечень является неполным. Действительная область применения аппарата ИМ не имеет видимых ограничений. Например, спасение американских астронавтов при возникновении аварийной ситуации на корабле APOLLO стало возможным только благодаря «проигрыванию» различных вариантов спасения на имитационных моделях космического комплекса.

Особый класс имитационных моделей составляет *имитационное динамическое моделирование* (см.), предложенное Дж. Форрестером [10]. Для реализации этого вида ИМ используется специализированный язык DYNAMO, в основе которого лежат идеи динамического программирования, либо расширение аппарата системной динамики Форрестера, предложенное в [5].

- 1. Беки Г.А. Моделирование / Г.А. Беки, Д.Л. Герлах // Справочник по системотехнике; под ред. Р. Макола. – М.: Сов. радио, 1970. – С. 522–542.
- 2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978.
- 3. Емельянов А.А. Имитационное моделирование в управлении рисками / А.А. Емельянов. – СПб.: Инжэкон, 2000.
- 4. Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума. – М.: Финансы и статистика, 2002.
- 5. Имитационное динамическое моделирование. – Л.: ЛПИ, 1984.
- 6. Киндлер Е. Языки моделирования / Е. Киндлер. – М.: Мир, 1988.
- 7. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык SLAM-II / А. Прицкер. – М.: Мир, 1987.
- 8. Волкова В.Н. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 220–225.
- 9. Советов Б.Я. Моделирование систем: практикум / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1999.
- 10. Федотов А.В. Моделирование в управлении вузом / А.В. Федотов. – Л.: ЛГУ, 1985.
- 11. Форрестер Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Мир, 1978.
- 12. Шеннон Р.Е. Имитационное моделирование систем: наука и искусство / Р.Е. Шеннон. – М.: Мир, 1978.
- 13. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS / Т. Дж. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1979.

*А.А. Емельянов*

**ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ** (Change Management – управление изменениями) – деятельность, направленная на разработку или использование накопленных и проверенных достижений (знаний, технологий, оборудования, методов организационного управления) для создания производств новых товаров и услуг с новыми качествами, т.е. на создание, внедрение и продвижение на рынок *инноваций*, или *нововведений* разного рода.

Деятельность развивающегося предприятия (организации) связана с непрерывным обновлением действующего оборудования, технологических процессов, применяемых материалов, с совершенствованием процесса организации труда и управления предприятием. Такое непрерывное совершенствование средств, предметов и процесса трудовой деятельности достигается путем разработки и внедрения нововведений (инноваций) в различные

сферы деятельности (обновление товаров, услуг, техники, технологии, методов управления) [2, 5, 6–8 и др.].

В последние двадцать лет неотъемлемой важной чертой современного бизнеса стали организационные изменения [7, 9, 11, 13]. Компании, желающие сохранить свою конкурентоспособность, вынуждены реагировать на действия конкурентов, на растущие запросы потребителей, на возможности, предоставляемые новыми материалами и технологиями производства. На Западе сформировалась и интенсивно развивается специальная дисциплина Change Management.

Концепция управления изменениями охватывает все запланированные, организуемые и контролируемые перемены в области стратегии, производственных процессов, структуры и культуры любой социально-экономической системы, включая частные и государственные предприятия. Среди компонентов «менеджмента изменений» выделяют *экономические* (например, глобализация рынка или его региональная дифференциация), *технологические* (быстрое распространение новых технологий), *политико-правовые* (изменения в законодательстве), *социально-культурные* (демографические сдвиги, изменения в системе ценностей) и *экологические* (климатические условия, нагрузка на экосистему).

На предприятие, стоящее перед необходимостью изменений, большое влияние оказывают *производственные* и *кадровые* параметры.

К первой категории (производственные параметры) относятся стратегические хозяйственные области, организация и ход производственного процесса, организационная культура, применяемая техника, отношения собственности. Среди кадровых параметров наиболее важное значение имеют такие, как психологические способности восприятия изменений членами организации, личные амбиции, возможности профессионального развития, готовность к кооперации.

Как правило, толчком к изменениям являются кризисные ситуации.

Кризисы следует различать по тому, в каких областях они представляют опасность для достижения фирменных целей. Так, кризис ликвидности означает реальную потерю платежеспособности. Поэтому необходимы срочные меры, иначе предприятие будет вынуждено уйти с рынка (например, в результате его продажи с торгов или других ликвидационных процедур).

Кризис успеха характеризуется явным негативным отклонением фактического состояния от запланированного (например, по показателям продаж, денежных поступлений, прибыли, рентабельности, затрат и пр.). Причинами возникновения такого кризиса могут быть ошибки в исследовании рынка, в производстве, капиталовложениях, кадровой политике.

Менее заметным и не столь непосредственным является стратегический кризис. Хотя положение фирмы в данный момент (ситуация успеха) может казаться вполне удовлетворительным, наступление такого кризиса необходимо диагностировать, если происходят сбои в развитии предприятия, снижается потенциал успеха, ослабевают защитные возможности в конкурентной борьбе. Намечающийся разрыв между вероятными и желаемыми результатами может быть ликвидирован лишь путем изменения прежней или принятия новой ориентации (например, выход на новые рынки, продуктовые или технологические инновации). Как правило, такие изменения рассчитаны на многие годы.

*Подходы к управлению изменениями.* Изменения в стратегии, производственных процессах, структуре и культуре могут осуществляться постепенно, в виде мелких шагов или же радикально, в виде крупных скачков. В этой связи соответственно говорят об эволюционной и революционной моделях изменений.

*Революционные изменения в рамках «реинжиниринга хозяйственной деятельности».* В 1993 г. американские специалисты по менеджменту М.Хаммер и Дж.Чампи [12] в основных чертах сформулировали концепцию реинжиниринга бизнеса. По их мнению, хозяйственный реинжиниринг – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование предприятия и его важнейших процессов. Результатом является резкое (на порядок) улучшение важнейших количественно измеряемых показателей издержек, качества, обслуживания и сроков.

Согласно этой концепции речь должна идти о глубинной реорганизации предприятия по всей цепочке создания стоимости. Радикальной реорганизации также подлежит процесс удовлетворения потребностей клиента.

Важной предпосылкой достижения столь амбициозных целей является ориентация на производственный процесс и на клиента, а также творческое использование новейшей информационной технологии на

рабочем месте компетентных сотрудников. Новые решения должны сознательно проводиться в жизнь недемократическим путем. Руководство сосредоточивается в руках немногих лиц, которые наделяются всей необходимой легитимной властью, чтобы энергично и за короткий срок провести намеченные изменения.

В центре любого пересмотра хозяйственного процесса стоит удовлетворение запросов внутренних и внешних клиентов. От стратегии предприятия зависит, что нужно принять в качестве ключевых процессов. Но основное внимание следует уделять лишь немногим из них (например, разработкам новой продукции, интеграции логистики и т.п.).

Вспомогательные процессы должны оптимизироваться не сами по себе, а исключительно с учетом нужд ключевых процессов. По-новому необходимо подходить и к проблематике так называемых точек пересечения интересов.

Особое внимание придается *информационной технологии*. Цель ее внедрения заключается в полной переработке информации о клиентах и о производстве. При этом речь идет о совершенно новых областях применения, а не просто об автоматизации процессов. Благодаря целенаправленному использованию банков данных, экспертных систем, телекоммуникационных сетей можно существенно расширить сферу задач сотрудников.

Более совершенная информационная база не принесет желаемого результата, если не изменить компетенцию персонала, имея в виду не только организационные (обязанности, полномочия), но и чисто квалификационные (возможности, способности, навыки) параметры. Авторы концепции хозяйственного реинжиниринга в этой связи говорят об «уполномоченных» сотрудниках, которые должны стать «профессионалами процесса».

Коренным образом должно быть улучшено сотрудничество персонала (например, в рабочих группах). По мере надобности сотрудник должен иметь средства коммуникации с любым коллегой. Необходимы и другие изменения в области кадрового менеджмента. Так, особенно важна новая база компенсаций (оплаты труда). Систему стимулирования следует ориентировать прежде всего на фактические способности сотрудников, а не на их прежние заслуги.

*Эволюционные изменения в рамках организационного развития.* Под организационным развитием подразумевается концепция планирования, инициирования и осуществления процессов изменения социальных систем с привлечением широкого круга участников. Сторонники эволюционной концепции исходят из того,

что в первую очередь должны меняться взгляды, ценностные представления и модели поведения членов социотехнической системы, а затем – и сама система («организация» в институциональном понимании).

Организационное развитие определяется как долгосрочный, тщательный, всеобъемлющий процесс изменения и развития организации и работающих в ней людей. Процесс основывается на обучении всех сотрудников путем прямого взаимодействия и передачи практического опыта. Цель изменений заключается в одновременном повышении производительности организации и качества труда.

Данное определение уже намечает основные нормативные положения организационного развития. Изменения должны осуществляться членами организации. Внутрифирменные и внешние консультанты (так называемые агенты изменений) могут выступать в качестве вспомогательной силы, но не как основные исполнители изменений. Это выражается в постулате «опора на собственные силы» (без зависимости от экспертов), а также «люди, затрагиваемые переменами, становятся их участниками». Тем самым организационное развитие может содействовать демократизации труда. Излишние иерархические ступени должны ликвидироваться, а властные отношения – сводиться к уровню партнерства с упором на взаимное доверие.

Расширенная концепция организационного развития включает как структурный, так и кадровый аспект. В рамках структурного подхода делается попытка с помощью изменений в организационном регулировании (например, организационных планов, описаний отдельных ролевых функций) создать благоприятные рамочные условия для достижения целей организационного развития. Кадровый подход заключается в проведении мероприятий по повышению квалификации сотрудников (развитию персонала) и стимулированию их готовности к принятию и осуществлению изменений. Несомненно, целевая установка организационного развития (экономическая и социальная эффективность) должна опираться на комбинацию обоих подходов.

Организационное развитие осуществляется в несколько этапов. Вначале происходит «размораживание» социальной системы. Ставятся под вопрос взгляды, ценности и модели поведения членов системы и проводится экспертиза их пригодности для достижения системных целей (производительность, инновационная активность, гуманизация труда). На втором этапе начинается движение к переменам. Новые модели поведения и организационного регулирования испытываются и в ходе обучения персонала закрепляются.

Процессы изменений требуют логического завершения, так как известно, что они могут длиться бесконечно долго. Поэтому необходимы стабилизация и консолидация новых, официально узаконенных моделей поведения и организационных правил. Это происходит на этапе так называемого замораживания процесса изменений.

В рамках концепции организационного развития важно установить, в каком месте организационной иерархии находится исходный пункт для процесса изменений, который в последующем станет всеохватывающим для социальной системы. Рассматриваемая концепция в этом отношении сильно отличается от концепции хозяйственного реинжиниринга. Если для последнего характерно движение «сверху вниз», то концепция организационного развития значительно богаче вариантами. Она допускает не только обратный ход процесса («снизу вверх»), но и его инициирование в нижней и верхней частях иерархии одновременно (так называемая биполярная стратегия).

Процесс изменений может начаться также в нескольких иерархических звеньях, в разных специальных областях и на разных иерархических уровнях (стратегия «многих точек») или, подобно клину, в центре иерархической структуры, постепенно распространяясь на прилегающие пласты социальной системы (стратегия «клина»).

Следует отметить, что метод организационного развития (по крайней мере его наиболее существенные составляющие) находит широкое применение в организационной практике современных предприятий.

*Сопоставление подходов.* Оценка целесообразности использования того или иного подхода зависит от многих факторов. Определяющее значение имеют отношение персонала к переменам и понимание властных полномочий со стороны как управляющего персонала, так и сотрудников. Ситуационная готовность к переменам в соответствии с одной из крайних концепций должна оцениваться в зависимости от вида кризиса, в котором оказалась социальная система.

В условиях кризиса ликвидности организационное развитие не может рассматриваться в качестве серьезной альтернативы хозяйственному реинжинирингу, тогда как принципы и техника первого предоставляют достаточно возможностей для решения проблем при стратегическом кризисе. Особенно важно принять правильное решение относительно выбора подхода в случае кризиса успеха. При этом прежде всего следует учитывать кадровый фактор, а также хозяйственные параметры.

В табл. 1 рассмотренные методы сопоставляются по ряду наиболее важных критериев.

Критерий	Хозяйственный реинжиниринг	Организационное развитие
Происхождение метода	Инженерные науки, консультационная практика по менеджменту	Социальная психология, консультационная практика
Основная идея	Радикальное переосмысление и перепроектирование предпринятий или производственно-хозяйственных процессов	Долгосрочное, всеобъемлющее изменение и развитие организации и ее членов
Принципиальная позиция менеджеров	Мышление дискретными категориями (например, разрыв с прежними структурами). Четкая постановка вопроса "почему нужны перемены". Привлечение к участию убежденных сторонников перемен	Сохранение членов организации на своих местах. Расчет на собственные силы. Привлечение к участию сотрудников, затрагиваемых переменами. Демократизация, ликвидация иерархии
Отношение к персоналу	Предоставление дополнительных полномочий.	Опора на сотрудников, способных к обучению и готовых взять на себя ответственность
Характер изменений	Формирование профессионалов Глубокие и всеохватывающие перемены. Прерывность процесса. Изменения крупными скачками	Длительный процесс обучения и развития. Непрерывность процесса. Изменения мелкими шагами
Сроки реализации проекта	Несколько лет с упором на быстрый успех, изменяемый в количественных показателях	В течение длительного времени с расчетом на терпение и открытость
Объект изменений	Предприятие в целом или ключевые процессы	Предприятие в целом или его части
Цели	Значительное и стабильное повышение рентабельности (экономической эффективности)	Повышение рентабельности (экономической эффективности), гуманизация труда (социальная эффективность)
Вид кризиса	Кризис ликвидности. Кризис успеха	Кризис успеха. Стратегический кризис
Стратегия изменений	Стратегия "сверху вниз"	Стратегия "сверху вниз". Стратегия "снизу вверх". Биполярная стратегия. Стратегия "клина". Стратегия "многих точек"

Методические аспекты	<p>Реорганизация ключевых процессов в соответствии с принятой рыночной стратегией.</p> <p>Адаптация организационных структур и должностных инструкций.</p> <p>Изменения ценностных представлений (например, ориентация на процесс создания стоимости или клиента).</p> <p>Внедрение современной информационной технологии.</p> <p>Развитие персонала и новые методы оплаты труда</p>	<p>Структурный и кадровый подходы (новые формы организационных структур, изменение взглядов и моделей поведения сотрудников, квалификационные мероприятия для отдельных лиц и групп)</p>
Ключевые роли	<p>Лидер ("властный покровитель").</p> <p>"Хозяин процесса" (в роли его куратора).</p> <p>Группа реинжиниринга.</p> <p>Управляющая комиссия (в составе "властного покровителя" и специалистов).</p> <p>"Шеф реинжиниринга" (специалист)</p>	<p>"Агенты изменений" (в составе специалистов и "хозяина процесса" в роли консультанта).</p> <p>"Система клиента" (реорганизуемая область).</p> <p>"Катализатор изменений"</p> <p>("властный покровитель")</p>
Сильные стороны	<p>Возможность радикального обновления.</p> <p>Шансы на явное повышение рентабельности.</p> <p>Быстрога изменений.</p> <p>Концептуальное единство мероприятий.</p> <p>Значительное расширение компетенции специалистов</p>	<p>Социальная приемлемость в связи с естественным ходом изменений.</p> <p>Учет способности к: развитию членов системы.</p> <p>Стимулирование самоуправления и самоорганизации.</p> <p>Долгосрочная перспектива</p> <p>Отсутствие (снижение) сопротивления изменениям</p>
Слабые стороны	<p>Нестабильность в фазе изменений.</p> <p>Ограничения во времени и действиях в связи с желанием быстро улучшить результаты.</p> <p>Низкая социальная приемлемость</p>	<p>Недостаточная скорость реакции.</p> <p>Завышенные требования к социальной компетентии участников процесса организационного развития.</p> <p>Необходимость поиска компромиссов.</p> <p>Недостаточная возможность реализации непопулярных, но необходимых решений</p>

Основополагающая идея каждого из методов изменений определяет ролевые функции участников процесса. Представитель власти (при хозяйственном реинжиниринге – лидер, при организационном развитии – «катализатор перемен») в силу высокого положения в организационной иерархии легитимирует процесс изменений, обеспечивает необходимые ресурсы, снимает системные барьеры. В рамках хозяйственного реинжиниринга высший менеджмент берет на себя роль мощного инициатора перемен. При организационном развитии «катализатор перемен» может ускорять или замедлять (что случается чаще) процесс изменений.

Функция ответственных за исполнение процесса (при хозяйственном реинжиниринге – «хозяин процесса», при организационном развитии – «агент изменений») состоит в том, чтобы сформировать проектную группу, предотвратить бюрократическое вмешательство, а также непосредственно вдохновлять и мотивировать участников. На них возлагается и функция главных координаторов. Они обеспечивают информацию о ходе перемен.

Роль специалистов (соответственно «шеф реинжиниринга» и «агент изменений» в сочетании с «системой клиента») заключается в обеспечении инструментария изменений. Сюда можно отнести обучение технике изменений (анализ процесса, техника творческого подхода, упражнения в составе групп и пр.), а также приложение конкретных знаний к проблемным решениям. В рамках организационного развития специальные знания не монополизированы «агентом изменений», к сотрудничеству сознательно привлекаются силы «системы клиента», т.е. сотрудники перестраиваемой области. Все участники процесса, безусловно, должны эффективно сотрудничать и работать в атмосфере свободы.

***Дифференцированное и интегрированное управление изменениями.*** Анализ показывает, что управление изменениями может применяться в самых разнообразных ситуациях и обретать самые разные формы осуществления. Важной областью дальнейших исследований становятся связи, которые могут возникать между внутри- и внефирменными условиями, кадровыми параметрами организации, разными видами кризисов, основными инструментами управления изменениями. Необходимо прежде всего четко выявить эти связи, а затем сделать эмпирически обоснованные оценки адекватности состояния предприятия и инструментария реализации перемен.

Между крайними формами изменений – хозяйственным реинжинирингом и организационным развитием – лежит ряд промежуточных вариантов. Они могут отличаться степенью участия членов организации и свободы действия высшего менеджмента в осуществлении перемен. В зависимости от этого делается акцент на экономической и/или социальной эффективности. Вид кризиса определяет срочность перемен и тем самым – степень их радикальности.

Успешное применение того или иного метода существенно зависит от мероприятий в области кадрового менеджмента. Наряду с мерами по сохранению занятости нельзя игнорировать и дифференцированные концепции сокращения персонала. Руководители программы перемен должны решать проблемы занятости, не нанося морального ущерба увольняемым и стремясь обеспечить их использование на рынке труда. Цель управления изменениями – не в сокращении персонала, а в раскрытии и реализации его потенциала для повышения конкурентоспособности предприятия.

**Стратегии осуществления изменений.** В данном случае речь идет о стратегиях осуществления выбранной стратегии развития корпорации. Процесс осуществления – это именно стратегия, а не некоторая последовательность действий, характеризующая выполнение обычной работы, так как идет речь: 1) о длительном системном процессе, затрагивающем всю организацию и интересы многих людей; 2) о выборе из различных альтернатив; 3) о процедурах оперирования с мягкими, неопределенными проблемами.

Подход к осуществлению изменений при реализации стратегии может зависеть от таких факторов, как: темп осуществления изменения; степень управления со стороны менеджеров; использование внешних агентств, например консалтинговых; центральное или местное сосредоточение сил.

Стратегия изменений – это тот или иной подход, выбранный в зависимости от обстоятельств, который учитывает описанные факторы. Не существует какой-либо одной, универсальной оптимальной стратегии изменения. Одним из наиболее важных параметров при осуществлении изменения является скорость его проведения. Этот параметр использовался в качестве основного при выборе стратегии. Такой подход к выбору стратегии получил название «стратегического континуума». Табл. 2 показывает, как скорость изменения связана с организационной политикой.

Т а б л и ц а 2

Стратегический континуум (по Коттеру и Шлезингеру, 1989)	
Быстрее ←-----→Медленнее	
Четко спланированное изменение. Незначительное привлечение других. Попытка преодолеть любое сопротивление	Нечеткое спланированное изменение. Значительное привлечение других. Стремление свести к минимуму любое сопротивление

Предполагается, что имеющиеся в распоряжении менеджера варианты попадают в область стратегического континуума. На одном конце континуума стратегия изменения требует быстрого осуществления изменений, четкого плана действий и незначительного привлечения других специалистов. Этот тип стратегии позволяет преодолевать любое сопротивление и в результате должен привести к исполнению задуманного. На другом конце континуума стратегия требует гораздо более медленного процесса изменения, менее четкого плана действий и привлечения, помимо специалистов, других работников. Этот тип стратегии предназначен для сведения сопротивления к минимуму.

Чем дальше мы продвигаемся по континууму влево, тем сильнее наблюдается тенденция к принуждению и тем меньше стремление использовать другие подходы (стратегии), особенно участие.

Все разнообразие стратегий можно объединить в пять групп (разумеется, возможны какие-то промежуточные гибкие формы стратегии). В табл. 3 (по Торли и Уирдениусу, 1983) рядом с каждой стратегией кратко описываются используемый подход и способы, с помощью которых это изменение может быть реализовано.

Не существует какой-либо одной, универсально оптимальной стратегии изменения. Оптимальной же стратегией является та, которая сочетает в себе мероприятия стратегий, приведенных в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Стратегии изменений	Подход	Примеры
Директивная стратегия	Навязывание изменений со стороны менеджера, который по второстепенным вопросам может «торговаться»	Навязывание соглашений по оплате, изменение порядка работы (напр., норм, расценок, расписания работы) в приказном порядке
Стратегия, основанная на переговорах	Признание законности интересов других участвующих в изменениях сторон, возможность уступок в процессе осуществления	Соглашения по производительности, соглашение с поставщиками по вопросам качества
Нормативная стратегия	Выяснение общего отношения к изменению, частое использование внешних агентов по изменениям	Ответственность за качество, программа новых ценностей, работа в команде, новая культура, ответственность служащего

Стратегии изменений	Подход	Примеры
Аналитическая стратегия	Подход, основанный на четком определении проблемы, сбор, изучение информации, использование экспертов	Проектная работа, например: <ul style="list-style-type: none"> <li>• по новым системам оплаты;</li> <li>• по использованию станков;</li> <li>• по новым информационным системам</li> </ul>
Стратегия, ориентированная на действие	Общее определение проблемы, попытка найти решение, которое модифицируется в свете полученных результатов, большее вовлечение заинтересованных людей, чем при аналитической стратегии	Программа мер по снижению количества прогулов и некоторые подходы к вопросам качества

Примером такого подхода к управлению изменениями является модель Л. Гейнера, которая состоит из шести элементов.

1. *Давление и побуждение* (необходимость изменений может вызываться как внутренними, так и внешними факторами; чувство необходимости перемен должно побудить руководителей к готовности их проведения).

2. *Посредничество* (необходимость привлечения внешних консультантов, способных объективно оценить ситуацию и провести изменения).

3. *Диагностика и осознание* (сбор информации на всех уровнях управления; делегирование полномочий по диагностике и принятию решений, что уменьшает возможности будущего сопротивления изменениям).

4. *Нахождение нового решения* (поиск нестандартных решений; отбрасывание старых решений к новым проблемам; достижение их поддержки сотрудниками).

5. *Эксперимент и выявление* (необходимо с помощью различных экспериментов выявить возможные отрицательные последствия изменений и проведение корректировок; эксперимент дает дополнительную подготовку для проведения процесса изменений).

6. *Подкрепление и согласие* (должная мотивация людей, чтобы они приняли проводимые изменения: поощрения, вовлечение в

процесс проведения изменений; убеждение людей в том, что изменение выгодно как организации, так и им лично).

В теории инновационного менеджмента исследуются причины сопротивления изменениям, предлагаются методы преодоления сопротивлений.

Американские исследователи Дж. Коттер и Л. Шлезингер предложили систематизацию причин сопротивления, позволяющую в первом приближении выяснить, какие группы и индивиды будут сопротивляться стратегическим изменениям, и выявить причины этого сопротивления. Основные результаты их исследования изложены в табл. 4.

Таблица 4

Причина	Результат	Реакция
Эгоистический интерес	Ожидание личных потерь чего-то ценного в результате изменений	«Политическое поведение»
Неправильное понимание целей стратегии	Низкая степень доверия менеджерам, излагающим план изменений	Слухи
Различная оценка последствий осуществления стратегии	Неадекватное восприятие планов; возможность существования других источников информации	Открытое несогласие
Низкая терпимость к изменениям	Опасения людей, что они не обладают необходимыми навыками или умениями	Поведение, направленное на поддержание собственного престижа

А. Хьюз выделяет факторы преодоления сопротивления изменениям, Дж. Коттер и Л. Шлезингер предлагают следующие методы преодоления сопротивления изменениям (см. табл. 5) [7].

Таким образом, управление изменениями – это процесс постоянной корректировки направления деятельности организации, обновления ее структуры и поиска новых возможностей. Ситуация на рынке может измениться за ночь. Постоянно возникают и распадаются совместные предприятия, всевозможные альянсы, союзы. Предприятие должно постоянно следить за основными компонентами окружающей системы (экономическими, технологическими, политико-правовыми, социально-культурными и др.) и делать выводы относительно своих потребностей в переменах.

Таблица 5

Метод	Область применения	Преимущества	Недостатки
Образование + общение	При недостаточном объеме информации или неточной информации и анализе	Если удалось убедить людей, то они часто будут помогать при осуществлении изменений	Требует очень много времени, если вовлекается большое число людей
Участие + вовлечение	Инициаторы изменений не обладают всей информацией, необходимой для планирования изменений, а другие имеют значительные силы для сопротивления	Люди, которые принимают участие, будут испытывать чувство ответственности за осуществление изменений, и любая соответствующая информация, которой они располагают, будет включаться в план изменений	Может потребовать много времени, если участники организуют не то изменение
Помощь + поддержка	Люди сопротивляются изменениям из-за боязни проблем адаптации к новым условиям	Ни один подход не срабатывает так хорошо при решении проблем адаптации к новым условиям	Дорогостоящий, требует большого количества времени и тем не менее может потерпеть неудачу
Переговоры + согласие	Отдельный служащий или группа явно теряют что-то при осуществлении изменений, но группа обладает значительными силами для сопротивления	Сравнительно простой (легкий) путь избежать сильного сопротивления	Может стать слишком дорогостоящим, если ставится цель добиться согласия только путем переговоров
Манипуляция + кооптация	Другие тактики не срабатывают или являются слишком дорогостоящими	Может быть сравнительно быстрым и недорогим решением проблем сопротивления	Может привести в будущем к возникновению проблем, если люди почувствуют, что ими манипулируют
Явное и неявное принуждение	Необходимо быстрое осуществление изменений, а инициаторы изменений обладают значительной силой	Отличается быстротой и позволяет преодолеть любой вид сопротивления	Рискованный способ, если люди останутся недовольны инициаторами изменений

Изменения в стратегии, в производственных процессах, структуре и культуре могут осуществляться с помощью эволюционной и революционной моделей изменений, разнообразных стратегий (см. табл. 1).

В 90-е гг. XX в. стали развиваться интегрирующие инновации, в том числе в масштабах города, региона, государства [1, 3, 4, 10 и др.].

Успешная реализация стратегии в организации всегда характеризуется умелым применением ряда подходов, часто в самых различных сочетаниях. Однако успешное осуществление характеризуется двумя особенностями: менеджеры используют эти подходы с учетом их достоинств и недостатков и реалистично оценивают ситуацию, ориентируясь на достижение целей организации и знания принципов организации, мотивации, лидерства, удовлетворения от работы.

Инновационная деятельность базируется на инновационных технологиях, представляющих собой совокупность методов, средств и мероприятий, обеспечивающих реализацию нововведений. Инновационная деятельность требует инвестиций, и поэтому в последнее время обычно пользуются термином *инновационно-инвестиционный процесс*.

В настоящее время в нашей стране сложилась новая область знаний – *инноватика*, охватывающая вопросы методологии и организации инновационной деятельности. Организована подготовка менеджеров инноватики двух типов [4]:

руководитель инновационного проекта, обеспечивающий получение заказа на перспективный проект производства конкурентоспособных товаров и услуг, подбор исполнителей и реализацию проекта, включая организацию производств и обучение персонала;

руководитель инфраструктурного подразделения инноватики – ученый-организатор, специалист-системотехник, способный создавать и развивать наукоемкие инновационно-инвестиционные инструментальные средства и подразделения на базе современных компьютерных систем, информационного, финансового и организационного сопровождения, обеспечивающие эффективную работу руководителей инновационных проектов.

Предприятие должно постоянно следить за основными компонентами окружающей системы и делать выводы относительно своих потребностей в переменах. В то же время, учитывая ограниченность ресурсов, при внедрении нововведений возникает за-

дача определения их приоритетности и очередности внедрения. При решении этой задачи следует учитывать особенности инноваций и условия их внедрения.

Трудности оценки эффективности нововведений связаны с тем, что большинство из них не имеет аналогов и предьстории развития, а следовательно, для них характерно отсутствие статистических данных, необходимых для проведения традиционных расчетов экономической эффективности. Кроме того, нововведения, как правило, вступают в противоречие со стремлением получить как можно больший доход в короткие сроки. Следует также иметь в виду, что часто нововведения – не одноразовые мероприятия, они носят длительный характер, причем одновременно может внедряться несколько нововведений.

Поэтому для оценки и определения очередности внедрения нововведений разрабатывают и применяют *методы организации сложных экспертиз* (см.).

- 1. Акимов А. А. Инновационно-инжиниринговые задачи структурной перестройки экономики: Организационно-технический и системный аспекты / А. А. Акимов, Г. С. Гамидов, В. Г. Колосов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997.
- 2. Битунов В. В. Новая техника и эффективность производства / В. В. Битунов, Ю. А. Гушунов. – М.: Московский рабочий, 1976.
- 3. Васильев Ю. С. Стратегия интегрирующих инноваций / Ю. С. Васильев, В. Г. Кинелев, В. Г. Колосов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998.
- 4. Васильев Ю. С. Интегрирующие инновации Санкт-Петербурга / Ю. С. Васильев, В. Г. Колосов, В. А. Яковлев. – СПб.: Политехника, 1998.
- 5. Гребнев Е. Т. Управление нововведениями / Е. Т. Гребнев. – М.: Экономика, 1995.
- 6. Зуб А. Т. Стратегический менеджмент: теория и практика; учеб. пособие для вузов / А. Т. Зуб. – М.: Аспект Пресс, 2002.
- 7. Колеман Д. Управление изменениями / Д. Колеман, А. Фармер. – Жуковский, 1992.
- 8. Корнилов В. В. Проектирование и планирование в практике управления российскими предприятиями / В. В. Корнилов // Социологические исследования. 2002. № 12, С. 18–22.
- 9. Нововведения в организациях / Тр. семинара. – М.: ВНИИ системных исследований, 1983.
- 10. Стратегия совместного инновационного развития государств-участников СНГ / Под ред. В. Г. Колосова и Н. Я. Павлюка. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998.
- 11. Том Н. Управление изменениями / Н. Том // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 1. – С. 32–37.
- 12. Hammer M. Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution / M. Hammer, J. Champy. – N.Y.: Harper Business, 1993. (Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг бизнес-процессов. – М.: Инфра-М, 2000).
- 13. [www.e-executive.ru](http://www.e-executive.ru); [www.top-manager.ru](http://www.top-manager.ru).

В. А. Баринов

**ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ** – системы научно-технической информации (НТИ), которые за рубежом первоначально формировались как центры ее анализа, постепенно укрупняемые путем объединения

родственных центров, а в нашей стране создавались сразу как интегральные комплексы, ставящие своей задачей преодоление дублирования работы по индексированию, хранению и обработке НТИ.

*Центры анализа информации.* По мере осознания роли информации как важнейшего ресурса развития общества и исследования ее основных особенностей, в том числе таких, как тиражируемость и многократность использования, старение и нередко связанное с этим «загрязнение» (pollution) информационного пространства, неаддитивность, некоммуникативность, кумулятивность, зависимость реализуемости и эффективности от степени использования информации и т.п., все больше осознавалась необходимость работ по систематизации, оценке и обобщению информации. Поэтому в 60-е гг. XX в. стали создаваться центры анализа информации.

Термин «Information Analysis Center» (IAC) был предложен Дж. Симпсоном (США) в 1964 г. В 1967 г. при консультативном Комитете по научно-технической информации президента США была создана Секция по центрам анализа информации (Panel of IAC). Эквивалентом этому термину в немецком языке служит Wissensbewertungsstelle (центр по оценке знаний), а во французском – Centre d'analyse de l'information.

В практике создания таких центров сложились 2 их вида, занимающиеся:

- сбором, индексированием, хранением, поиском и распространением информации;
- содержательной оценкой и интерпретацией научной информации.

К числу центров первого вида относят: научно-технические библиотеки; издательства, торговые ассоциации или профессиональные организации, занимающиеся изданием и распространением научных книг и журналов; информационные центры, занимающиеся подготовкой библиографических и реферативных изданий; центры, занимающиеся сбором, хранением и распространением документальной информации по собственной инициативе или по запросам потребителей.

Центры второго вида являются по сути научными учреждениями и организациями, занимающимися оценкой и обобщением информации. Такие центры создавались по отдельным отраслям фундаментальной науки (биология, физика, химия, науки об окружающей среде) или даже по научным направлениям.

Сначала центры организовывали независимо, часто дублируя работу друг друга. Например, в США к середине 60-х гг. XX в. было создано более 100 центров разного вида, причем иногда по нескольку в одной и той же области знаний (см. табл. в [5, С. 329]). Затем стала наблюдаться тенденция к их объединению. Так:

- в 1965 г. Министерство здравоохранения, образования и социальной политики США объединило 18 ИАС в Информационный центр по ресурсам образования (Educational Resources Information Center – ERIC);

- в 1966 г. был создан Комитет по научно-техническим данным (Committee on Data for Science and Technology – CODATA), в который вошли представители международных союзов и ряда ведущих в тот период стран – СССР, США, Великобритании, ФРГ, Канады, Японии и др.;

- в 1970 г. три крупных информационных центра США (BioScience Information Service of Biological Abstracts – BIOSIS, Chemical Abstracts Service – CAS, Engineering Index Inc. – EI) объединились для изучения проблем дублирования обработки одних и тех же публикаций и возможностей устранения или хотя бы сокращения такого дублирования путем кооперации и обмена информационными массивами на машинных носителях.

Примерами такого рода центров в нашей стране являются:

- организованный в 1952 г. Всесоюзный институт научной и технической информации (ВИНИТИ);

- созданная в 1965 г. Государственная система стандартных справочных данных (ГСССД), которая должна была обеспечивать не только сбор, обработку и предоставление информации о свойствах веществ и материалов, но и качественную переработку информации, оценку ее достоверности; при этом ГСССД сразу создавалась как разветвленная многоуровневая система с децентрализованным получением и распространением научной информации;

- центральные научно-исследовательские институты технико-экономической информации (ЦНИИТЭИ), которые создавались для ведущих отраслей промышленности (ЦНИИТЭИ Приборостроения, ЦНИИТЭИ Автопрома и т.п.).

***Интегральные информационные системы.*** Для того чтобы преодолеть проблемы дублирования работ по индексированию, хранению и обработке НТИ, а также «загрязнения» информационного пространства, была выдвинута [5, 7] идея создания интегральных информационных систем.

*Интегральная информационная система (ИИС)* – это совокупность методов и средств, позволяющих при *однократном* описании, индексировании и реферировании научных документов обеспечить *многоаспектную* обработку содержащейся в них информации и *многократное* ее использование для удовлетворения разнообразных информационных потребностей [5, С. 344].

Принцип однократного ввода и многократного использования информации, разумеется, реализовывался и в ряде зарубежных центров анализа информации. Но они, как правило, создавались для отдельных отраслей: по физике (в Американском физическом институте и в Институте инженеров-электриков в Великобритании), по ядерной физике и технике (Международное агентство по атомной энергии, Центр информации и документации Евратома), по медицине, химии и химической технологии и т. д.

В СССР замысел ИИС подразумевал не просто создание многоаспектных информационных банков или баз данных, а получение эффекта *целостности* (см. *Закономерность целостности*), т.е. новых *эмерджентных* свойств, которых не было у элементов, объединяемых в ИИС.

Получение эффекта целостности базировалось на создании условий для совместной работы ученых и специалистов, как тех, кто обеспечивает подготовку сигнальной информации и реферирование (осуществляемое высококвалифицированными учеными и специалистами, работающими, как правило, на внештатной основе), так и пользователей, которые влияют на возникновение новых системных свойств посредством обратной связи в режиме избирательного распространения информации.

Для того чтобы реализовать этот замысел, была предложена принципиальная схема функционирования ИИС (см. рис. на с. 265) и с 1971 г. в ВИНТИ начала разрабатываться интегральная информационная система АССИСТЕНТ (Автоматизированная Справочно-информационная СИСТЕма по Науке и Технике), в функции которой входило оказание помощи ученым и специалистам в решении не только научно-исследовательских, но и производственных, организационных, управленческих задач. С основными задачами и особенностями этой системы можно познакомиться в [5, С. 361–377].

***Государственная система научно-технической информации.*** Для более полной реализации замысла целостной интегральной системы в 70-е гг. XX в. в СССР было начато создание *Государ-*

ственной системы научно-технической информации (ГСНТИ) и поставлена задача разработки *Единой автоматизированной системы научно-технической информации*, в последующем переименованной в государственную – ГАСНТИ. Руководил созданием ГСНТИ и ГАСНТИ Государственный комитет Совета Министров СССР по науке и технике.

В соответствии с принятыми в тот период принципами разработки автоматизированных систем были подготовлены и утверждены техническое задание [6] и единый порядок [1] разработки государственной системы НТИ.

С применением принципов системного анализа была разработана структура этой системы, в которой предусмотрены:

- головной институт ГСНТИ – ВИНТИ, в функции которого входили подготовка и издание реферативной (реферативный журнал – РЖ), экспресс-информации ВИНТИ, обзорной и иных видов вторичной информации; проведение научно-исследовательской работы по проблемам НТИ; организация справочно-информационного обслуживания руководящих органов страны;

- общегосударственные органы НТИ (общегосударственные органы регистрации отчетов по НИР, диссертаций и другой научной продукции и т.п.);

- центральные отраслевые органы информации как подсистемы АСНТИ;

- межотраслевые территориальные (региональные) органы НТИ в республиках;

- отделы или бюро научно-технической информации (ОНТИ, БТИ) на предприятиях, в научно-исследовательских институтах и в других организациях.

В число основных задач отраслевых, региональных органов НТИ и органов НТИ предприятий и организаций входили:

- сбор и аналитико-синтетическая обработка (АСО) научно-технической информации;

- создание справочно-информационных фондов (СИФ), включающих разнообразные неопубликованные первичные издания (депонированные рукописи, отчеты о выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, чертежно-конструкторская документация, диссертации и т.п.) и вторичные источники информации (экспресс-информации, реферативные обзорные информации и аналитические обзоры, информационные издания по патентам, стандартам и промышленным каталогам и т.п.);

- справочно-информационное обслуживание (СИО), включая анализ информационных потребностей и запросов потребителей информации;

- организация научно-технической пропаганды и промышленной рекламы, в том числе путем проведения конференций, семинаров, издания специальных видов технической информации (стандарты, технические условия и тому подобная нормативно-методическая и нормативно-техническая документация), подготовки и распространения патентно-лицензионной документации и информации об изобретениях и открытиях, промышленных каталогов и информационных листков и т.п.

Основу системы НТИ любого уровня составляют *информационно-поисковые системы* (см.).

Информационно-поисковые системы отраслевых и территориальных органов НТИ создавались как интегральные ИС с обменом информацией вначале в форме документов и/или на машинных носителях, а в последующем предусматривалось создание сетей НТИ.

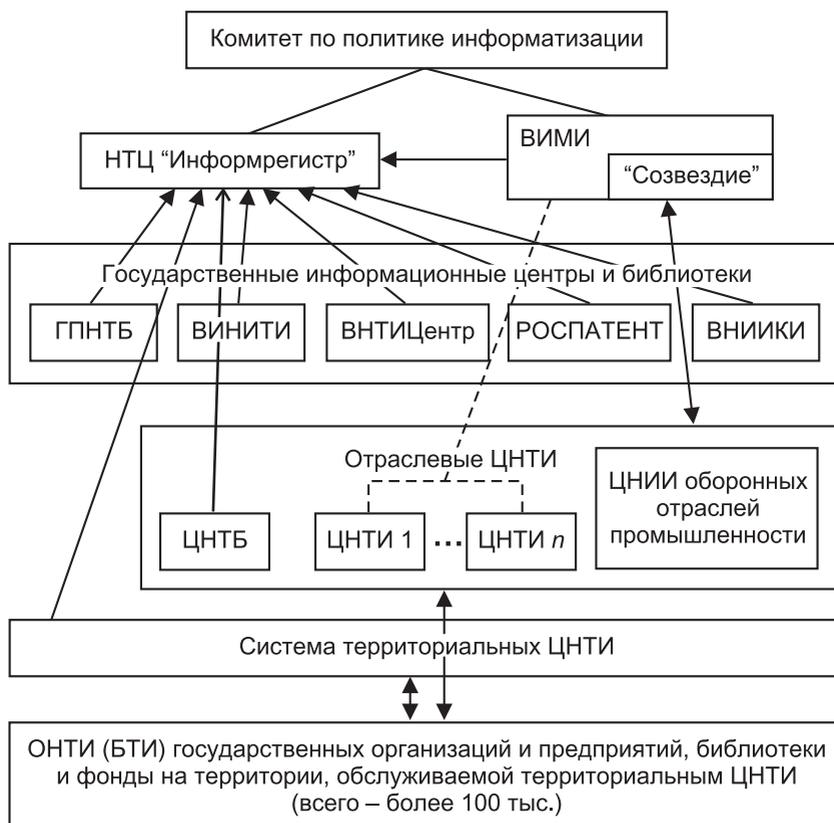
Опыт реализации ГАСНТИ выявил определенные проблемы в разграничении функций отраслевых и региональных органов НТИ, ОНТИ и научно-технических библиотек. Однако дискуссии, которые регулярно организовывались в ГКНТ, способствовали обмену опытом и развитию как органов НТИ, так и библиотек.

Распад СССР внес существенные изменения в состав и особенности функционирования ГСНТИ и ГАСНТИ, однако их информационные ресурсы и некоторые принципы организации сохранились в системе НТИ, которую в настоящее время условно называют Российской ГСНТИ (РГСНТИ).

В 1992 г. Министерством науки РФ была утверждена и начала реализовываться государственная научно-техническая программа (ГНТП) «Федеральный информационный фонд по науке и технике», в рамках которой поддерживаются и регулируются работы по созданию и эксплуатации общедоступных фондов НТИ; по каталогизации информационных фондов; по формированию и использованию баз данных; по разработке и внедрению современных информационных и библиотечных технологий и др. [3].

Возникают также консалтинговые центры, которые не могут эффективно функционировать без ИПС НТИ. Для их создания и организации взаимодействия полезен опыт ГАСНТИ и РГСНТИ.

В новых условиях в структуру РГСНТИ входят следующие хранители ее документальных информационных фондов [3, 8], см. показанные на рисунке.



1. Государственные информационные центры и библиотеки, основными из которых являются:

- Государственная публичная научно-техническая библиотека России (ГПНТБ России) – головной орган научных библиотек, фонды которой составляют отечественные и зарубежные научные издания, неопубликованные переводы, авторефераты диссертаций и другие источники НТИ;
- Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ), фонды которого содержат отечественные и зарубежные периодические издания, сборники трудов, реферативные журналы и ряд др.;
- Всероссийский научно-технический информационный центр (ВНТИЦентр), формирующий и сохраняющий документы госу-

дарственной регистрации НИОКР, отчеты по НИР и ОКР, диссертации, фонды алгоритмов и программ;

- НПО «РОСПАТЕНТ», накапливающее фонды отечественной и зарубежной патентной литературы, товарные знаки;

- Всероссийский научно-исследовательский институт классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ), разрабатывающий и собирающий стандарты и другую нормативно-техническую документацию;

- НТЦ «Информрегистр» Комитета по политике информатизации, занимающийся регистрацией и предоставлением сведений об имеющихся в стране информационных ресурсах на машинных носителях, в том числе библиографических и справочных БД.

2. Система территориальных центров НТИ (ЦНТИ) объединения Росинформресурс, включающая 69 центров.

Каждый из территориальных ЦНТИ включает научно-технические библиотеки, располагает уникальными фондами опубликованных и неопубликованных информационных изданий, отражающих сведения о научных и технических разработках, материальных и сырьевых ресурсах своих регионов, об организациях и предприятиях региона, его экономике и т.п. ЦНТИ взаимодействует с НТИ государственных организаций и предприятий, частных фирм на территории обслуживаемых регионов, имеющих свои библиотеки и фонды документов, отражающие производственную, коммерческую и иную информацию (всего более 100 тыс. организаций).

3. Система НТИ министерств и ведомств России.

Центральные научно-технические библиотеки (ЦНТБ) и отраслевые ЦНТИ оборонных отраслей промышленности, объединяемые автоматизированной информационной системой «Созвездие» с центральным звеном во Всероссийском научном институте межотраслевой информации (ВИМИ) Комитета по политике информатизации.

ВИМИ выполняет функции методического и координационного центра для ведущих отраслевых ЦНТИ. Отраслевые ЦНТИ взаимодействуют с информационными подразделениями предприятий и организаций своей отрасли и создают справочно-информационные фонды (СИФы), содержащие техническую, отраслевую нормативную, технологическую и другие виды документации.

Важную роль в объединении информационных центров в единую систему играет Автоматизированная система Российского

Сводного Каталога (АС РСК), которая представляет собой многофункциональную информационно-библиотечную сетевую систему, основанную на взаимодействии библиотек, органов НТИ, библиотечных и информационных сетей и организаций ведомственного и территориально-административного уровня, имеющих фонды научной и технической литературы.

Участниками АС РСК являются более 400 крупных библиотек и информационных органов. АС РСК содержит библиографические описания и адреса (сведения о местонахождении) научно-технических документов по естественным наукам, технике и технологиям, экономике, маркетингу, социологии, бизнес-информации и ряду других направлений (предусмотрена возможность расширения или видоизменения состава тематических направлений). В соответствии с Соглашением о межгосударственном обмене НТИ, принятым Советом глав Правительств СНГ 26.06.92, АС РСК является базой сводного каталога стран СНГ. АС РСК может интегрироваться с другими международными системами [8].

- 1. Единый порядок и технические условия разработки и внедрения автоматизированных подсистем обработки, поиска, хранения, выдачи и передачи информации. – М.: ГКНТ при СМ СССР, 1972. 2. Информационные системы: учеб. пособие / Под общ. ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. 3. Информационные ресурсы России. – 1993 – № 5. – С. 2–4, 8–9, 16–17. – № 6. – С. 3–6, 23–25. – 1994. – № 1. – С. 6–8, 9, 10–12, 13–15, 16–17, 18–19. – № 4. – С. 2–8, 9–14. 4. Михайлов А.И. Основы информатики / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1968. 5. Михайлов А.И. Научные коммуникации и информатика / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1976. 6. Техническое задание на совершенствование Единой системы научно-технической информации в стране. – М.: ГКНТ СМ СССР, 1972. 7. Черный А.И. Зарубежные автоматизированные справочно-информационные системы интегрального типа / А.И. Черный, В.И. Горькова // Итоги науки и техники: сер. «Информатика». – М.: ГКНТ при СМ СССР, АН СССР, ВИНТИ, 1980. 8. Шрайберг Я.Л. Автоматизированные библиотечно-информационные системы России: состояние, выбор, внедрение, развитие / Я.Л. Шрайберг, В.С. Воройский. – М.: Изд-во «Либерия», 1996. *В.Н. Волкова*

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ** – термин, возникший и широко распространенный в 80–90-е гг. XX в. в связи с необходимостью объединения в единую

систему разнообразных автоматизированных систем, разработавшихся на предприятиях.

**Тенденции развития автоматизации производства и управления.** Главной особенностью развития производства является решение двух основных проблем: 1) повышение производительности оборудования; 2) обеспечение гибкости производственных систем, т. е. возможность быстрой перестройки производства на выпуск новой продукции.

В настоящее время продукция машиностроения и приборостроения в среднем меняется каждые 2–5 лет.

Всемирное признание получила гибкая технология, т.е. создание производств, соединяющих производительность и безлюдность автоматической поточной линии с высокой степенью гибкости производства [6]. Это так называемые гибкие автоматические (автоматизированные) производства (ГАП), которые обладают следующими свойствами.

1. Высокий технический уровень и хорошая оснащенность новыми технологиями и оборудованием, позволяющими выпускать продукцию высокого качества.

2. Универсальность и маневренность, т.е. способность обрабатывать широкий спектр изделий без значительных затрат времени и средств на переналадку.

3. Комплексность, обеспечивающая не только автоматическое выполнение основных операций, но и автоматическую подачу деталей на последующие операции, их автоматическое адресное транспортирование, автоматический контроль качества изготовления и автоматическое складирование.

4. Экономичность, обеспечивающая приемлемую для рынка цену продукции, а следовательно, и минимальные затраты на ее производство.

ГАП – это не только комплекс быстро переналаживаемого оборудования и средств автоматизации, но и принципиально новые формы организации производства, проектирования изделий и разработки технологии их изготовления.

Производительность инженерного и управленческого труда растет более медленными темпами, чем производительность в сфере производства. В то же время автоматизации поддаются более 50 % конструкторских и не менее 75 % работ по технологической подготовке производства. Именно это обстоятельство способствовало созданию систем автоматизированного проектирования (САПР).

При этом САПР служит эффективным инструментом оптимизации конструкций, повышения надежности и технологичности изделий. САПР технологических процессов и оснастки создают необходимое информационное и программное обеспечение для функционирования ГАП и его переналадки на выпуск новой продукции.

Для современного производства характерны роботизация, создание ГАП, автоматизация проектирования изделий и технологических процессов, а также автоматизация управления всем промышленным комплексом. Концепция АСУ предприятий предусматривает создание гибких, адаптивных, интегрированных систем управления с элементами *искусственного интеллекта* (см.), обеспечивающих преимущественно «бесбумажное» и «безлюдное» управление на предприятии [1]. Такие системы позволяют оперативно осуществлять переналадку производства при изменении видов продукции и объемов ее выпуска. Тенденция развития АСУ производством в историческом аспекте приведена в табл. 1.

Таблица 1

Начало создания, освоения ИАСУ	Управление технологическими процессами	Управление производственной деятельностью
2000 г.	Создание автоматизированного предприятия, охватывающего весь производственный цикл	
1990 г.	Создание гибкой, адаптивной интегрированной системы управления, объединяющей управление проектированием, производственной деятельностью и технологическими процессами	
1980 г.	Расширение автоматизированных функций, объединяющих технологические участки. Создание АСУ ГПС, развитие АСУ ТП, САПР, АСНИ и др.	Автоматизация функций, позволяющих осуществить объединение управления производственной деятельностью с управлением технологическими процессами
1970 г.	Автоматизация функций, связанных с отдельными технологическими процессами: станки с ЧПУ, участки АСУ ТП. Появление САПР, АСПП, ГПС	Создание автоматизированных систем управления производственной деятельностью предприятия (системы обработки данных)
1960 г.	Создание автоматических линий на основе универсального и специализированного оборудования	Автоматизация планово-экономических, бухгалтерских расчетов и учетных функций

В соответствии с объективными процессами материального производства и управления им в настоящее время продолжают развиваться и создаются информационные системы управления следующих основных типов (рис. 1):

автоматизированные системы научных исследований (АСНИ);

системы автоматизированного проектирования изделий (САПР) и автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП);

автоматизированные системы общезаводского управления, ориентированные на автоматизацию функций управления объединением (корпорацией, трестом, концерном и др.) (АСУО) и предприятием (АСУП);

автоматизированные системы для комбинированного организационного и технологического управления (АСУ ОТ);

автоматизированные системы управления гибкими производствами (АСУ ГПС), включая АСУ отдельными производствами, цехами, участками, гибкими автоматизированными линиями (ГАЛ), гибкими производственными модулями (ГПМ);

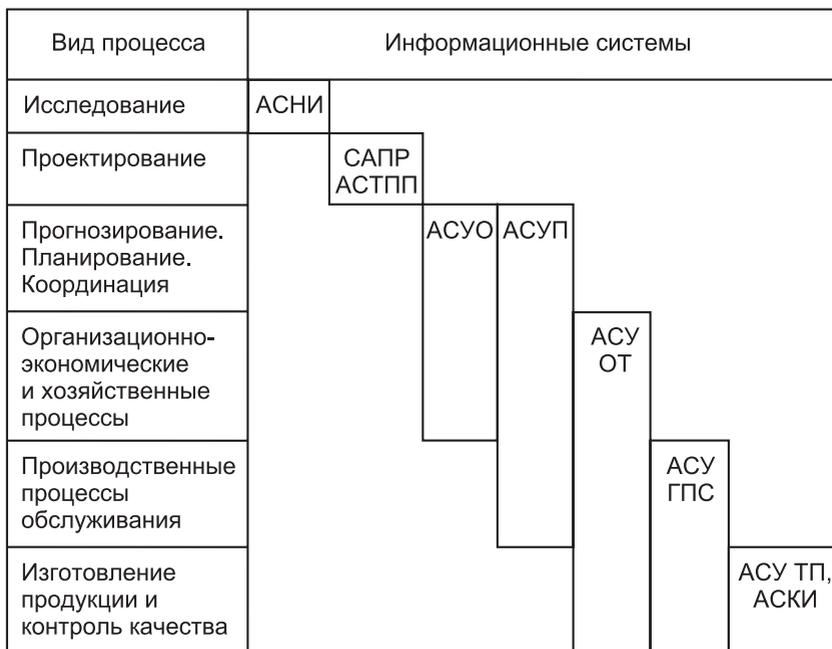


Рис. 1

автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП);

автоматизированные системы контроля качества и испытания изделий (АСКИ).

**Определение ИАСУ и проблемы интеграции.** Требования по повышению уровня организации производства, обеспечению четкой координации действий подразделений предприятия могут быть выполнены путем интеграции всех функций управления в единую интегрированную автоматизированную систему управления (ИАСУ). Она комплексно обеспечивает автоматизацию процессов стратегического планирования, экономического и технического развития предприятия, маркетинговых и научных исследований, проектирования новых видов продукции, управления технической подготовкой производства, текущей производственно-хозяйственной, сбытовой и финансовой деятельностью и, наконец, автоматизацию управления основными и вспомогательными технологическими операциями.

Сущность интеграции системы управления предприятием предусматривает:

- согласование целей и критериев оценки всех компонентов системы;
- решение комплексов задач, обеспечивающих достижение целей;
- обобщение информации (при передаче с нижнего уровня на верхний) или дифференциация информации (при передаче с верхнего уровня на нижний);
- получение общего экономического эффекта, превышающего простую сумму эффектов отдельных компонентов (синергетический эффект).

Под ИАСУ понимаются многоуровневые человеко-машинные системы, охватывающие решение задач управления экономикой предприятия, административной деятельностью, исследованиями конъюнктуры рынка, реализацией товаров, а также задач проектирования изделий, технической подготовки производства, организации и управления технологическими процессами.

Решение проблем интеграции заключается в применении системного подхода к проектированию, в разработке целевых программ создания ИАСУ, в адаптации и идентификации ее компонентов, в объединении фаз жизненного цикла ИАСУ. Интеграция

может рассматриваться в различных направлениях: функциональная, информационная, программная, техническая, организационная (табл. 2).

Таблица 2

Вид интеграции	Характеристика интеграции
Организационная	Предусматривает рациональное сочетание управленческой деятельности персонала по всем уровням ИАСУ
Функциональная	Обеспечивает единство целей и согласованность функций всех компонентов. Требует разработки общей функциональной структуры всей системы, декомпозиции ее на компоненты. Устанавливает для каждого компонента: критерий эффективности, модели функционирования, процедуры обработки данных, функциональные и информационные связи между компонентами
Информационная	Требует единого подхода к созданию и ведению всей информационной базы. Обеспечивает взаимосвязанную циркуляцию информации между компонентами системы
Программная	Обеспечивает совместное функционирование комплексных ИС, прикладных программ и структур данных, используемых для решения задач
Техническая	Обеспечивает создание комплекса совместимых ЭВМ, средств автоматизации, локальных сетей ЭВМ, позволяющих проводить автоматическую реализацию всех направлений интеграции при распределенной обработке информации

Создание ИАСУ требует больших финансовых ресурсов и человеческих усилий. При этом необходимо решить целый ряд проблем, связанных с интеграцией. Основные характеристики этих проблем приведены в табл. 3.

Выбор средств интеграции АСУ организационно-экономическими и техническими объектами должен обеспечивать их функциональную, информационную, техническую, программную и организационную совместимость.

Суть проблемы ИАСУ	Характеристика проблемы
Комплексное совершенствование системы управления	Обеспечение условий для взаимосвязанного и согласованного управления организационно-экономическими и технологическими процессами, исследованиями и проектированием. Оптимизация принятия решений по системе в целом
Декомпозиция объекта	Разделение объекта автоматизации на части, позволяющие осуществить эффективную автоматизацию каждой из них и системы в целом
Декомпозиция целей	Построение «дерева целей» и установление для группы взаимосвязанных целей критериев интеграции, определяющих степень согласованности функционирования отдельных частей ИАСУ
Межуровневая и внутриуровневая интеграция	Установление рациональных способов организации взаимосвязи и взаимодействия частей одного иерархического уровня и различных уровней, в том числе между АСУП, САПР, АС ТПП
Совместимость	Разработка совместимых средств технического, программного, информационного обеспечения ИАСУ
Повышение эффективности системы	Увеличение эффективности ИАСУ по сравнению с суммарной эффективностью автономно функционирующих АСУ
Полная реализация задач автоматизированного управления	Расширение границ постановки задач управления по сравнению с задачами обработки данных. Задачи в ИАСУ должны охватывать все фазы управления: измерение, учет, контроль, анализ, выработку управляющего воздействия
Адаптивность	Возможность перехода к эффективному функционированию в условиях меняющихся целей и ресурсов
Выбор средств проектирования	Анализ и выбор средств проектирования, обеспечивающих создание в приемлемые сроки компонентов ИАСУ и их совместимость
Согласование компонентов ИАСУ	Выбор согласованных параметров точности, достоверности информации, производительности и надежности взаимодействующих компонентов ИАСУ, обеспечивающих достижение цели
Координация и управление частями ИАСУ	Организация управления обменом и распределением ресурсов. Согласование целей и критериев функционирования локальных компонентов
Методическое обеспечение ИАСУ	Формирование общих требований к ИАСУ, к разработке норм и правил классификации, технологии разработки, внедрения и эксплуатации систем, к составу и содержанию проектной документации

Стратегия разработки ИАСУ основана на принципах нисходящего проектирования, т.е. на поэтапном переходе от методов системного анализа к локально-функциональному подходу, когда после разработки общей концепции осуществляется декомпозиция системы и отдельные ее компоненты разрабатываются, внедряются и развиваются самостоятельно, сохраняя все необходимые взаимосвязи между собой.

Зарубежным аналогом ИАСУ является система CIM (Computer-integrated business of manufacturing). Структура CIM приведена на рис. 2.

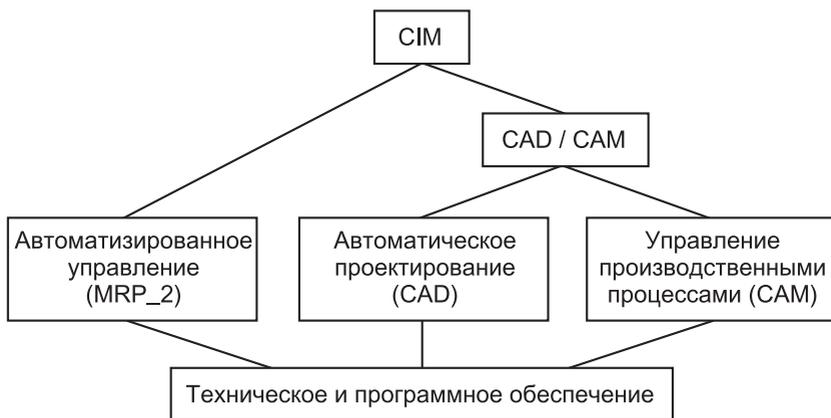


Рис. 2

Концепция CIM реализуется в компьютерно-интегрированных системах управления производством, получивших широкое распространение в разных модификациях в крупнейших фирмах.

**ИАСУ как многоуровневая иерархическая система.** ИАСУ состоит из автономных систем, функционирующих по взаимозависимым критериям на базе согласованного организационного, информационного, программного и технического обеспечения в условиях распределенной обработки данных. Она действует как многоуровневая иерархическая АСУ.

Ввиду сложности структуры и системы управления предприятием ее расчленяют на части (объекты, подсистемы, модули, элементы) по различным признакам. Выбор принципа выделения составных частей должен удовлетворять следующим основным условиям: обеспечивать их максимальную автономность, учиты-

вать необходимость координации действий для достижения общей цели функционирования, а также совместимость отдельных частей. Характерны следующие виды иерархии: временная, пространственная, функциональная и информационная [5].

Признаком деления временной иерархии является интервал времени от момента поступления информации о состоянии объекта управления до выдачи управляющего воздействия. Чем больше интервал, тем выше уровень элемента. Управление может осуществляться в реальном масштабе времени, с интервалом в смену, сутки, месяц, квартал и т.д. При этом интервал управления выбирается не произвольно, а исходя из критериев, определяющих устойчивость и эффективность функционирования всей системы.

В частности, управление технологическим процессом осуществляется в реальном времени, а управление цехом требует определенного временного интервала. По этому виду иерархии выделяются следующие уровни управления предприятием: долгосрочный, годовой, квартальный, месячный, сменно-суточный и реальное время.

Признаком деления пространственной иерархии является занимаемая площадь. Чем больше площадь объекта, тем выше его ранг. Данный признак является субъективным, так как не всегда площадь, занимаемая объектом, соответствует его значимости.

В основе функциональной иерархии лежит функциональная зависимость элементов системы. На рис. 3 показана функциональная иерархия предприятия, основанная на управлении движением материального потока. Очевидна также функциональная иерархия по признаку административной подчиненности.

Вид информационной иерархии является существенным. Здесь в основе деления на уровни лежат оперативность и обновляемость информации. Именно через эти признаки прослеживается иерархия информации по уровням управления предприятием. На нижнем уровне хранится и обрабатывается периодически повторяющаяся и часто обновляемая информация, необходимая ежедневно, т.е. для оперативного управления. Следующий уровень составляет информация более обобщенная, чем оперативная. Она группируется по функциональным областям и применяется для принятия решений в процессе управления производством. На самом верхнем уровне сосредоточивается и обрабатывается стратегическая информация. Для нее характерны высокая степень обобщенности, неповторяемость и достаточно редкое использование.



Рис. 3

Для уменьшения неопределенности в процессе управления предприятием выделяются уровни сложности принимаемого решения – слои (по М. Месаровичу [4]). При этом решение вышестоящей задачи определяет ограничения при принятии решений на нижележащем уровне. Выделяются три уровня управления: организационно-экономический, технической подготовки производства (научные исследования, конструкторская, технологическая, инструментальная и материальная подготовка), управление технологическими процессами (табл. 4).

Таблица 4

Страта	Цель	Уровень управления
1	Стратегическая (выбор вида продукции, рынков, экономическое процветание, развитие мощностей)	Организационно-экономическое управление
2	Технико-экономическая (максимизация прибыли, минимизация издержек производства и др.)	Управление средствами труда, предметами труда, производственными отношениями
3	Производственно-технологическая (соблюдение параметров технологии, достижение планируемых показателей и др.)	Управление технологическими процессами

ИАСУ как согласованное множество локальных АСУ представима в виде многоэшелонной иерархической структуры. Локальные системы, являясь относительно независимыми, взаимодействуют между собой. При этом в каждой из них принимаются частные решения, т.е. осуществляется внутреннее автономное управление. Однако их иерархическое расположение (многоэшелонная структура) указывает на то, что нижележащие системы управляются вышестоящими.

Организационная иерархия подразумевает, что система состоит из множества взаимодействующих подсистем, причем нижележащие находятся под влиянием или управляются вышележащими подсистемами. Уровень в этой системе называется *эшелоном* (см.). Системы такого рода являются многоуровневыми, многоэшелонными или многоцелевыми, поскольку различные подсистемы, обладающие правом принятия решения, имеют обычно противоречащие одна другой цели.

**Функциональная структура ИАСУ.** Функциональную структуру ИАСУ образуют комплексы функциональных структур взаимодействующих ИС (АСУП, САПР, АСУ ТП и т.д.). При создании ИАСУ могут быть построены разнообразные модели. В любом случае в ее составе выделяются компоненты, рассматриваемые как самостоятельные АИС.

На верхнем уровне стратифицированного описания ИАСУ создается обобщенная модель, отображающая состав взаимодействующих АСУ. Далее разработка функциональной структуры ИАСУ базируется на методологии системного анализа, позволяющего закреплять автоматизируемые функции за основными компонентами таким образом, чтобы их совместное функционирование обеспечивало достижение всего комплекса поставленных целей. При этом руководствуются принятым составом уровней иерархии и функциями управления по уровням. Функциональную структуру головного компонента целесообразно представлять в виде функциональных структур подсистем с указанием взаимосвязей с подсистемами и комплексами задач других компонентов. В комплексы задач могут объединяться задачи, обеспечивающие расчет показателей по фазам (планирование, учет, контроль, анализ, регулирование) или по уровням управления (предприятие, производство, цех, участок, рабочее место). Все комплексы задач ИАСУ должны быть ориентированы на достижение конечных целей предприятия.

В общем виде функциональная структура ИАСУ включает автоматизированную систему управления предприятием (АСУП) или объединением (АСУО) и автоматизированную систему управления научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами (АСУ НИОКР). Дальнейшая декомпозиция АСУП позволяет выделить АСУ основным и вспомогательным производством, АСУ цехами, системы управления гибкими автоматизированными участками (СУ ГАУ), СУ гибкими автоматическими линиями (СУ ГАЛ), СУ гибкими производственными модулями (СУ ГПМ). В свою очередь, АСУ НИОКР содержит автоматизированную систему научных исследований (АСНИ), систему автоматизированного проектирования (САПР) изделий, автоматизированную систему технологической подготовки производства (АС ТПП) (рис. 4). Каждая из этих систем может быть подвергнута дальнейшей структуризации.

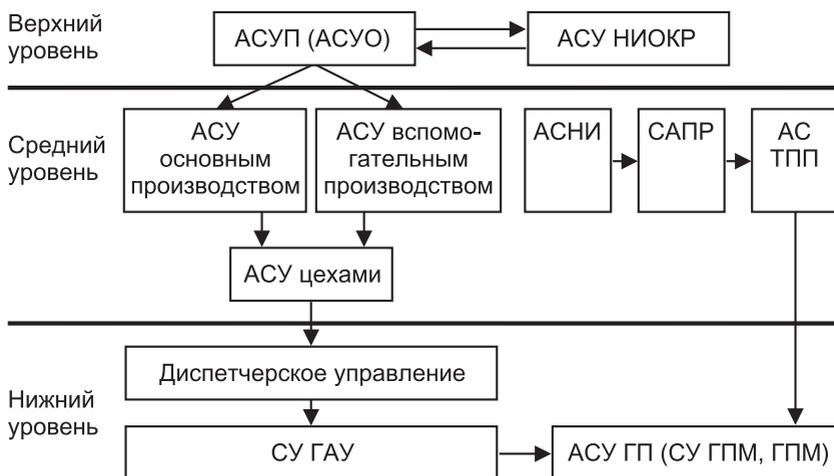


Рис. 4

На верхнем уровне осуществляется стратегическое планирование, производится автоматизация проектирования технологического и экономического развития предприятия, проведение маркетинговых исследований, управление финансами, производственно-хозяйственной деятельностью, материально-техническим снабжением, сбытом готовой продукции, трудовыми ресурсами. Здесь же концентрируются функции финансово-бухгалтерской

деятельности. АСУ НИОКР реализует функции технико-экономического планирования и управления научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, автоматизированного проектирования, управления научно-техническим уровнем и качеством работ.

На среднем уровне выделяют функции и задачи управления основным и вспомогательным производством (инструментальное, энергетическое, ремонтное, транспортное хозяйство), управление цехами, а также задачи автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства, решение которых позволяет значительно сократить сроки подготовки и постановки на производство новых изделий, получить обоснованные нормативы материальных и трудовых затрат. На этом уровне функционируют АСНИ, определяющие направления развития научно-технического потенциала предприятия. САПР реализует функции автоматизированного конструирования деталей и сборочных единиц. АС ТПП выполняет функции автоматизированного проектирования технологических процессов и средств технологического оснащения (специального инструмента и оснастки).

На нижнем уровне обеспечивается автоматизация оперативного управления производством, в том числе и в реальном масштабе времени по участкам, автоматическим линиям, рабочим местам, включая АСУ ТП, СУ ГАЛ, СУ ГПМ. АСУ ТП предназначены для регулирования и оптимизации сложных технологических процессов, характеризующихся большим числом параметров и сложностью алгоритмов управления. К АСУ ТП относятся также системы числового программного управления станками и комплексами станков, промышленными роботами, испытательными стендами, т.е. СУ ГАЛ и СУ ГПМ.

Роль компонентов ИАСУ неодинакова. Задачи организационно-экономического управления, реализуемые в АСУП, определяют цели функционирования системы в целом. ИАСУ обеспечивает реализацию всего взаимосвязанного комплекса функций управления во всех сферах деятельности предприятия, вплоть до рабочих мест и технологических операций.

**Направления развития ИАСУ.** Современный уровень развития информационных технологий устанавливает следующие направления развития ИАСУ по отдельным областям.

*В области экономико-организационного обеспечения:*

расширение состава ИС путем ввода в эксплуатацию новых систем, подсистем и расширения состава задач функционирующих подсистем;

проектирование и внедрение маркетинговых ИС;

охват автоматизированным управлением всего жизненного цикла производства продукции: от исследования рынка и управления НИОКР до непосредственного управления технологическими процессами, контроля и анализа надежности функционирования изделий в эксплуатации;

автоматизация всех иерархических уровней управления предприятием;

широкий диапазон автоматизации на всех уровнях временной иерархии управления – от перспективного планирования до управления технологическим оборудованием в реальном масштабе времени;

широкое использование методов оптимизации;

переход от создания информационно-справочных и информационно-советующих систем к системам информационно-управляющего типа, подготавливающим оптимальные варианты управленческих решений.

*В области программного обеспечения:*

применение современной технологии и методологии программирования;

применение средств автоматизации вычислительного процесса, обеспечивающих повышение надежности эксплуатации программных систем;

разработка новых программных средств, позволяющих упростить и унифицировать решение задач АИС, а также обеспечивающих сохранение и защиту информации от несанкционированного доступа.

*В области информационного обеспечения:*

создание единых баз данных ИС, обеспечивающих минимизацию общего объема данных и их рациональное использование на различных уровнях управления, в том числе создание иерархических и распределенных баз данных;

создание систем управления базами данных, позволяющих производить наиболее рациональную организацию, обслуживание и поиск информации, информационную совместимость баз данных, а также логическую и физическую независимость данных;

осуществление полной информационной увязки функций управления различных уровней.

*В области технического обеспечения:*

соблюдение технической совместимости АИС различных уровней;

использование многофункциональных периферийных технических средств для упрощения и ускорения обработки информации;  
создание технологического оборудования, оснащенного конструктивно-встроенными или сопряженными измерительными, решающими и исполнительными устройствами, обеспечивающими его функционирование в режиме автоматического управления;  
создание робототехнических комплексов для сквозной автоматизации технологических процессов;  
внедрение локальных вычислительных сетей (ЛВС), объединенных в единую информационную сеть предприятия.

Повышение эффективности проектной деятельности по созданию ИАСУ достигается путем совершенствования методологии проектирования. В процессе проектирования должны быть решены вопросы методического характера, последовательность решения которых представлена на рис. 5.



Рис. 5

Наибольшую сложность при разработке ИАСУ представляют вопросы комплексирования, в частности, минимизация зат-

рат на взаимосвязи (интерфейсы) между отдельными компонентами, модулями, входящими в систему. Минимизация затрат на разработку интерфейса обусловлена тем, что их удельный вес в больших системах, какими являются ИАСУ, требует около 50% общих затрат на разработку.

Следует отметить, что ИАСУ представляет собой сложную систему, при исследовании которой решающую роль играют методы декомпозиции системы и методы интеграции ее составных частей. При разработке ИАСУ необходимо обеспечить самостоятельность и законченность отдельных компонентов (модулей), предусмотрев их комплексную увязку, что позволит пользователю получить желаемый интегральный эффект.

В настоящее время появился ряд новых терминов для наименований сложных многокомпонентных многоуровневых систем – *мультиагентные системы, корпоративные информационные системы* (см.), глобальные сети и системы. Понятие интегрированной системы является основой разработки *виртуальных систем* (см.).

Первоначально при появлении *корпоративных информационных систем* (КИС) считали, что этот термин может заменить термин «интегрированная система». Однако в последующем стало очевидным, что КИС ориентированы на определенные виды деятельности предприятия (КИС финансовые, материально-складские и т.п.) и что по мере развития автоматизации предприятия вновь потребовалось понятие интеграции отдельных КИС в обобщенные системы.

Поэтому понятие интегрированной системы следует трактовать в расширенном смысле, и при разработке востребованных в настоящее время автоматизированных систем (мультиагентных систем, интеграции КИС и т.п.) учитывать изложенный опыт разработки ИАСУ, накопленный в период, когда ставились задачи комплексной автоматизации на всех уровнях управления нашей страной – от предприятий до отраслей и государства в целом (см. *Автоматизированная система управления*).

- 1. Олейник С.У. Автоматизированные системы управления машиностроительными предприятиями: учеб. для вузов / С.У. Олейник, В.И. Иванова, Г.М. Макарова и др. / под ред. С.У. Олейника. – М.: Высш. школа, 1991. 2. Михалев С.Б. АСУ на промышленном предприятии: методы создания: справочник / С.Б. Михалев, Р.С. Седегов, А.С. Гринберг и др. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 3. Информационные системы: учеб. пособие /

Под общ. ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998. 4. М е с а р о в и ч М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага. – М.: Мир, 1973. 5. С о в е т о в Б.Я. Автоматизированное управление современным предприятием / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский. – Л.: Машиностроение, 1988. 6. С о к о л и ц ы н С. А. Многоуровневая система оперативного управления ГПС / С.А. Соколицын, В.А. Дуболазов, Ю.Н. Домченко. – Л.: Политехника, 1991. 7. Ю р ь е в В. Н. Маркетинговые информационные системы промышленных предприятий / В.Н. Юрьев. – СПб.: СПбГТУ, 1998. В.Н. Юрьев

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА (ИС)** предназначена для сбора, хранения, обработки и поиска информации, необходимой для управления предприятием или любой другой организацией, проектирования, учебного процесса и т.п., для удовлетворения потребностей индивидуального потребителя *информации*.

В широком смысле ИС – это любое хранилище информации: архивы, библиотеки, картотеки, досье документов, наборы статистических данных и т.п.

Однако до распространения механизации и автоматизации хранения и поиска информации для совершенствования систем управления предприятиями и организациями понятие ИС обычно не использовалось.

В истории становления понятия ИС относительно независимо развивалось несколько направлений.

При этом, поскольку понятие ИС начало переосмысливаться и формироваться в связи с автоматизацией хранения и поиска информации, история эта практически неотделима от понятий *Автоматизированная информационная система* (см.) и *Информационно-поисковая система* (см.).

При переходе к рыночной экономике, к правовому государству возрастает роль важного вида информации – *нормативно-правовой* и *нормативно-методической*, регламентирующей деятельность предприятий при предоставлении им большей самостоятельности, для чего разрабатываются системы нормативно-методического обеспечения управления (СНМОУ) и их автоматизированный вариант – АСНМОУ.

Этот вид информации занимает как бы промежуточное место между фактографическими и документальными ИС, поскольку законодательные нормативно-методические документы (законы, постановления, уставы, стандарты, инструкции и т.п.) представляют собой тексты, но, как правило, достаточно хорошо структурированные, что облегчает извлечение из них фактографичес-

кой информации – правовых норм, статей, функций управления и т.п. Поэтому СНМОУ разрабатываются как *документально-фактографические* информационные системы.

В настоящее время, учитывая важную роль нормативно-правовой информации при внедрении рыночных принципов управления экономикой, создаются автоматизированные системы нормативно-правовой документации (АС НПД) разного рода и назначения (типа систем «Консультант», «Кодекс», «Гарант» и т.п.).

В последнее время появился широкий спектр специализированных ИС – экономические (ЭИС), бухгалтерские (БУИС), банковские (БИС), ИС рынка ценных бумаг, маркетинговые ИС (МИС) и т.п.

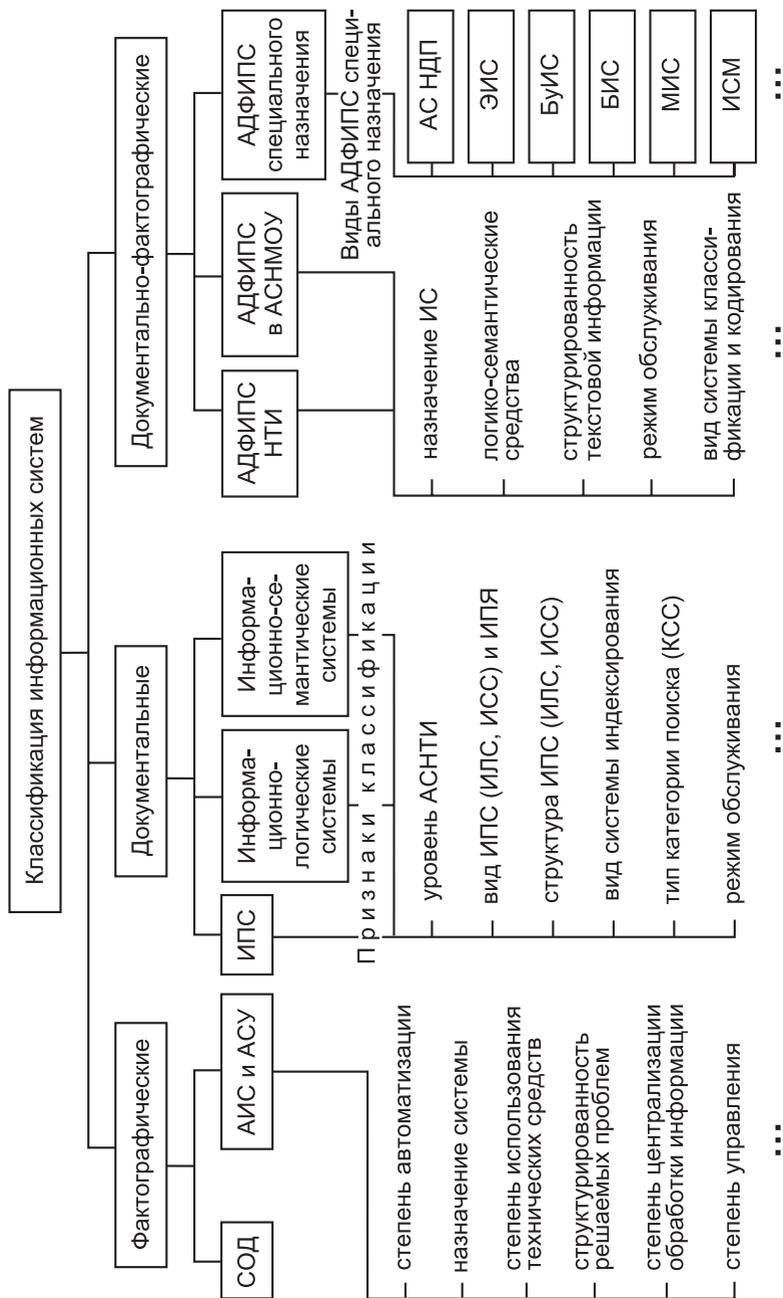
Обобщенная классификация приведена на рисунке.

Для целей анализа и создания ИС, используемых в сфере экономики, удобен широко используемый на Западе следующий перечень разновидностей (типов) этих систем, отличающихся степенью сложности [6].

- *Системы электронной обработки данных*, или просто *системы обработки данных* (СОД).

- *Информационные системы управления* (ИСУ). Используются для слабоструктурированных задач. Обеспечивают возможность манипулирования данными за счет системы управления базой данных (СУБД). Осуществляют не только поиск, но и обработку входной информации. Выходную информацию можно представлять в виде специальных управленческих отчетов. Решения в таких системах принимает человек. ИСУ могут использоваться на уровне стратегического планирования, управленческого и оперативного контроля.

- *Системы поддержки принятия решений* (СППР). Используются для решения в режиме диалога плохо структурированных задач, для которых характерна неполнота входных данных, частичная ясность целей и ограничений. Участие человека в работе системы велико, он может вмешиваться в ход решения, модифицировать входные данные, процедуры обработки, цели и ограничения задачи, выбирать стратегии оценки вариантов решений. Помимо СУБД СППР включает в себя базу моделей и систему управления этой базой, а также систему управления диалогом. СППР используется на уровне стратегического планирования, оперативного и управленческого контроля.



- *Экспертные системы (ЭС)*. Основываются на моделировании процесса принятия решения человеком-экспертом с использованием компьютера и разработок в области *искусственного интеллекта* (см.). ЭС основываются на использовании не только данных и информации, но и знаний, улучшающих принимаемое человеком решение. Назначение ЭС – консультировать пользователя при принятии решения, обеспечивать экономию за счет замены высокооплачиваемого эксперта сравнительно низкооплачиваемым специалистом. Существуют различные ЭС. Они могут использоваться на разных уровнях управления.

- *Гибридные экспертные системы (ГЭС)*. Являются гибридом ЭС и СППР. ГЭС обеспечивает доступ человека к решению задачи на любой стадии, и решение в ней принимает человек, а используется она на уровне стратегического планирования и управленческого контроля.

- *Информационные системы мониторинга (ИСМ)*. Предназначены для обеспечения высших звеньев системы управления важной укрупненной информацией о состоянии среды и деятельности фирмы. ИСМ помогают оперативно выявлять проблемы, требующие принятия решений, а также полезны при анализе разного рода управленческих ситуаций.

Все виды ИС на практике могут существовать одновременно, выполняя свои специфические функции в процессе принятия решений.

Таким образом, сложился спектр разнообразных ИС, которые в настоящее время разрабатываются в основном как *автоматизированные информационные системы* (см.)

1. Информационные системы: учеб. пособие / Под общ. ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998.
2. Информационные системы в экономике / Под ред. В.В. Дика. – М.: Финансы и статистика, 1996.
3. Соколов А. В. Информационно-поисковые системы / А.В. Соколов. – М.: Радио и связь, 1981.
4. Общие отраслиные руководящие методические материалы по созданию автоматизированных систем управления предприятиями и производственными объединениями (АСУП). – М.: Статистика, 1977.
5. Техническое задание на совершенствование Единой системы научно-технической информации в стране. – М.: ГКНТ СМ СССР, 1972.
6. Матвеев Л. А. Системы поддержки принятия решений: учеб. пособие / Л.А. Матвеев. – СПб.: Изд-во СПбГУиЭФ, 1993. В.Н. Волкова, Б.И. Кузин

**ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА** – термин, введенный первоначально применительно к системам научно-техни-

ческой информации и распространенный в последующем на все виды *информационных систем* (см.).

**Понятие об информационно-поисковой системе (ИПС). Структура ИПС.** Структура и функционирование конкретной ИПС зависят от вида и состава информационных источников, от способов реализации информационного поиска. В то же время есть некоторые общие принципы построения и функционирования ИПС.

Представление об ИПС развивалось.

Под ИПС первоначально понималась некоторая совокупность, или комплекс взаимосвязанных отдельных частей, предназначенных для выявления в каком-либо множестве элементов информации (документов, сведений и т.д.), которые отвечают на информационный запрос, предъявляемый к системе [2].

С учетом сути процесса информационного поиска ИПС (*IPS*) определяли следующим образом:

$$IPS \underset{def}{\equiv} \langle D, Q, R, D' \rangle, \quad (1)$$

$D' \subset D$

где  $D$  – некоторое множество документов или библиотека (поисковый массив);

$Q$  – множество информационных запросов;

$D'$  – ответ на информационный запрос;

$R$  – множество отношений, свойств, при наличии которых любому запросу  $q_i \in Q$  ставится в соответствие подмножество  $D'$ .

Более полно А.И. Черный предложил представить ИПС в виде совокупности четырех основных компонентов [5, С.18]:

$$IPS \underset{def}{\equiv} \langle LS, D, TS, N \rangle, \quad (2)$$

где  $LS$  – *логико-семантический аппарат* (т.е. информационно-поисковый язык, правила индексирования и критерии выдачи);

$D$  – *поисковый массив* (т.е. определенное множество снабженных поисковыми образами документов, в котором отыскиваются необходимые);

$TS$  – *технические средства* (т.е. некие приспособления или устройства, которые необходимы для записи и хранения поисковых образов, для хранения документов и осуществления процесса сопоставления поисковых образов документов с поисковым предписанием или поисковым образом запроса);

$N$  – люди, взаимодействующие с системой (т.е. те, кто пользуются данной ИПС и обслуживают ее – осуществляют индексирование документов и информационных запросов, выбирают стратегию поиска, а также выполняют другие интеллектуальные операции, без которых невозможен информационный поиск).

Затем для обеспечения возможности автоматизации процедуры информационного поиска было предложено [2, 5] в ИПС выделить два уровня рассмотрения – *абстрактный* и *конкретный*.

*Абстрактной ИПС* была названа совокупность ИПЯ (*retrieval language – RL*), правил индексирования (*IND*) и критерия выдачи или критерия смыслового соответствия (*KSS*):

$$IPS \stackrel{def}{=} \langle RL, IND, KSS \rangle. \quad (3)$$

*Конкретной ИПС* названа практически реализованная система, включающая массив документов  $D$ , в котором производится информационный поиск, технические средства  $TS$  реализации ИПС, а также взаимодействующих с ней людей  $N$ .

Схема функционирования ИПС в таком понимании приведена на рис. 1 [5].

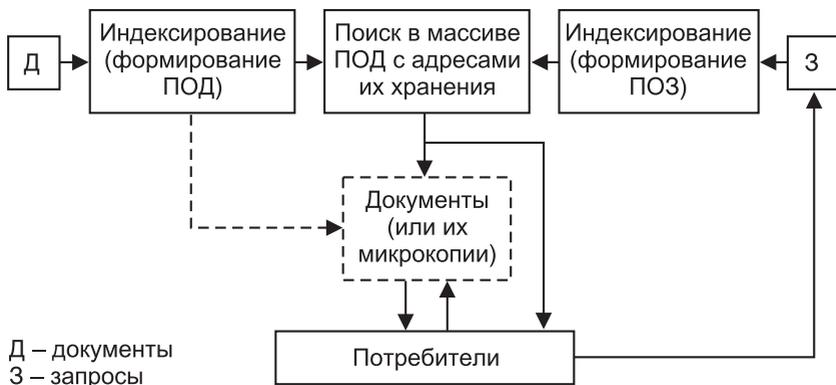


Рис. 1

В дальнейшем в соответствии с рассмотренным выделением в ИПС абстрактного и конкретного уровней и с учетом особенностей хранения документальной информации (библиотеки, архивы и другие хранилища) процедуру информационного поиска до-

кументальной информации было предложено разделить на два контура [4]:

1) семантическое осмысление запроса и выдача адресов (шифров, кодов), соответствующих запросу документов; на рис. 1 этот контур показан сплошными линиями;

2) отыскание самих документов (вручную или с помощью специализированных технических средств, если ими оборудовано хранилище); на рис. 1 – штриховые линии.

Второй контур связан с разработкой специализированных технических средств хранения больших массивов документов и работой по переоборудованию хранилищ, а собственно проблемы информационного поиска решаются в первом контуре.

С учетом рассмотренного первый контур ИПС состоит из трех основных блоков: информационно-поискового языка, системы перевода (индексирования) на этот язык и логики, обеспечивающей поиск, которые, в свою очередь, могут быть детализированы и реализованы разными способами (рис. 2).

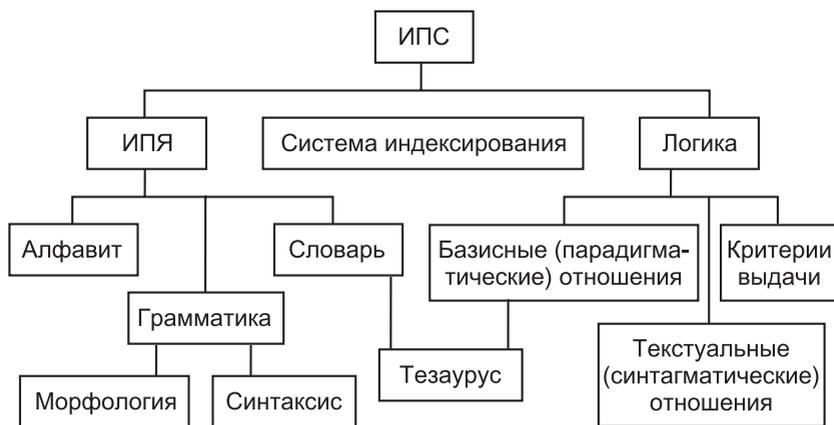


Рис. 2

Представление ИПС в виде двух контуров является в настоящее время наиболее распространенным.

В некоторых системах контуры могут быть совмещены, что имело место, например, при поиске в массивах *апертурных перфокарт* типа *Filmsort* (микрокарты, выполненные на прозрачной подложке), в некоторых из первых документальных ИПС – на диамикрокартах *Filmorex*, диамикрокарта которой содержит зону

для ПОД и зону для изображения одного кадра с микроизображением документа – письма, приказа, заявления и т.п.; *Minicard*, диамикрокарты которой содержат вместе с поисковым образом документа (ПОД) аэрофотоснимки, чертежи и т.д., представляющие собой документы, хранящиеся в таких ИПС, и др. [2]), в автоматизированных ИПС, содержащих тексты документов относительно небольшого объема вместе с их адресами, и т.п.

Напротив, иногда возникает необходимость выделять не два, а большее число контуров, что помогает организовать последовательно углубленный анализ текстов документов. Такие варианты реализуются, например, в документально-фактографических системах нормативно-правовых и нормативно-методических документов.

В принятой символической форме абстрактная ИПС (1-й контур) представляет собой совокупность ИПЯ (*RL*), правил (системы) индексирования (*IND*) и логики (*LOG*), включающей наряду с критериями смыслового соответствия базисные отношения:

$$IPS \underset{def}{\equiv} \langle RL, IND, LOG \rangle. \quad (4)$$

**Виды информационно-поисковых систем.** Существуют понятия документальной (см.) и фактографической (см.) ИПС.

Документальные ИПС (ДИПС) в ответ на вводимые в них информационные запросы выдают оригиналы, копии или адреса хранения документов, содержащих требуемую информацию.

Подкласс документальных ИПС, выдающих лишь библиографические описания искомых документов, иногда называют *библиографическими* ИПС.

Фактографические ИПС (ФИПС) предназначены для выдачи непосредственно требуемой информации (например, температура кипения какой-либо жидкости, статистические показатели, содержащиеся в соответствующих отчетных документах, и т.п.).

При этом существуют фактографические системы двух видов:

- 1) сразу формирующие массивы фактографической информации;
- 2) формирующие их на основе массивов документальной информации.

Информационные системы второго вида могут, в свою очередь, формироваться как документально-фактографические (ДФИПС и АДФИПС), содержащие массивы двух видов:

- документальные и сопряженные с ними массивы фактографической информации;
- информационно-логические системы (ИЛС).

В отличие от документальных, фактографических и документально-фактографических ИПС 1-го вида, выдающих по запросам только такую информацию, которая была ранее в них введена, ИЛС представляют собой информационные системы более высокого класса: они должны не только выдавать ранее введенную в них информацию, но и осуществлять, если необходимо, логическую переработку этой информации с целью получения новой информации, которая в явном виде не вводилась в ИС.

ИЛС, или *ILS*, можно определить как совокупность ИПЯ (*RL*), правил перевода с естественного языка на информационный, т.е. правил индексирования (*IND*) и правил логического вывода (*LV*), которая предназначена для алгоритмического получения новой информации ( $I_N$ ):

$$IPS \underset{def}{\equiv} \langle RL, IND, LV, I_N \rangle. \quad (5)$$

В начальный период развития теории информационного поиска ИЛС иногда либо противопоставляли ИПС [5], либо отождествляли с фактографическими ИПС на том основании, что оба эти типа систем оперируют фактами, сведениями. Но ФИПС в отличие от ИЛС не обеспечивают получение новой информации из имеющейся, а только позволяют отыскивать фактографические сведения, которые были введены в систему.

В дальнейшем, когда появилось понятие документально-фактографической ИПС, в которой наряду с документальным поиском осуществляется аналитико-синтетическая обработка документов с целью извлечения из них фактов и получения на их основе новых форм документальной информации (например, обзоров, содержащих статистические обобщения или информацию о разновидностях интересующих пользователя технических устройств и т.п.), иногда стали считать, что при подобной обработке получается новая информация, и тогда можно рассматривать ИЛС как один из видов документально-фактографических ИПС.

Развивая представления об информационных системах, способных получать новую информацию, Ю.И. Шемакин [6, С. 60] предлагает понятие *информационно-семантической системы*:

$$ISS \underset{def}{\equiv} \langle a, St, tp_{iss}, co, t_i \rangle, \quad (6)$$

где  $a$  – цель;  $St$  – структура;  $tp_{iss} \in TP$  – подмножество технологических процессов для данной  $ISS$ ;  $co$  – условия;  $t_i$  – время.

Входящие в определение (6) составляющие могут быть детализированы с учетом конкретной реализации ИПС. Особенно важно уточнять состав технологических процессов:

$$tp_{iss} \equiv \langle met, re, SemSI \rangle, \quad (7)$$

где  $met$  – методы;  $re$  – средства;  $SemSI$  – семантическая переработка семантической информации.

Определение (6) позволяет лучше учесть конкретные условия и особенности средств реализации при проектировании современных ИПС.

Для ИПС научно-технической информации разрабатывали различные классификации:

по признаку «*виды документальных ИС*» (собственно *информационно-поисковые системы, информационно-логические системы, информационно-семантические системы*);

по видам ИПЯ (ИПЯ, а соответственно и ИПС *без грамматики и с грамматикой, ИПЯ с различными видами парадигматических и синтагматических отношений* и т.п.);

по видам структур ИПС (ИПС *иерархической структуры*, в которых все лексические единицы ИПЯ связаны сильными парадигматическими отношениями подчинения и соподчинения и образуют в совокупности иерархическую классификацию, представляющую собой древовидный граф или дерево понятий; ИПС *фасетной структуры*, в которых лексические единицы ИПЯ предварительно группируются в фасеты, а иерархические отношения устанавливаются внутри фасетов; ИПС *неиерархической структуры*, в которых лексические единицы ИПЯ упорядочивают по внешним признакам, например в алфавитном порядке).

Для того чтобы охарактеризовать систему НТИ более полно, разрабатывались многоаспектные классификации.

Наиболее развитой из таких классификаций является фасетная классификация А.В. Соколова [3], в которой признаки классификации определяются *семантическими средствами* ИПС, т.е.

средствами ИПЯ, методами индексирования, методами (правилами, алгоритмами) поиска по запросу.

- 1. Информационные системы: учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998. 2. Михайлов А. И. Основы информатики / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1968. 3. Соколов А. В. Информационно-поисковые системы: учеб. пособие для вузов / А.В. Соколов. – М.: Радио и связь, 1981. 4. Певзнер Б. Р. Информационно-поисковые системы и информационно-поисковые языки / Б.Р. Певзнер. – М.: ИПКИР, 1974. 5. Черный А. И. Введение в теорию информационного поиска / А.И. Черный. – М.: Наука, 1975. 6. Шемакин Ю. И. Компьютерная семантика / Ю.И. Шемакин, А.А. Романов. – М.: Научно-образовательный центр «Школа Китайгородской», 1996. В.Н. Волкова

## **ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ СИСТЕМ, к их исследованию, предложенный в 1975 г. [1].**

Специфика системного анализа состоит в том, что он, с одной стороны, должен основываться на методах качественного анализа (опираться на научное мировоззрение), а с другой – использовать *методы формализованного представления систем* (см.). При этом по сравнению с другими видами качественного анализа (например, философским анализом) системный анализ отличается стремлением к формализации или хотя бы символизации логических процедур исследования систем. Применение для этого формальных логик бесперспективно, поскольку они в силу метафизичности и действия закона исключенного третьего не рассчитаны на анализ противоречивых элементов и развивающихся систем. Отразить взаимоотношения элементов во всем их многообразии способна только диалектическая логика, которая, чтобы стать средством системного анализа, нуждается в символизации.

В 1975 г. [1] был предложен подход, базирующийся на диалектическом обобщении законов функционирования и развития систем различной физической природы. Подход первоначально был ориентирован на отображение и анализ пространственно-распределенных систем, опирался на аппарат математической теории поля и был назван *теорией информационного поля* [1], а в дальнейшем на основе этой теории был получен вариант информационного описания объектов с сосредоточенными параметрами [2] (т.е. с выделением дискретных элементов), названный в начале *теорией информационных цепей*, что часто более удобно для

исследования реальных объектов и процессов. Затем для обобщенного наименования подхода использовались и другие термины (*информационно-методологический подход, информационно-гносеологический подход, информационный анализ систем*). Но в дальнейшем пришло название *Информационный подход к анализу систем*.

В соответствии с информационным подходом понятие *информация* рассматривается как структура материи, не зависящая от специфических ее свойств.

Основными формами существования информации являются понятия *чувственного отражения в форме чувственной информации, или информации восприятия, и логического отражения, логической информации, или информационного потенциала, и их логического пересечения, названного в рассматриваемой теории информационной сложностью, содержанием, смыслом*. Для конструктивного использования этих понятий вводятся соответствующие детерминированные и статистические меры.

Для измерения чувственной информации:

- в качестве вероятностной меры принята логарифмическая мера

$$J = -\log p_i = -\log 0,5p^J = -\log 0,5^J, \quad (1)$$

где  $p_i$  – априорная вероятность конкретного значения измеряемой величины;

$p^J$  – совместная вероятность всех  $J$  значений измеряемой величины от единицы до данного значения;

- в качестве дискретной меры  $J$  вводится мера отраженной в нашем сознании элементной базы системы в форме

$$J = A/\Delta A, \quad (2)$$

где  $A$  – общее количество каких-либо знаков, воспринимаемых измерительными приборами или нашими органами чувств;

$\Delta A$  – «квант», с точностью до которого нас интересует воспринимаемая информация, или разрешающая способность прибора.

*Логическая информация (сущность) Н*, в отличие от  $J$ , всегда относящейся к конкретным объектам или свойствам, характеризует целый класс однородных в определенном отношении объектов, или свойств, являясь семантическим синтезом законов логи-

ки, правил функционирования системы и ее элементов, образующих функционал ее существования.

Логическую информацию  $H$  с учетом того, что она характеризует не единичный объект, а класс однородных в определенном смысле объектов, или свойств, можно определить через плотность вероятности  $f(J_i)$  того, что  $J$  имеет значение  $J_i$ :

$$H = \int f(J_i) dJ_i. \quad (3)$$

В частном случае вместо плотности вероятности можно охарактеризовать класс однородных объектов просто вероятностью  $q_i$  и представить  $J_i$  в логарифмической форме; тогда получим

$$H = - \sum_{i=1}^n q_i \log p_i. \quad (3a)$$

Значения  $q_i$  и  $p_i$  могут быть не равны, но возможны ситуации, когда  $q_i = p_i$ , что имеет место в энтропийной мере Шеннона.

В приложениях рассматриваемого подхода к конкретным задачам часто необходимо различать логическую информацию *семантическую* (измеряя ее рассмотренной энтропийной мерой) и *прагматическую* (целевую) информацию  $H_{ц}$ , для оценки которой применяется соотношение, аналогичное выражению (3a), только в этом случае удобнее заменить вероятность недостижения цели  $p_i$  на сопряженную  $(1 - p_i')$ :

$$H_{ц} = - \sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p_i'), \quad (4)$$

где  $p_i'$  – вероятность достижения цели;

$q_i$  – вероятность того, что оцениваемая компонента будет использована для достижения цели.

При детерминированном измерении можно принять различную форму усреднения (опосредования), для чего вводится параметр  $\gamma$ , который может выбирать постановщик задачи. Тогда

$$H = \gamma \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^\gamma}, \quad (5)$$

где  $J_i$  – результаты измерения  $A_i$  согласно (2);

- $n$  – объем понятия, т.е. число охватываемых понятием объектов;
- $\gamma$  – параметр логики усреднения, при различных значениях которого получаются различные выражения для определения  $H$ .

Наиболее простой и естественной является линейная логика, соответствующая параметру усреднения  $\gamma = 1$  и приводящая к среднему арифметическому

$$H = \sum_{i=1}^N \frac{1}{n} J_k = J / n_o = \sum_{i=1}^N q_k J_k, \quad (6)$$

- где  $q_k$  – вероятность встретить  $J_k$  среди всех  $n_o$  объектов;
- $N$  – число различных информаций (объектов);

$$J = \sum_{i=1}^{n_o} J_k.$$

Соотношение (6) символизирует основной закон классической логики Аристотеля, согласно которому сущность  $H$  понятия обратно пропорциональна его объему  $n_o$ .

При других значениях  $\gamma$  получаются усреднения другого типа: среднегеометрическое (при  $\gamma = 0$ ), среднегармоническое (при  $\gamma = -1$ ), среднеквадратическое (при  $\gamma = 2$ ).

Способы оценки  $J$  и  $H$  даны в таблице.

В некоторых приложениях могут быть использованы одновременно обе формы представления информационных характеристик – и детерминированная, и вероятностная, а также переход от одной формы к другой.

Следует оговорить особенности вероятностных характеристик, используемых в излагаемом подходе. В частном случае  $p_i$  может быть статистической вероятностью, определяемой на основе репрезентативной выборки, подчиняющейся той или иной статистической закономерности.

Однако в общем случае вероятность достижения цели  $p_i'$  и вероятность использования оцениваемой компоненты (свойства) при принятии решения  $q_i$  могут иметь более широкую трактовку и использоваться не в строгом смысле с позиции теории вероятностей, справедливой для стохастических, повторяющихся явлений, а характеризовать единичные явления, события, когда  $p_i$  выступает как *степень целесообразности* (см.).

*Информационная сложность* или содержание (смысл)  $S$  определяется пересечением (логическим произведением, а в частных случаях – декартовым произведением)  $J$  и  $H$ :

Информация восприятия $J$	Логическая информация $H$	
		
Детерминированные единицы измерения		
<p><math>J_i = A_i / \Delta A_i</math>,</p> <p>где <math>A_i</math> – значение измеряемой величины; <math>\Delta A_i</math> – “квант”, с точностью до которого ЛПР интересуется воспринимаемая информация (единицы измерения, разрешающая способность прибора)</p>	$H = \sqrt[\gamma]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^\gamma}$ <p>где <math>J_i</math> – результаты измерения <math>A_i</math>;  <math>n</math> – объем понятия охватываемых измерением объектов;  <math>\gamma</math> – параметр усреднения</p>	<p>При <math>\gamma = 1</math> получим среднее арифметическое</p> $H = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} J_i,$ <p>при <math>\gamma = 0</math> – среднее геометрическое</p> $H = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n J_i},$ <p>при <math>\gamma = -1</math> – среднее гармоническое</p> $H = n / \sum_{i=1}^n \frac{1}{J_i},$ <p>при <math>\gamma = 2</math> – среднее квадратическое</p> $H = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^2}$
Вероятностные единицы измерения		
<p><math>J_i = -\log_2 p_i</math>,</p> <p>где <math>p_i</math> – степень целесообразности</p>	$H = \int f(J_i) dJ_i \Rightarrow H = \sum_{i=1}^n q_i J_i = -\sum_{i=1}^n q_i \log p_i,$ <p>где <math>q_i</math> – вероятность использования элемента информации.</p> <p>При <math>q_i = p_i</math> <math display="block">H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i.</math></p> <p>При равновероятном выборе элемента</p> $p_i = 1/n \text{ и } H = -\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = \log n.$ <p>Для прагматической информации</p> $H_{\text{ц}} = -\sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p_i'),$ <p>где <math>p_i'</math> – вероятность достижения цели</p>	

$$C = J \cap H \text{ или } C = J \cdot H. \quad (7)$$

В зависимости от того, применительно к характеристике всей системы или ее элементов используется  $C$ , можно говорить о системной  $C_c$ , собственной  $C_o$  и взаимной  $C_b$  сложности; при этом

$$C_c = C_o + C_b. \quad (8)$$

Учитывая особую роль цели в теории систем и системного анализа, рассмотрим логику процесса достижения цели. Поскольку всякая вещь обретает смысл лишь на фоне целенаправленной деятельности, сама цель деятельности определяется через смысл как его предельное значение. Иными словами, если определить цель как отраженный экстремум функционала нашего существования, то в роли этого функционала как раз и выступает смысл.

Рассматриваемый подход позволяет учесть не только статику, но и кинематику, и динамику исследуемого процесса.

При оценке логической информации (потенциала)

$$H = f(J/n, \tau dJ/dt, Ld^2J/dt^2), \quad (9)$$

- где  $n$  – объем понятия;  
 $\tau$  – информационное сопротивление канала (имеет размерность времени);  
 $L$  – ригидность, характеризующая геометрию тела и его инерционные свойства, сопротивляемость системы новому (эта, казалось бы, отрицательная характеристика обуславливает в то же время устойчивость системы, ее исследовательские и прогностические способности);  
 $dJ/dt$  и  $d^2J/dt^2$  – скорость и ускорение изменения информации соответственно.

Соотношение (9) было получено в теории информационного поля как дискретный вариант описания информационного процесса в форме информационной цепи и представляет собой аналог описания электрической цепи, что первоначально представлялось некоторым доказательством аналогий в полях различной физической природы.

Но в последующем, чтобы избежать обвинения в физикализме, автор вывел [4] это соотношение на основе законов диалектической логики (*отрицания, отрицания отрицания, единства противоположностей*).

В дальнейшем на основе закона всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости было получено описание процессов с учетом взаимного влияния компонентов, отображающих проблемную ситуацию, в форме системы уравнений типа:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= f(J_1/n_{11}, \tau_{11} dJ_1/dt, L_{11} d^2J_1/dt^2, J_2/n_{12}, \tau_{12} dJ_2/dt, L_{12} d^2J_2/dt^2, \dots), \\
 H_2 &= f(J_1/n_{21}, \tau_{21} dJ_1/dt, L_{21} d^2J_1/dt^2, J_2/n_{22}, \tau_{22} dJ_2/dt, L_{22} d^2J_2/dt^2, \dots), \\
 &\dots \\
 H_i &= f(J_i/n_{ii}, \tau_{ii} dJ_i/dt, L_{ii} d^2J_i/dt^2, J_j/n_{ij}, \tau_{ij} dJ_j/dt, L_{ij} d^2J_j/dt^2, \dots), \quad (10) \\
 &\dots \\
 H_m &= f(J_1/n_{m1}, \tau_{m1} dJ_1/dt, L_{m1} d^2J_1/dt^2, J_2/n_{m2}, \tau_{m2} dJ_2/dt, L_{m2} d^2J_2/dt^2, \\
 \dots, J_m/n_{mm}, \tau_{mm} dJ_m/dt, L_{mm} d^2J_m/dt^2, \dots),
 \end{aligned}$$

где  $n_{ii}$  – собственный объем  $i$ -го понятия;  
 $n_{ij}$  – взаимный объем  $i$ -го и  $j$ -го понятий;  
 $\tau_{ii}$  и  $L_{ii}$  – собственное информационное сопротивление и ригидность данного понятия соответственно;  
 $\tau_{ij}$  и  $L_{ij}$  – взаимное информационное сопротивление и взаимная ригидность  $i$ -го и  $j$ -го понятий.

Система размытых относительно истинных (диалектических) суждений типа (10) позволяет сделать символическое размытое умозаключение путем решения этой системы по правилам, отличающимся от математических в той мере, в какой диалектическая логика отличается от классической, т.е. в меру влияния законов тождества и исключенного третьего.

В соотношениях (9) и (10) в случае допустимости линейной аппроксимации могут быть знаки «+» между компонентами, но в общем случае – более сложные отношения логического суммирования. Однако для значительного числа практических приложений допустима линеаризация объединения логических информации, характеризующих статику, кинематику и динамику исследуемого процесса при условии, что периодически (с учетом закона перехода количественных изменений в качественные) следует пересматривать константы  $n$ ,  $\tau$ ,  $L$ .

Если учесть не только изменение  $H$ , но и информацию восприятия  $J$ , то можно получить соотношения для  $C$ , аналогичные (10):

$$\begin{aligned}
 C_1 &= J_1^2/n_{11} + J_1J_2/n_{12} + \dots + \tau_{11} J_1' dJ_1/dt + \tau_{12} J_1' dJ_2/dt + \\
 &+ L_{11} J_1'' d^2J_1/dt^2 + L_{12} J_1'' d^2J_2/dt^2 + \dots,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_2 &= J_2 J_1 / n_{21} + J_2^2 / n_{22} + \dots + \tau_{21} J_2' dJ_1 / dt + \tau_{22} J_2' dJ_2 / dt + \\
&+ L_{21} J_2'' d^2 J_1 / dt^2 + L_{22} J_2'' d^2 J_2 / dt^2 + \dots, \\
C_i &= J_i^2 / n_{ij} + J_j J_i / n_{ij} + \dots + \tau_{ij} J_i' dJ_j / dt + \tau_{ij} J_j' dJ_i / dt + \\
&+ L_{ij} J_i'' d^2 J_i / dt^2 + L_{ij} J_j'' d^2 J_j / dt^2 + \dots, \\
&\dots \\
C_m &= J_m J_1 / n_{m1} + J_m J_2 / n_{m2} + \dots + J_m^2 / n_{mm} + \tau_{m1} J_m' dJ_1 / dt + \\
&+ \tau_{m2} J_m' dJ_2 / dt + \dots + \tau_{mm} J_m' dJ_m / dt + L_{m1} J_m'' d^2 J_1 / dt^2 + \\
&+ L_{m2} J_m'' d^2 J_2 / dt^2 + \dots + L_{mm} J_m'' d^2 J_m / dt^2.
\end{aligned} \tag{11}$$

В соотношениях (10) и (11)  $J_i'$  и  $J_i''$  отражают динамику изменения  $J_i$  при становлении понятий о материальных свойствах или объектах  $i$ -го вида.

На основе этих понятий разработаны обобщающие закономерности, информационные оценки, информационные модели систем различной физической природы.

Информационный подход нашел широкое применение в моделировании систем управления [3, 6], в исследовании многокритериальных задач [4, 9], отображении проблемных ситуаций с учетом взаимного влияния отображаемых объектов или материальных свойств исследуемого объекта [4, 10, 13 и др.], в сравнительном анализе иерархических структур [6, 8, 10, 11 и др.] (см. *Закономерность целостности*), в разработке проектов сложных технических комплексов [13] и т. д.

На базе информационных оценок разработаны методы организации сложных экспертиз [12] (см. *Методы организации сложных экспертиз*).

*Примечание.* В литературе термин *информационный подход* используется и в более широком смысле.

- 1. Денисов А. А. Теоретические основы кибернетики: информационное поле / А. А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1975. 2. Денисов А. А. Основы теории информационных целей: конспект лекций / А. А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1977. 3. Денисов А. А. Информация в системах управления: учеб. пособие / А. А. Денисов – Л.: ЛПИ, 1980. 4. Денисов А. А. Теория больших систем управления: учеб. пособие для вузов / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. 5. Волкова В. Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В. Н. Волкова, В. А. Воронков, А. А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. 6. Денисов А. А. Информационные основы управления / А. А. Денисов. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. 7. Денисов А. А. Введение в информационный анализ систем: текст лекций / А. А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1988. 8. Денисов А. А. Иерархические

системы: учеб. пособие / А.А. Денисов, В.Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989. 9. Волкова В.Н. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. 10. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 11. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е – СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 155–232. 12. Волкова В.Н. Методы организации сложных экспертиз / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. 13. Широкова С.В. Разработка информационных моделей системного анализа проектов сложных технических комплексов / С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. А.А. Денисов

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ (ИИ)** – область научного знания, объединяющая большое число направлений, занимающихся исследованием принципов и закономерностей мыслительной деятельности и моделированием задач, которые традиционно относят к интеллектуальным.

В настоящее время в число направлений ИИ включают работы от исследования принципов восприятия (моделирование органов зрения, осязания и т.п.) и моделирования функций мозга до специальных методов доказательства теорем, диагностики заболеваний, игры в шахматы, написания стихотворений и музыкальных произведений, сказок и т.п.

Теория искусственного интеллекта имеет достаточно длительную предысторию.

Идея создания искусственного подобия человека для решения сложных задач и моделирования человеческого разума возникла еще в древние времена (искусственные люди, логическая машина Р. Луллия и т.п.).

Однако формирование ИИ как научного направления начинается после создания ЭВМ (в 40-х гг. XX в.) и *кибернетики* (см.) Н. Винера, частью которой первоначально считались и работы по ИИ. А оформление ИИ в самостоятельную область знаний произошло в 50–60-е гг. XX в.

Термин «искусственный интеллект» – Artificial Intelligence (AI) – был предложен в 1956 г. на семинаре с аналогичным названием в Дартсмудском колледже (США).

В переводе с английского термин Intelligence буквально означает «умение рассуждать разумно», а не «интеллект» (Intellect), но он вполне отражает задачи этого научного направления.

Работы в области ИИ начинались с моделирования элементарных игр в кубики, крестики-нолики и т.п., с создания интеллектуальных роботов и планирования их поведения. Эти задачи являются классическими при обучении теоретическим основам ИИ. На идеях их решения разработаны основные модели представления знаний: продукционные, семантические сети, фреймы.

Но первыми работами, которые внесли существенный вклад в становление ИИ как науки, считают работы Ф. Розенблата и У. Мак-Каллока, создавших в 1956–1965 гг. первые нейронные сети и устройство, получившее название «перцептрон» (perceptron) [14, 22]; А. Ньюэлла, Дж. Шоу, Г. Саймона, создавших машину «Логик-теоретик», и других создателей «решателей задач» [7]; М. Минского (автора модели фрейма и фреймового представления знаний) [15].

Примерно в те же 50–60-е гг. XX в. началось становление ИИ и в нашей стране. Но в отличие от зарубежных исследователей, которые шли от моделирования игр, создания устройств восприятия типа «перцептрон» и интеллектуальных роботов (т.е. от практики, экспериментов), только в 90-е гг. XX в. появились их теоретические работы. В СССР пытались в первую очередь решить проблему методологически, концептуально.

В 1954 г. в МГУ под руководством А.А. Ляпунова начал работать семинар «Автоматы и мышление». В этом семинаре принимали участие физиологи, лингвисты, психологи, математики.

На различных семинарах и в печати в течение длительного периода обсуждались проблемы «Может ли машина мыслить?», «Можно ли создать электронный мозг, подобный мозгу человека?», «Почему невозможен искусственный интеллект» и т.п. Подобные дискуссии продолжались до 80-х гг. XX в. [12].

Предлагались различные концепции моделирования мозга – нейронная (А.В. Напалков), вероятностная (А.Б. Коган), полевая (В.В. Налимов) и т.п.

Проводились исследования закономерностей мышления и разумного поведения (В.Н. Пушкин [18, 21], Н.М. Амосов [3]), принципов и моделей творчества (Г.С. Альтшуллер [2 и др.], А.И. Половинкин [16]), эвристических решений ([1] и др.), работы по распознаванию образов (М.М. Бонгард [6], который в 60-е гг. XX в. разработал алгоритм «Кора», моделирующий деятельность человеческого мозга при распознавании образов), по со-

зданию лексических и семиотических основ моделирования задач ИИ (Ю.Д. Апресян [4] и др.). Большой вклад в становление отечественной школы ИИ внесли М.Л. Цетлин, М.А. Гаврилов.

Параллельно в 60–70-х гг. XX в. разрабатывались отдельные программы и проводились исследования в области поиска решения логических задач, доказательства теорем. Такие работы проводились в Ленинграде (Ленинградское отделение математического института им. В.А. Стеклова), в Киеве (в Институте кибернетики АН УССР под руководством В.М. Глушкова) и некоторых других научных центрах.

В качестве особого этапа в развитии ИИ необходимо отметить создание школы *ситуационного управления*, или *ситуационного моделирования*. Эта школа первоначально возникла в Московском энергетическом институте. Основателем школы является Д.А. Поспелов [18–20], который в последующем работал в ВЦ АН СССР. Идеи Д.А. Поспелова развивали его ученики – В.А. Вагин, создавший в последующем самостоятельное направление в рамках ИИ, Ю.И. Клыкков, Л.С. Загадская (Болотова) и др., разрабатывавшие лингвистические средства моделирования ситуаций и представления знаний [5, 13 и др.], явившиеся в последующем хорошей основой для развития ИИ.

Немаловажную роль в развитии ИИ сыграл в начале 70-х гг. XX в. семинар, проводимый при кафедре Кибернетики Московского инженерно-физического института (зав. кафедрой и руководитель семинара Л.Т. Кузин).

На этом семинаре обсуждались первые работы В.Ф. Хорошевского, внесшего в последующем значительный вклад в разработку интеллектуальных систем [9 и др.]. Под влиянием идей, обсуждаемых на семинаре, был разработан первый язык синтаксического типа РЕФАЛ (автор – В.Ф. Турчин, 1968 г.), ориентированный на символическое представление знаний.

Способствовали развитию отечественной школы ИИ международные конференции, проводимые в середине 70-х гг. XX в. в Тбилиси по инициативе В.В. Чавчанидзе.

После признания ИИ отдельной областью науки произошло разделение его на два основных направления: *нейрокибернетика* и кибернетика *«черного ящика»* (см.), являющаяся основой технической кибернетики. Эти направления развивались, различаясь как в методологии, так и в технологии.

На их основе возникали самостоятельные подходы и ответвления: модели лабиринтного поиска (конец 50-х гг. XX в.); эвристическое программирование (начало 60-х гг.); модели, базирующиеся на математической логике; системы, основанные на знаниях (начало 80-х гг.), или *экспертные системы* (см.); *когнитивный подход* (см.); логистическое направление ИИ [10]; концепция структурированной неопределенности и голономных систем ИИ [11].

В последнее время все большее распространение для обобщенного наименования систем искусственного интеллекта получает термин *интеллектуальные системы*.

Значительную роль в сближении различных направлений и объединении ученых, их развивающих, сыграли Научный совет по проблеме «Искусственный интеллект», созданный в 1974 г. при Комитете по системному анализу при Президиуме Академии наук СССР (председатель Г.С. Поспелов), и учрежденная в 1988 г. Ассоциация искусственного интеллекта (президент Д.А. Поспелов).

В современном представлении ИИ определяют как научное направление, целью которого является разработка аппаратно-программных средств, позволяющих пользователю-непрограммисту ставить и решать свои, традиционно считающиеся интеллектуальными задачи, общаясь с ЭВМ на ограниченном подмножестве естественного языка [9].

Такое определение охватывает практически все направления работ, проводимых в обширной области знаний, называемой искусственным интеллектом. И в такой трактовке результаты исследований в области ИИ наиболее интересны для исследования развивающихся систем и решения задач системного анализа.

- 1. Александров Е. А. Основы теории эвристических решений. Подход к изучению естественного и построению искусственного интеллекта / Е.А. Александров. – М.: Радио и связь, 1975.
- 2. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука / Г.С. Альтшуллер. – М.: Сов. радио, 1979.
- 3. Амосов Н. М. Искусственный разум / Н.М. Амосов. – Киев: Наукова думка, 1969.
- 4. Апресян Ю. Д. Лексическая семантика: семиотические средства языка / Ю.Д. Апресян. – М.: Наука, 1974.
- 5. Болотова Л. С. Системы искусственного интеллекта: теоретические основы СИИ и формальные модели представления знаний: учеб. пособие / Л.С. Болотова, М.Я. Комаров, А.А. Смольянинов. – М.: Изд-во МИРЭА (ТУ), 1998.
- 6. Бонгард М.М. Распознавание образов / М.М. Бонгард. – М.: Наука, 1973.
- 7. Вычислительные машины и мышление. – М.: Мир, 1967.
- 8. Газе-Рапопорт М.Г. Порождение структур волшебных сказок: препринт / М.Г. Газе-Рапопорт, Д.А. Поспелов, Е.Т. Семенова. – М.: АН СССР, 1980.
- 9. Гаврило-

- ва Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. 10. Девятков В. В. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие / В.В. Девятков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 11. Игнатъев М. Б. Голономные автоматические системы / М.Б. Игнатъев. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. 12. Искусственный интеллект: за и против // Кибернетика: перспективы развития. – М.: Наука, 1981. – С. 74–124. 13. Клыков Ю. И. Ситуационное управление большими системами / Ю.И. Клыков. – М.: Энергия, 1974. 14. Мак-Маллок У. С. Логическое исчисление идей, имитирующих нервную активность / У.С. Мак-Маллок, В. Питс // Нейрокомпьютер. – 1992. – № 3, 4. – С. 40–53. 15. Минский М. Фреймы для представления знаний / М. Минский. – М.: Мир, 1979. 16. Половинкин А. И. Методы инженерного творчества / А.И. Половинкин. – Волгоград: Изд-во ВолгПИ, 1984. 17. Поспелов Г. С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г.С. Поспелов. – М.: Наука, 1988. 18. Поспелов Д. А. Мышление и автоматы / Д.А. Поспелов, В.Н. Пушкин. – М.: Сов. радио, 1972. 19. Поспелов Д. А. Фантазия или наука: на пути к искусственному интеллекту / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1982. 20. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. 21. Пушкин В. Н. Оперативное мышление в больших системах / В.Н. Пушкин. – М.: Энергия, 1965. 22. Розенблат Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга / Ф. Розенблат. – М.: Мир, 1965. 23. Станкевич, Л. А. Интеллектуальные технологии и представление знаний. Интеллектуальные системы / Л.А. Станкевич. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000.

*Л.С. Болотова, В.Н. Волкова*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ** – междисциплинарное направление, возникновение которого предшествовало становлению и развитию теории систем.

Это направление возникло в связи с задачами военного характера [1, 2, 5, 8 и др.]. Предметом исследования операций (ИО) являются разработка методов анализа целенаправленных действий (операций) и объективная сравнительная оценка решений.

Основные отличия исходной концепции ИО от предшествующих математических методов принятия решений заключались в следующем:

- предполагалась разработка нескольких *вариантов решений*, нескольких путей достижения цели, отличных от традиционных;
- при выборе решения допускался учет не только *количественных*, но и *качественных критериев*, что позволяло обеспечить большее соответствие решения реальной действительности и большую его объективность;
- для организации процесса принятия решений разрабатывалась *методика*;

- предлагаемые методики содержали разное число этапов, но обязательным и одним из наиболее ответственных этапов являлась постановка задачи;

- учитывалось, что *операция не изолирована от других*, которые хотя и не интересуют в данный момент заказчика, но могут повлиять на ход и результаты операции; поэтому в той или иной форме предусматривались этапы сбора информации и анализа факторов, влияющих на принятие решения, выявление релевантных (наиболее значимых) факторов, формулировка условий, определяющих допустимые решения и их качество;

- важную роль в постановке задачи и организации исследования операций играли также учет интересов людей и коллективов, принимающих участие в операции, и прогноз влияния принимаемых решений на их поведение.

В соответствии с этими принципами в первых методиках выделялось по 4–5 этапов. Например, Э. Квейд [4] выделяет следующие этапы: 1. Постановка задачи – определение существа проблемы, выявление целей и определение границ задачи. 2. Поиск – сбор необходимых сведений, определение альтернативных средств достижения целей. 3. Толкование – построение модели и ее использование. 4. Рекомендация – определение предпочтительной альтернативы или курса действий. 5. Подтверждение – экспериментальная проверка решения.

Другая методика [4] содержит следующий перечень этапов: постановка задачи; определение релевантных факторов, влияющих на решение задачи; разработка вариантов решения; разработка и исследование модели выбора решения.

В наиболее развитых методиках было и большее число этапов. При этом формулировки этапов связывались с выбранными методами исследования.

Распространение идей ИО совпало с развитием методов *математического программирования* (см.), которые, в отличие от чисто математических методов, имеют некоторые средства постановки задачи, позволяют получать область допустимых решений и варианты решений. Кроме того, модель математического программирования позволяет учитывать несколько критериев (в виде целевой функции и ограничений), что повышает объективность принятия решений. Поэтому многие работы по ИО (особенно зарубежные) базировались на методах математического программирования и отражали это в методике ИО.

Например, на основе обобщения работ, посвященных этому направлению [1, 5, 6, 8 и др.], в [7] предлагается 7 этапов: 1) постановка задачи; 2) построение математической модели явления или операции; 3) сбор и обработка исходной информации; 4) анализ модели и получение решения; 5) проверка адекватности модели явлению и анализ качества решения; 6) корректировка модели и решения; 7) реализация результатов решения.

В такой постановке модели ИО нашли довольно широкое распространение не только в военной сфере, но и в других прикладных областях.

Наряду с направлением, ориентированным на модели математического программирования, развивалось и направление ИО, базирующееся на *математической статистике*. Это направление активно развивала Е.С. Вентцель [2]. В последующем она включила в число методов ИО и теорию игр, и математическую логику, графы и другие методы дискретной математики [3].

Таким образом, сложился ряд направлений ИО, основанных на применении различных методов: операции *управления запасами*, операции *установления износа и замены оборудования*, операции *распределения*, операции *составления расписания и календарного планирования*, т.е. направлений, базирующихся на всех основных задачах *математического программирования* (см.), и, кроме того, операции *массового обслуживания*, конфликтные операции, базирующиеся на применении *теории игр* (см.) и т.д.

В некоторых работах сохранялась исходная концепция ИО и основное внимание уделялось качественному анализу, позволяющему найти наиболее существенные характеристики операции, что помогает получить более обоснованную формальную модель, а при их исследовании применялись не только методы математического программирования и статистического моделирования, но и методы экспертных оценок и специально организованных «деловых игр».

Несмотря на широкое распространение методологии ИО в различных прикладных областях, все же исходная терминология этого направления (в частности, собственно понятие «операция») часто трудно интерпретируется в практических условиях проектирования сложных технических комплексов, в экономических задачах, при решении проблем организации производства и управления предприятиями, научно-исследовательскими организациями, объектами непромышленной сферы и т.п. Поэтому в пос-

ледующем более востребованной стала прикладная теория систем – *системный анализ* (см.), в соответствии с принципами которого наряду с перечисленными особенностями ИО предусматривается еще и процедура формулирования целей, целеобразования, методики структуризации и анализа целей.

- 1. А ко ф ф Р. Основы исследования операций: пер. с англ. / Р. Акофф, М. Сасиени. – М.: Мир, 1971. 2. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. 3. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. 4. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций / Ю.И. Дегтярев. – М.: Высшая школа, 1996. 5. Квейд Э. Анализ сложных систем / Э. Квейд. – М.: Сов. радио, 1969. 6. Кофман А. Методы и модели исследования операций: пер. с фр. / А. Кофман. – М.: Мир, 1966. 7. М а т е м а т и к а и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 168–172. 8. Черчмен У. Введение в исследование операций: пер. с англ. / У. Черчмен, Р. Акофф, Л. Арноф. – М.: Наука, 1968.

В.Н. Волкова



**КАУЗАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ** – описание системы в терминах влияния одних переменных на другие, без употребления понятий *цели* (см.) и *средств* достижения целей. Термин происходит от понятия *cause* – причина, т.е. подразумевает причинно-следственные отношения.

При каузальном представлении будущее состояние системы определяется предыдущими состояниями и воздействиями среды. Оно является развитием отображения системы в виде «пространства состояний», характерного для большинства математических методов моделирования.

Применяется каузальное представление в случае предварительного описания системы, когда цель сразу не может быть сформулирована, и для отображения системы или проблемной ситуации не может быть применено *аксиологическое представление системы* (см.).

- 1. М а т е м а т и к а и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 355, 622.

В.Н. Волкова

**КВАДРАТИЧНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – раздел *нелинейного программирования* (см.), включающий совокупность методов

решения экстремальных задач, в которых целевая функция представляет собой многочлен второй степени, а ограничения – линейные функции.

Задача квадратичного программирования (КП) может быть записана в матричной форме следующим образом:

$$\begin{cases} f(x) = x' D x + (c, x) \rightarrow \max, \\ A x = b, \\ x \geq 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $x$  –  $n$ -мерный вектор-столбец;

$x'$  –  $n$ -мерная вектор-строка;

$c'$  –  $n$ -мерная вектор-строка;

$b$  –  $m$ -мерный вектор-столбец;

$A$  – матрица размера  $m \times n$ ;

$D$  – симметрическая квадратная матрица порядка  $n$ ;

$x' D x = (x' D, x) = (x, D x)$ .

Решить задачу КП – это значит найти точку  $x^* \in \Omega$ , для которой достигается максимум функции

$$f(x^*) = \max_{x \in \Omega} f(x), \quad (2)$$

где  $\Omega$  – множество допустимых планов задачи, определяемое системой ограничений  $A x = b, x \geq 0$ .

Если  $D = 0$ , то задача сводится к задаче *линейного программирования* (см.). Если целевая функция задачи КП ограничена сверху, то задача обязательно имеет оптимальное решение, т.е. точку глобального максимума.

Для нахождения глобального максимума общей задачи (1) не существует эффективных вычислительных методов.

В настоящее время развиты методы *выпуклого КП* – раздела *выпуклого программирования* (см.), который занимается задачами поиска глобального максимума выпуклой квадратичной функции на многогранном множестве. В этом классе задач доказано, что если матрица  $D$  является отрицательно определенной, то целевая функция (1) будет ограничена сверху, и задача (1) будет иметь оптимальное решение, притом единственное (при условии, что допустимое множество непусто).

Важное место в выпуклом КП занимает *двойственная задача*.

В соответствии с общим принципом двойственности для задачи (1) двойственная задача имеет вид:

$$L(\lambda) = -x'Dx + (\lambda, b) \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\text{при условиях } 2Dx + A'\lambda \geq c, x \geq 0, \quad (4)$$

где  $A'$  – матрица, транспонированная по отношению к  $A$ ;

$c$  –  $n$ -мерный вектор-столбец;

$\lambda$  –  $m$ -мерный вектор-столбец.

В линейном случае (при  $D = 0$ ) определение двойственной задачи (3) – (4) совпадает с принятым в линейном программировании.

Как и в случае линейного программирования, в КП имеет место *теорема двойственности*:

Если одна из задач двойственной пары разрешима, то и другая задача также разрешима, причем экстремальные значения обеих задач равны.

Условие Куна–Такера для выпуклой задачи (1) – (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} Ax &= b, \\ 2Dx &\rightarrow A'\lambda + v = -c', \\ x_j v_j &= 0, j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, для того чтобы вектор  $x^0$  был решением задачи (1) – (2), необходимо и достаточно существование вектора  $v^0 \geq 0$  и вектора  $\lambda^0$ , таких, чтобы система векторов  $x^0, v^0, \lambda^0$  удовлетворяла условию (5). Любой  $(2n + m)$ -мерный вектор  $\{x, v, \lambda\}$ , который является решением системы (5) при условии  $x \geq 0, v \geq 0$ , будет крайней точкой многогранного множества, т.е. базисным решением системы:

$$\begin{aligned} Ax &= b, \\ 2Dx - A'\lambda + v &= c. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом условия (6) решение задачи КП сводится к нахождению базисных решений многогранных множеств, что может быть успешно осуществлено симплекс-методом линейного программирования за конечное число шагов.

Кроме общих методов выпуклого программирования специально для задачи выпуклого КП разработано много *численных методов*, включая конечные [4]. Наиболее употребительными конечными методами являются: симплексный метод Билла, метод сопряженных градиентов, симплексный метод Вулфа. Эффективность того или иного метода существенно зависит от специфики решаемой задачи.

- 1. Зангвилл У. И. Нелинейное программирование: единый подход: пер. с англ. / У.И. Зангвилл. – М.: Наука, 1973. 2. Зойтендейк Г. Методы возможных направлений: пер. с англ. / Г. Зойтендейк. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1963. 3. Зуховицкий С. И. Линейное и выпуклое программирование / С.И. Зуховицкий, Л.И. Авдеева. – М.: Наука, 1964. 4. Кюнцци Г. П. Нелинейное программирование: пер. с нем./ Г.П. Кюнцци, В. Крелле. – М.: Мир, 1965. 5. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 180–182. 6. Ногин В. Д. Основы теории оптимизации: учеб. пособие / В.Д. Ногин, И.О. Протодяконов, И.И. Евлампиев. – М.: Высш. школа, 1986. 7. Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование / Дж. Хедли. – М.: Мир, 1967. 8. Эрроу К. Дж. Исследования по линейному и нелинейному программированию: пер. с англ. / К. Дж. Эрроу, Х. Гурвиц, Х. Удзава. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1962.

*В.Н. Юрьев*

**КИБЕРНЕТИКА** – термин, принятый для названия «науки об управлении в живых организмах и машинах» Норбертом Винером и получивший широкое распространение в середине XX в.

Термин *кибернетика*\* соответствует различным переводам с греческого κυβερνητης (кормчий, кибернет) – в латинское слово gubernator, французское – gouverneur, русское – «губернатор» и т.д. и другим вариантам этого корневого слова – κυβερναω (управляю кораблем), κυβερνητιχη (управление кораблем), ηξυβερνητιχη τεχνη (искусство кормчего, искусство управления кораблем) и т.п. [16].

Термин «губернатор» первоначально тоже означал кормчего и только затем – правителя. В современном греческом языке κυβερνητης (кивернитес) значит «правитель» и «капитан»; κυβερνητης (кибернисис) – «правительство» и κυβερνητικος (кибернитикос) – «правительственный» [16].

---

\* Материал об истории термина «кибернетика» собран О. Андреевой, С. Васильевым и Ю. Фетисовым, членами юношеской секции «Кибернетика – Информатика – Системный анализ» при Доме ученых им. М. Горького СПб. отделения РАН [20].

Исторически термин «кибернетика» возник не в XX в. Его использовал для названия науки об управлении М.А. Ампер, до него – древнегреческий философ Платон, а независимо, в тот же период, что и Ампер, – польский философ Ф. Трентовский [16].

Платон использовал термин «кибернетика» применительно к управлению обществом и пытался превратить политическую кибернетику из искусства в науку. Он учил, что искусство кормчего само не порождает добро и что правитель должен быть в первую очередь философом.

Мари-Анри Ампер, занимаясь важной проблемой науковедения – вопросом классификации наук, в работе «Опыт о философии наук, или Аналитическое изложение естественной классификации всех человеческих знаний» (1843 г.) высказал мысль о том, что в будущем, вероятно, возникнет новая наука об общих закономерностях процессов управления, и предложил именовать ее кибернетикой. Роль кибернетики у Ампера – текущая политика, практическое управление государством. Кибернетику Ампер отнес к наукам третьего порядка, которая с теорией власти объединялась в науку второго порядка – *политику* в собственном смысле. Проект кибернетики – лишь часть глобального проекта Ампера развития общественных наук; можно считать, что Ампер фактически применял *системный подход*.

В том же 1843 г. термин «кибернетика» (*cybernetyka*) для обозначения практической политики употребил независимо от Ампера польский философ Фердинанд-Бронислав Трентовский. Он был автором романтически окрашенной идеалистической философской системы, задуманной как синтез всех предшествующих систем и названной им национальной философией. Он принадлежал к тому течению польской мысли, которое верило в особую религиозно-историческую миссию своей отчизны и получило название польского мессианизма. В 1843 г. он опубликовал в Познани книгу «Отношение философии к кибернетике, или искусству править народом». Точка зрения Трентовского значительно отличается от точки зрения Ампера. Польский философ-романтик отводит политической науке важную роль созидательницы идеалов, примирительницы противоречивых взглядов, но практическую политику («кибернетику») считает областью свободного действия, выходящего за пределы всякой теории и определяемого волей правителя – «кибернета». Кибернетика по Трентовскому соответствует науке, которую Ампер назвал теорией власти.

Видимо, американский математик Норберт Винер, когда ввел термин «кибернетика», не знал о кибернетике Ампера и Платона и предполагал, что создает неологизм. Он за основу взял английское слово *governor* (регулятор) у Максвелла.

В то же время Винер по праву назван отцом кибернетики. Его книга «Кибернетика», впервые опубликованная в 1948 г. [4], потрясла многих неожиданностью выводов.

«Кибернетический взрыв», совершенный Винером, был подготовлен в процессе накопления знаний.

Сближение технических средств, используемых и в физиологии, и в автоматике, сопровождается взаимным обменом принципами построения структурных схем, идеями *моделирования, методами анализа и синтеза систем.*

В 30–40-е гг. XX в. в разных странах возникают группы ученых, ведущих поиск совместных подходов физики, математики, техники, физиологии к проблемам связи и управления.

Например, академик И.И. Артоболевский, биофизик академик П.П. Лазарев, физиолог Лапиг из Франции и специалист по вычислительной математике Куффиньяль из той же страны собирали ученых для обсуждения общих проблем. В Англии в 1936 г. математик Тьюринг опубликовал работу, описывающую абстрактную вычислительную машину.

В США инициатором объединения ученых многих специальностей для совместного обсуждения далеких, казалось бы, одна от другой проблем в 1936 г. стал крупный математик Н. Винер, который в 1934 г. в Принстоне собрал на семинар группу нейрофизиологов, инженеров-связистов, конструкторов вычислительной техники, ранее не знавших друг друга и удивленных тем, что они заговорили на одном научном языке, хотя словарь языка содержал термины из их столь разных наук.

На этом семинаре был принят ряд обобщающих терминов: слово «память» объединило различные методы хранения информации, термин «обратная связь» перешел из электротехники и автоматике в науку о живых организмах, принято измерение количества информации битом. Впоследствии Винер писал: «Я считаю, что встреча в Принстоне дала жизнь новой науке кибернетике».

Таким образом, Винер дважды стал создателем кибернетики. Сначала – заложив ее теоретические основы, а затем – завоевав ей официальное и всеобщее признание.

Группа Винера для развития своих идей использовала все, что можно было, скрупулезно ссылаясь на работы разных ученых в самых неожиданных областях науки.

В нашей стране вначале кибернетика не признавалась наукой. В 50-е гг. XX в. ее запрещали, называли лженаукой, потом мягче – «художественным приемом»\*.

Большую роль в становлении кибернетики как науки в Советском Союзе сыграли Совет по проблеме «Кибернетика» при Академии наук СССР, созданный в 1959 г. академиком А.И. Бергом, и Секция кибернетики имени академика А.И. Берга, основанная при Ленинградском Доме ученых имени М. Горького в 1956 г., которую вначале возглавлял академик Л.В. Канторович, с начала 1958 по 2000 г. – Л.П. Крайзмер, автор ряда работ по кибернетике ([10, 12] и др.) и одного из ее основных направлений – теории памяти (мнемологии) [11], а с 2000 г. – М.Б. Игнатьев, развивающий концепцию структурированной неопределенности и голономных систем [8], *артонику* и другие новые направления в теории *искусственного интеллекта* (см.).

Более подробно с историей секции кибернетики и развитием кибернетических исследований в Ленинграде – Санкт-Петербурге можно познакомиться в [5].

После признания кибернетики в нашей стране какой-то период в 70-х гг. XX в. термин «кибернетика» использовался как обобщающий для названия всех системных направлений, а в дальнейшем стал использоваться в более узком смысле – как направление, занимающееся процессами управления техническими объектами, разработкой технических аналогов живых организмов (роботов), созданием сложных технических комплексов, систем искусственного интеллекта.

Идеи кибернетики используются также в различных прикладных областях – в биологии (биокибернетике), медицине и т.д. Сформировался спектр разнообразных теоретических и прикладных направлений кибернетики. Есть попытки классифицировать эти направления.

Например, академик А.И. Берг предлагал разделить все кибернетические исследования на следующие три основные части [1, 2]:

1) *общая*, или *теоретическая*, кибернетика, которая имеет дело с общими математическими моделями управления и представляет собой, по существу, математическую или физико-математическую дисциплину;

---

\* Воронов А.А. Основы теории автоматического управления: автоматическое регулирование непрерывных линейных систем / А.А. Воронов. – 2-е изд., перераб. - М.: Энергия, 1980. – С. 3.

2) *техническая* кибернетика, областью которой является техническая реализация различных сложных объектов – *робототехника*, разработка *технических комплексов, систем управления техническими объектами*;

3) *прикладная* кибернетика, объединяющая различные прикладные направления кибернетики – *биологическая, медицинская, экономическая, военная, сельскохозяйственная, педагогическая, психологическая* и т.д.

В то же время существуют мнения, что техническую кибернетику можно было бы отнести и к прикладной или, напротив, все прикладные направления выделить самостоятельно.

Наивысшим достижением кибернетики считают модели *искусственного интеллекта* (см.).

Вначале пытались создать полностью автоматические системы искусственного интеллекта (например, программы для игры в шахматы). Однако в последнее время нарастает число сторонников реализации более сложных функций интеллекта в форме диалога человека и ЭВМ.

Важную роль в развитии теории моделирования сложных систем сыграла кибернетическая модель «вход – выход», так называемый «*черный ящик*» (см.). Системы, отображаемые такой моделью, иногда выделяют в отдельный класс *кибернетических систем*.

К кибернетике относят также исследования в области вычислительной техники, систем связи, разработки и использования некоторых классов *информационных систем* (см.).

Наиболее известными отечественными работами в области кибернетики являются двухтомный учебник «Основы кибернетики» под редакцией заведующего кафедрой кибернетики Московского инженерно-физического института Л.Т. Кузина [13], организовавшего в 70-е гг. XX в. один из наиболее результативных ежемесячных семинаров по кибернетике; работы (в том числе популярного характера) рижского ученого Л.А. Растригина [6, 17, 18 и др.]; монографии и учебники ленинградского кибернетика Л.П. Крайзера [10 – 12 и др.], а для экономических приложений – работы и учебник Н.Е. Кобринского, Е.З. Майминаса и др. [9].

Из зарубежных работ на развитие кибернетики большое влияние оказали исследования У.Р. Эшби ([19] и др.).

Термин *кибернетика* и в настоящее время используется неоднозначно. Некоторые исследователи продолжают считать этот

термин обобщающим для междисциплинарных направлений, другие рассматривают кибернетику как одно из направлений *теории систем* (см.) и *системного анализа* (см.), занимающееся процессами управления преимущественно техническими объектами, а для обобщения междисциплинарных направлений, связанных с исследованием и проектированием сложных систем, используются термины *системные исследования* (см.) или *системный подход* (см.).

- 1. Берг А. И. Основные вопросы кибернетики: доклад на заседании Президиума АН СССР 10 апреля 1959 г. / А.И. Берг. Избранные труды. Т. II. – М.-Л.: Энергия, 1964. – С. 34–38.
- 2. Берг А. И. Кибернетика – наука об оптимальном управлении / А.И. Берг. – М.-Л.: Энергия, 1964.
- 3. Бирюков Б. В. Кибернетика и методология науки / Б.В. Бирюков. – М.: Мысль, 1974.
- 4. Винер Н. Кибернетика: или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – М.: Наука, 1983.
- 5. Волкова В. Н. Секция кибернетики имени академика А.И. Берга Дома ученых РАН им. М. Горького / В.Н. Волкова, М.Б. Игнатъев. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002.
- 6. Граве П. Кибернетика и психика / П. Граве, Л. Растригин. – Рига: Зинатне, 1973.
- 7. Грневский Г. Кибернетика без математики: пер. с польского / Г. Грневский. – М.: Советское радио, 1964.
- 8. Игнатъев М. Б. Голономные автоматические системы / М.Б. Игнатъев. – М.: Изд-во АН СССР, 1963.
- 9. Кобринский Н.Е. Экономическая кибернетика: учеб. для вузов / Н.Е. Кобринский, Е.З. Майминас, А.Д. Смирнов. – М.: Экономика, 1982.
- 10. Крайзмер Л. П. Техническая кибернетика / Л.П. Крайзмер. – М.-Л.: Энергия, 1964.
- 11. Крайзмер Л. П. Хранение информации в кибернетических системах / Л.П. Крайзмер. – М.: Советское радио, 1967.
- 12. Крайзмер Л. П. Кибернетика: учеб. пособие / Л.П. Крайзмер. – М.: Экономика, 1977.
- 13. Кузин Л. Т. Основы кибернетики: учеб. пособие для вузов. В 2-х т. / Л.Т. Кузин. – М.: Энергия. – Т. 1. Математические основы кибернетики, 1973. – Т. 2. Основы кибернетических явлений, 1979.
- 14. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975.
- 15. Методологические проблемы кибернетики: В 2 т. – М.: МГУ, 1970.
- 16. Поваров Г. Н. Ампер и кибернетика / Г.Н. Поваров. – М.: Советское радио, 1977.
- 17. Растригин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растригин. – М.: Радио и связь, 1980.
- 18. Растригин Л. А. Кибернетика как она есть / Л.А. Растригин, П.С. Граве. – М.: Молодая гвардия, 1975.
- 19. Эшби У. Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: ИЛ, 1959.
- 20. Андреева О. Из истории кибернетики / О. Андреева, Г. Бендииков, С. Васильев и др. / Под ред. В.Н. Волковой и Л.В. Фетисовой. – СПб.: Изд-во «Нестор», 2000.

*В.Н. Волкова*

**КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД** (от лат. *cognitio* – знание, познание) – подход, базирующийся на идеях *когнитивной психологии* – одного из динамично развивающихся направлений.

Истоки когнитивного подхода (КП) прослеживаются, начиная с работ древнегреческих мыслителей (учение об универсалиях Платона, его теория памяти, аристотелевские законы ассоциации и принципы рассуждения, составляющие основу логического мышления).

Оформление КП как особой дисциплины обычно связывают с именем У. Найссера, опубликовавшего в 1967 г. книгу с изложением этого подхода (Neisser U. *Cognitive Psychology*. – N.Y.), которая стала в определенном смысле программной.

К числу важнейших принципов КП относится трактовка человека как действующего, активно воспринимающего и продуцирующего информацию, руководствующегося определенными планами, правилами, стратегиями.

Для КП характерна специфическая направленность исследований, выражающаяся в движении от понимания сложного феномена к пониманию простого.

Первоначально основной задачей КП было изучение преобразования информации, происходящее с момента поступления сигнала в органы чувств до получения ответа. При этом сторонники КП исходили из уподобления процессов переработки информации человеком тем, которые протекают в вычислительном устройстве (так называемая «компьютерная метафора»). В настоящее время все больше подчеркивается ограниченность подобного рода аналогий. Однако использование динамических моделей для описания мыслительных процессов играет значительную позитивную роль в развитии КП. Стремление выявить и описать закономерности преобразования информации в процессе ее передачи, восприятия, переработки и хранения дало возможность использовать определенные математические формализмы, привело к появлению в языке отображения проблемных ситуаций таких понятий, как сигнал, фильтр, информационный поток и т.п.

Существенное влияние на развитие КП оказали *теория информации* и исследования в области *искусственного интеллекта* (см.). Еще одной сферой, оказавшей большое влияние на развитие КП, стали исследования в области *математической лингвистики* (см.), в частности, так называемые трансформационные грамматики, разработанные Н. Хомским.

В настоящее время КП в психологии испытывает определенные трудности, связанные с обилием моделей, предлагаемых для интерпретации различных аспектов мыслительного процесса, и

отсутствием достаточных оснований для аргументированного выбора среди них.

Разработка ряда формализованных моделей мыслительных процессов, отражающих современные гипотезы о их протекании в мозге человека (когнитивных моделей), положила начало применению КП при моделировании мыслительных процессов на ЭВМ. Появился термин «когнитивные системы» как разновидность *интеллектуальных систем* [4], использующих когнитивные модели. Интеллектуальные системы, использующие такие модели, приобретают возможности познания, накопления знаний в процессе функционирования и мышления, т.е. разумного оперирования этими знаниями при решении сложных задач.

В последующем когнитивные модели стали применяться для моделирования социально-экономических систем.

Системная методология реализуется при когнитивном моделировании путем формирования когнитивных карт, отображающих знания экспертов об исследуемом процессе. Когнитивная карта формируется в виде произвольного графа. Существуют различные способы формирования когнитивных карт.

Например, в [2, 3] вершины когнитивной карты социально-экономической системы соответствуют блокам показателей: конечное потребление, производство, занятость, доходы населения, валовое накопление, федеральные регулирующие системы, межрегиональный внешнеэкономический обмен, природная среда, население.

Для разработки рекомендаций необходимо каждый блок развернуть до соответствующей когнитивной карты, отражающей состояние изучаемой социально-экономической системы. Характер взаимного влияния вершин отражен в когнитивной карте знаками «+» и «-». На основе когнитивной карты проводится сценарное моделирование, результаты которого отражаются на графиках, с помощью которых можно судить о ходе процессов в системе (монотонных, резонансных, неустойчивых). При выборе варианта процесса можно руководствоваться критериями монотонности процесса, минимизации числа управляющих воздействий и числа шагов, за которые будут достигнуты желаемые значения параметров.

Может проводиться анализ укрупненных когнитивных карт либо формируются двухуровневые карты (как, например, при анализе региональной системы образования в [1]).

- 1. Горелова Г. В. Региональная система образования: методология комплексных исследований / Г. В. Горелова, Н. Х. Джаримов. – Майкоп, 2002.
- 2. Горелова Г. В. Моделирование и выбор сценариев социально-эконо-

мических систем / Г.В. Горелова // В сб.: Менеджмент, экономика и финансы: региональное управление. – Таганрог, Изд-во ТИУиЭ, 2003. – С. 152–155. 3. Гранберг А.Г. Основы региональной экономики / А.Г. Гранберг. – М.: ГУ ВШЭ, 2000. 4. Найссер У. Познание и реальность / У. Найссер. – М., 1981. 5. Современная западная философия: словарь. – М.: Изд-во полит. лит., 1991. – С. 127–128. 6. Солто Р. Когнитивная психология / Р. Солто. – М.: Мир, 1996. 7. Станкевич Л.А. Интеллектуальные технологии и представление знаний. Интеллектуальные системы / Л.А. Станкевич. – СПб: Изд-во СПбГТУ, 2000. В.Н. Волкова

**КОМБИНАТОРИКА** – одно из направлений математики, предшествовавшее и ставшее в дальнейшем основой *дискретной математики* (см.).

Элементы комбинаторики возникли в древней математике\*.

*Элементарная комбинаторика*, характерная для древней математики, рассматривала фигурные числа, «магические» квадраты, гномоны, комбинаторные правила отыскания многоугольных фигурных чисел, формирования числовых магических квадратов и т.п. Позднее это были *матричные* построения, правила подсчета числа *сочетаний, перестановок, размещений с повторениями* и т.п.

Первые теоретические построения комбинаторики начались в XVII в. и связаны с именами Блеза Паскаля («Трактат об арифметическом треугольнике», 1665 г.), Пьера Ферма, Кристиана Гюйгенса, Якоба Бернулли («Искусство предположений», работа опубликована после смерти автора в 1713 г.), с ранними работами Георга Лейбница (он в 1666 г. в возрасте 20 лет подготовил сочинение на тему «Рассуждение об искусстве комбинаторики», ставшее основой его диссертации). Немалое место комбинаторика занимала и в работах Леонарда Эйлера, который в 18–19 лет проявлял интерес к магическим квадратам, а в дальнейшем посвятил комбинаторным задачам свыше 10 специально написанных им сочинений и ряд неопубликованных рукописей.

В конце XVIII в. попытку построения общей теории комбинаторики предпринял немецкий математик Карл Фридрих Гинденбург, написавший трактат «Новая система перестановок, комбинаций и вариации...» (Лейпциг, 1781 г.).

---

\* Обзор истории развития комбинаторных знаний подготовлен студентом А.С. Леоновым [10].

Главные понятия теории Гинденбурга – соединения и комплексы соединений. На комплексах определяются операции. Предложенные им положения были распространены на бесконечные ряды и на дробно-рациональные показатели степени, но сделано это без учета сходимости рядов и других требований, обязательных в математическом анализе.

Постепенно задачи усложнялись, развивались средства комбинаторики, в XIX в. стали применяться *графические средства, таблично-матричный и схемный аппарат, конечно-геометрические методы*.

На основе графических средств комбинаторики возникли *теория графов* (графические построения в комбинаторике применялись и ранее, но возникновение первых теоретико-графовых работ связывают с именем Л. Эйлера), *топология* (термин введен Иоганном Бенедиктом Листингом, учеником Гаусса).

*Таблично-матричный* аппарат развивали многие математики. Теорию определителей развивали А. Коши, К.Г. Якоби. Применяемая в настоящее время для обозначения определителя квадратная таблица, окаймленная вертикальными отрезками прямых, впервые была введена А. Кэли, работы которого сыграли основополагающую роль в формировании матричного исчисления.

На основе *конечно-геометрических* идей во второй половине XIX в. появились дискретные геометрии, в том числе конечные, возникновению которых способствовали работы Н. Лобачевского, Б. Римана, Д. Гильберта.

В XX в. был предпринят ряд попыток построения общей теории комбинаторики: систематическое изложение истории возникновения и понятий комбинаторики дал Е. Нетто; теорию комбинаторного анализа, базирующуюся на новой трактовке теории производящих функций Лапласа в терминах симметрических функций, разработал английский математик Мак-Магон.

Мощный стимул для своего развития получила комбинаторика в 40-е гг. XX в. благодаря развитию вычислительной техники, которая обеспечила ряд полезных для теории систем и системного анализа возможностей: облегчение перебора вариантов решения; появление реальных возможностей решать комбинаторные задачи экстремального характера (см. *Комбинаторные экстремальные задачи*); возможность моделирования сложных систем с большим числом элементов.

В результате в научной математической литературе 50-х гг. XX в. произошел «комбинаторный взрыв». Резко возросло число работ, в которых ставились и решались теоретические и прикладные задачи комбинаторного характера, а в 70-е гг. появилась серия монографий [2–9], где с различных позиций рассматривалась проблема построения общей комбинаторной теории.

Разновидностью комбинаторики являются *морфологические методы* (см.).

- 1. Рыбников К. А. История математики / К.А. Рыбников. – М.: Изд-во МГУ, 1994.
  - 2. Рыбников К. А. Введение в комбинаторный анализ / К.А. Рыбников. – М.: Изд-во МГУ, 1972, 2-е изд., 1985.
  - 3. Райзер Дж. Комбинаторная математика / Дж. Райзер. – М.: Мир, 1966.
  - 4. Риодан Дж. Введение в комбинаторный анализ / Дж. Риодан. – М.: ИЛ, 1963.
  - 5. Сачков В. Н. Комбинаторные методы дискретной математики / В.Н. Сачков. – М., 1977.
  - 6. Сачков В. Н. Вероятностные методы в комбинаторном анализе / В.Н. Сачков. – М., 1978.
  - 7. Сачков В. Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики / В.Н. Сачков. – М., 1982.
  - 8. Холл М. Комбинаторный анализ / М. Холл. – М.: Иностран. лит., 1963.
  - 9. Холл М. Комбинаторика / М. Холл. – М.: Мир, 1970.
  - 10. Андреева О. Из истории школьной математики / О. Андреева, Г. Бендиков, С. Васильев и др. (школьники-члены юношеской секции «Кибернетика – Информатика – Системный анализ»)/Под ред. В.Н. Волковой и В.Д. Ногина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001.
- В.Н. Волкова*

**КОМБИНАТОРНЫЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ** – класс задач *дискретного программирования*, в которых требуется найти экстремум целочисленной линейной функции, заданной на конечном множестве элементов, а также сами элементы этого конечно-множества.

Из комбинаторных задач, сводящихся к моделям дискретного программирования и имеющих большое прикладное значение, следует выделить *задачу о назначениях* (задача выбора), *задачу о коммивояжере* (бродячем торговце) и *задачи теории расписаний*.

Задача о назначениях формулируется обычно следующим образом. Требуется осуществить назначение  $n$  кандидатов на заданные  $n$  работ, дающее минимальные суммарные затраты (максимальный эффект); при этом каждого кандидата можно назначить только на одну работу, а каждая работа может быть выполнена только одним кандидатом.

Задача о коммивояжере описывает класс моделей нахождения замкнутых маршрутов, минимизирующих суммарное рассто-

яние (время, стоимость переезда) по маршруту из пункта *A* в этот же пункт *A*.

Задачи теории расписания относятся к оптимизационным моделям планирования и организации дискретного производства.

Важными в прикладном отношении являются комбинаторные задачи о покрытии. Они служат отысканию минимального подмножества множества ребер заданного графа, содержащего все его вершины. К указанным задачам примыкают задачи определения минимальных связей на электронных платах, а также кратчайших технологических маршрутов.

- 1. Корбут А.А. Дискретное программирование / А.А. Корбут, Ю.Ю. Финкельштейн. – М.: Наука, 1969. 2. Шкурба В.В. Задачи календарного планирования и методы их решения / В.В. Шкурба, Т.П. Подчасова, А.Н. Пшичук, Л.П. Тур. – Киев: Наукова думка, 1966. 3. Юдин Д.Б. Линейное программирование (теория, методы и приложения) / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. – М.: Наука, 1968. 4. Balinski M. L. Integer programming: methods, uses, computation / M. L. Balinski // *Manag. Sci.* – 1965. – 12. – № 3. – P. 253–313. В.Н. Юрьев

**КОРПОРАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА (КИС)** – система управления предприятием (корпорацией), в которой процессы сбора, хранения, обработки, преобразования, передачи и обновления информации осуществляются с использованием современной компьютерной техники и средств телекоммуникаций. Основное назначение КИС заключается, с одной стороны, в отражении целостной и максимально объективной картины состояния дел на предприятии в реальном масштабе времени, а с другой – в постоянной поддержке организационно-технологической модели управления предприятием.

Существуют три основных класса КИС, которые, тесно взаимодействуя между собой, образуют информационное пространство современного предприятия:

1) ERP (Enterprise Resource Planning) – системы планирования ресурсов предприятия, ядром которых является MRP II (Manufacturing Resource Planning) – планирование производственных ресурсов;

2) CRM (Customer Relationship Management) – системы управления взаимоотношениями с клиентами, состоящие из модулей:

- MA (Marketing Automation) – автоматизация маркетинга;
- CS (Customer Service) – обслуживание клиентов;
- SFA (Sales Force Automation) – автоматизация продвижения продаж;

3) SCM (Supply Chain Management) – системы управления цепочкой поставок.

Эти системы создавались в развитых странах последовательно и опираясь на потребности растущего бизнеса. Системы класса CRM и SCM относятся к сфере коммуникаций между предприятиями. Они возникли и развивались как средство взаимодействия между предприятиями и автоматизировали по общепринятым стандартам свои внутренние функции. В связи с процессами глобализации мировой экономики и распределения производства продукции между большим числом предприятий возникла необходимость в построении логистических цепочек взаимодействия между контрагентами (SCM). В силу возрастающего числа взаимосвязей по большой номенклатуре продукции с различными контрагентами далее стал интенсивно развиваться подход, нацеленный на поддержку жизненного цикла изделий от этапа разработки до утилизации – так называемые CALS- или ИПИИ-технологии. Для создания таких полнофункциональных систем разработаны стандартизованные форматы хранения данных, протоколы обмена данными между различными системами. Возникли новые интегрированные информационные системы – PDM (Product Data Management).

К началу XXI в. в мире сформировалось ясное понимание функциональных возможностей и сфер применения каждого класса корпоративных систем как для уровня предприятия, так и выше (концерн, корпорация, отрасль).

Наиболее востребованными из современных корпоративных систем на российском рынке информационных технологий являются системы планирования ресурсов предприятия и системы планирования производственных ресурсов.

В основу любой базовой системы автоматизации промышленного предприятия (ERP, MRPII, MRPI) включен блок планирования. Поэтому все они строятся исходя из подробного описания производимых на предприятии изделий, технологии их изготовления, необходимых для этого ресурсов. На основе соответствующей информации, а также поступающих заказов или имеющегося спроса на товары формируются производственные пла-

ны предприятия, определяются загрузка оборудования, потребность в рабочей силе, строится сбытовая и финансовая политика по заложенным в систему математическим моделям. В свою очередь, учетные функции реализуются в целях анализа сложившейся ситуации, корректировки плановых заданий и создания адекватной для дальнейшего стратегического и тактического планирования управленческой и финансовой отчетности.

В условиях постоянно изменяющегося рынка, ориентации производства товаров на индивидуальные потребности заказчиков, непрерывного совершенствования технологии и возрастающей конкуренции в системах управления предприятиями происходит смещение акцентов с управления функциональными подразделениями на управление сквозными бизнес-процессами, связывающими воедино деятельность этих подразделений. В отличие от автоматизации отдельных функций управления внедрение КИС предполагает трансформацию действующей системы на основе автоматизации усовершенствованных взаимосвязанных бизнес-процессов.

Создаваемая на основе реинжиниринга бизнес-процессов КИС обеспечивает:

- *на оперативном уровне* – ускорение движения информационных потоков, связывающих участников деловых процессов, и повышение синхронизации одновременно выполняемых операций;
- *на тактическом уровне* – повышение качества принимаемых управленческих решений, позволяющих адаптировать управленческие функции к изменяющейся внешней среде;
- *на стратегическом уровне* – принятие решений относительно разработки новых и модернизации существующих бизнес-процессов.

С целью упрощения организации и улучшения управляемости бизнес-процессов используются принципы горизонтального и вертикального сжатия процессов, а также централизации (децентрализации).

Горизонтальное сжатие процесса заключается в том, что несколько управленческих процедур объединяются в одном многофункциональном автоматизированном рабочем месте (АРМ), входящем в состав КИС. Автоматизация множества операций в одном АРМ позволяет концентрировать выполнение различных функций одним работником.

Вертикальное сжатие процесса включает организацию и контроль выполнения бизнес-процессов со стороны менеджеров на основе использования локальных вычислительных сетей с архитектурой «клиент-сервер», систем управления потоками работ и распределенных баз данных. В частности, через распределенную базу данных сотрудники предприятия обмениваются между собой информацией, в которой все изменения отражаются в реальном масштабе времени и становятся доступными одновременно для всех заинтересованных участников системы управления. Электронная связь менеджеров позволяет посредством технологии управления потоками работ оперативно доставлять результаты выполненных операций следующим исполнителям.

Централизованное (децентрализованное) управление процессом представляет собой координацию выполнения составных частей процесса территориально-распределенными структурными подразделениями предприятия или фирмами-партнерами на основе использования глобальной информационной сети Intranet/Internet, стандартов электронного обмена данными (EDI – Electronic Data Interchange) и компонентной технологии программных интерфейсов DCOM, COBRA.

Реализация этого последнего принципа приводит к созданию виртуальных компонентов организационной структуры системы управления.

Для разработки КИС широко используются CASE-средства автоматизации проектирования информационных систем или средства создания комплексных систем управления ресурсами предприятия. Современные версии таких систем обеспечивают управление всеми ресурсами предприятия и поэтому получили название ERP-систем (Enterprise Resource Planning).

Основой адаптируемой ERP-системы является базовая система, которая включает в себя пакеты прикладных программ для решения задач управления, средства комплексирования задач в требуемые конфигурации, средства сопряжения с другими системами, например с САПР. Базовая система позволяет создавать для предприятия гибкую модифицируемую АСУ, в которой сочетаются типовые подходы к решению задач управления и специфические особенности предприятия.

Стандарты MRP-ERP развивались эволюционно. С целью оптимизации системы управления производством APICS сформулировались принципы управления материальными запасами

предприятия. Эти принципы легли в основу концепции MRP (Material Requirement Planning – планирование материальных потребностей), основными положениями которой являются следующие:

- производственная деятельность описывается как поток взаимосвязанных заказов;
- при выполнении заказов учитываются ограничения ресурсов;
- обеспечивается минимизация производственных циклов и запасов;
- заказы снабжения и производства формируются на основе заказов реализации и производственных графиков;
- движение заказов увязывается с экономическими показателями;
- выполнение заказа завершается к тому моменту, когда он необходим.

Развитие вычислительных средств привело к тому, что в 70-х гг. стали появляться первые автоматизированные системы, реализующие MRP-концепцию.

Методика MRP декларирует, какие процессы учета и управления производством должны быть реализованы на предприятии, в какой последовательности они должны выполняться, и содержит рекомендации о том, как они должны выполняться.

Затем появилась концепция MRPII (планирование производственных ресурсов – Manufacturing Resource Planning), основная суть которой сводится к тому, что прогнозирование, планирование и контроль производства осуществляются по всему циклу, начиная от закупки сырья и заканчивая отгрузкой товара потребителю.

MRPII представляет собой методологию, направленную на эффективное управление ресурсами предприятия. Она обеспечивает решение задач планирования в натуральных единицах и финансовое планирование в денежном выражении. Эта методология представляет собой набор проверенных на практике принципов, моделей, процедур управления и контроля, выполнение которых должно способствовать улучшению показателей деятельности предприятия.

Для каждого уровня планирования MRPII характерны такие параметры, как степень детализации плана, горизонт планиро-

вания, вид условий и ограничений. В зависимости от характера производственного процесса возможно применение на каждом отдельном предприятии определенного набора функциональных модулей MRPII. Из всего этого следует, что MRPII является гибкой и многофункциональной системой, применение которой возможно в широком спектре условий.

Дальнейшее развитие систем MRPII связано с их перерастанием в системы нового класса – «Планирование ресурсов предприятия» (Enterprise Resource Planning – ERP). Системы этого класса ориентированы на работу с финансовой информацией для решения задач управления большими корпорациями с территориально разнесенными ресурсами. К ERP-системам предъявляются новые требования по применению графики, использованию реляционных баз данных, CASE-технологий для их развития, архитектуры вычислительных систем типа «клиент-сервер» и реализации их как открытых систем.

В связи с ростом мощностей вычислительных систем, поиском новых более эффективных методов управления в условиях конкуренции создаются с середины 90-х гг. на базе систем MRPII/ERP системы нового класса, которые получили название «Развитые системы планирования» (Advanced Planning/Scheduling – APS). Для этих систем характерно применение экономико-математических методов с целью решения задач планирования, с постепенным снижением роли календарно-плановых нормативов.

Следующее направление в развитии компьютеризации предприятий состоит в интеграции систем MRPII/ERP с другими автоматизированными системами, имеющимися на предприятиях, такими, как системы CAD/CAM, управления технологическими процессами, финансового анализа и т.п. Системы такого класса получили название «Компьютерные интегрированные системы» (Computer Integrated Manufacturing – CIM).

На рисунке представлена взаимосвязь стандартов управления и информационно-программных платформ, на которые они опираются. При этом каждый последующий в цепочке эволюции стандарт полностью поглощает платформу предыдущего и требует дополнительного информационного обеспечения.

Информационная платформа КИС, изображенная на рисунке в виде последовательных слоев, представляет собой иерархи-



ческую структуру, в которой выделяются источники первичной информации, впоследствии формирующие единую интегрированную базу данных.

Точность данных в таких системах обеспечивается, наряду с технологическими процедурами контроля и обработки информации, установлением единого источника и ответственных лиц за оперативность и достоверность этих данных. Наличие только одного источника каждого вида данных значительно повышает их корректность, так как в этом случае они будут вводиться в систему только один раз и все пользователи смогут использовать в своей работе информацию, отражающую текущее состояние дел.

Перечень наиболее известных зарубежных и российских КИС и фирм-разработчиков представлен в таблице.

Наименование корпоративных информационных систем	Фирма-разработчик
<i>Зарубежные системы</i> SAP R/3 Baan IV Scala Oracle Application Platinum SQL Ахapta 2.1 Concorde XAL J.D. Edwards IRenaissance CS Syte Line	SAP AG Baan Scala Oracle Epicor Software Damgaard Damgaard J.D. Edwards ROSS Systems Symix Systems
<i>Российские системы</i> Галактика 1С: Предприятие 1С: Парус Парус-Корпорация БОСС-Корпорация NS2000 Эверест БЭСТ Аккорд Альфа Дельфин	«Галактика» 1С 1С: Парус «Парус» Ай-Ти «Никос-Софт» «Бит» «Интеллект-Сервис» «Атлант-Информ» «Информконтакт» «Светон»

Одну часть из перечисленных систем составляют функционально-управленческие, а другую – производственные. Первые предназначены для ведения учета по одному или нескольким направлениям (бухгалтерский учет, сбыт готовой продукции, складское хозяйство, учет кадров и т.д.). Системами этой группы может воспользоваться практически любое предприятие, которому необходимы управление финансовыми потоками и автоматизация учетных функций.

Производственные системы предназначены для управления производственными процессами. Учетные функции хотя в них и глубоко проработаны, выполняют вспомогательную роль, и порой невозможно выделить модуль бухгалтерского учета, так как информация в него поступает автоматически из других модулей.

Производственные системы значительно более сложны в процессе внедрения. Причина в том, что они покрывают потребности в информационном обеспечении всего предприятия.

Современные КИС должны обладать следующими свойствами.

1. *Корпоративность* предполагает модульность построения системы и работу управляющего персонала в информационном пространстве единой базы данных; охват всего спектра производственно-экономических функций; обеспечение гибкой настройки на специфику и сферу деятельности конкретного предприятия; предоставление пользователям инструментальных средств для самостоятельного развития возможностей системы; поддержка распределенных баз данных для информационного взаимодействия подразделений и территориально удаленных филиалов.

2. *Масштабируемость* обеспечивает возможность адаптироваться к любым структурным изменениям предприятия и внешней среды, в частности система должна обладать способностью к наращиванию числа АРМ без снижения эффективности ее работы.

3. *Двух- или трехуровневая архитектура* («клиент-сервер») позволяет оптимально распределить работу между клиентской и серверной частями системы.

4. *Интегрируемость и модульность* дают возможность формировать систему необходимой конфигурации и функциональности.

5. *Интеграция с программными продуктами других разработчиков* гарантируется выполнением требований принятых стандартов.

6. *Интеграция с Web-технологиями* обеспечивает свободный выход в Интернет, открывая новые возможности для ведения предпринимательской деятельности.

7. *Открытость системы* обеспечивает одновременную эксплуатацию программных продуктов разных разработчиков.

8. *Многоплатформенность* дает возможность поддерживать большинство наиболее распространенных серверных платформ: MS SQL Server, Btrieve, Oracle, Progress, Fox Pro и др.

9. *Возможность глубокого анализа данных* обеспечивает:

- применение экономико-математических методов и моделей;
- использование средств эффективной обработки и защиты данных;
- независимость от операционных сред и используемых компьютерных платформ, интеграцию с другими приложениями.

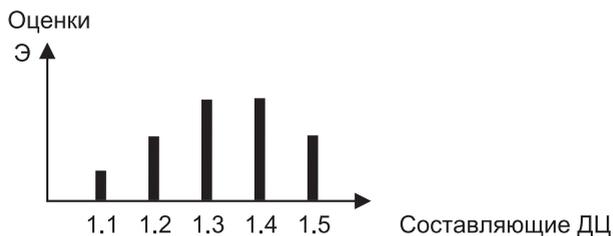
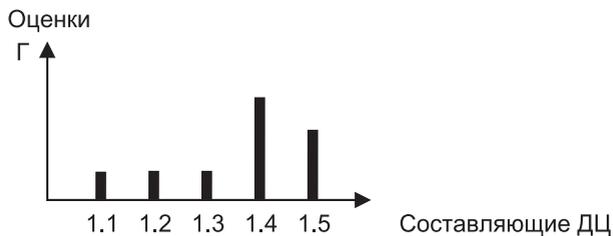
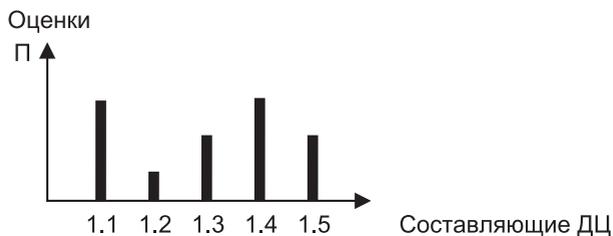
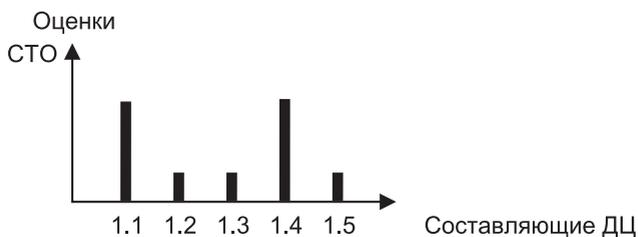
- 1. Мишенин А. И. Теория экономических информационных систем / А.И. Мишенин. – М.: Финансы и статистика, 1999. 2. Многопользовательский сетевой комплекс полной автоматизации фирмы (корпорации) «Галактика». – М.: АО «Новый атлант»; НТО «ТОП СОФТ», 1998. 3. Гаврилов Д. А. Управление производством на базе стандарта MRPII / Д.А. Гаврилов. – СПб.: Питер, 1998. 4. [www.ci.ru](http://www.ci.ru). 5. [www.clin.ru/software/kis](http://www.clin.ru/software/kis). 6. [www.russianenterprisesolutions.com](http://www.russianenterprisesolutions.com).  
В.Н. Юрьев

**КОСВЕННЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ (ККО)** – вид оценок, предложенный в [1] и впервые использованный в *методике структуризации целей и функций, основанной на концепции деятельности* (см.) [2, 3 и др.]. ККО применяются для повышения объективности оценок в дополнение к экспертным оценкам и представляются в форме, приведенной на рисунке, где критерии СТО – статистическая отчетность, подготовка справок, ответы на запросы вышестоящих органов управления; П – число подразделений, запрашивающих информацию для принятия решений; Г – число публикаций в газетах и других периодических изданиях; Э – экспертные оценки; индексы (1.1, 1.2 и т.д.) соответствуют составляющим «дерева целей» (ДЦ).

Название связано с тем, что, с одной стороны, оценки представляются в виде некоторых количественных характеристик, а с другой – они не являются достаточными оценками значимости оцениваемых компонент, а лишь позволяют косвенно подтвердить или опровергнуть ее.

В качестве косвенных количественных оценок могут быть использованы: число подразделений, выполняющих данную функцию, число документов, подготавливаемых для реализации функции, структурированность ветви (например, число тем, на которые разделена проблема), внимание к соответствующим подцелям и функциям в директивных документах, периодической печати, источниках НТИ и т.п.

При выборе косвенных количественных оценок следует учитывать «пространство инициирования целей» (см. *Методика структуризации целей и функций, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание*), т.е. требования и потребности *надсистемы*, отраженные в законодательных актах и директивных документах аналогичных предприятий *актуальной среды*, интересы *подведомственных* подразделений, инициативы структурных единиц *собственно системы* управления.



При обработке результатов оценки проводится выявление *редких* и *противоречивых мнений* с последующим содержательным их анализом.

Для сопоставления оценок удобно использовать графические представления в виде гистограмм, подобные приведенным на рисунке [1, 3].

ККО могут обрабатываться совместно с экспертными. Такой пример приведен на рисунке.

При анализе гистограмм можно руководствоваться, например, следующими рекомендациями: при совпадении оценок составляющие можно считать наиболее значимыми (на рисунке – составляющие ДЦ 1.1 и 1.4), при несовпадении – проводить дополнительный качественный анализ, разрабатывать соответствующие рекомендации.

Например, на составляющую 1.2 обратили особое внимание (поставили ее на первое место) только эксперты, т.е. имеет место редкое мнение. В этом случае целесообразно провести дополнительную экспертизу, предпочтительнее с обсуждением на научно-техническом совете.

Напротив, составляющую 1.5 недооценивают вышестоящие органы управления, запрашивающие информацию для принятия решений (П). В таком случае следует обратить внимание указанных органов на необходимость участия в решении задач этой составляющей.

Составляющая 1.3, по которой наибольшие разногласия, может инициировать целесообразность проведения НИР.

Если оценки противоречивы: например, составляющая 1.1 по первым двум критериям получила высокие оценки, а по вторым двум критериям (внимание в газетных публикациях Г и оценка экспертов Э) – низкие, то эта составляющая требует дополнительного изучения, качественного анализа и т.д.

На основе полученных результатов оценки исходная структура целей и функций (ДЦ) корректируются: составляющие, получившие наименьшие оценки значимости по сравнению с другими и не получившие при этом высоких оценок связности с высокозначимыми, либо исключаются из структуры целей и функций, либо опускаются на нижележащие уровни иерархии.

Составляющие же, получившие высокие оценки значимости, могут быть перенесены на более высокие уровни иерархической структуры.

- 1. Волкова В.Н. Оценка целевых структур при разработке планов в системе высшей и средней специальной школы: Экспресс-информация / В.Н. Волкова, А.И. Коношенко, А.Ф. Марьенко. – М.: НИИВШ, 1980.
- 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.
- 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 3-е изд.,

перераб. и доп. – 2003. – С. 263–264. 4. Волкова В. Н. Методы организации сложных экспертиз: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. 2-е изд. – 2001. – С. 11–12. В.Н. Волкова

**КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СИСТЕМ** – правила или норма, позволяющие оценить *эффективность системы* (см.), соответствие требуемого и достигаемого результата.

Если удается ввести количественные характеристики и связать аналитическим выражением *цель* системы и *средства* ее достижения, то такие выражения называют *критерием эффективности, критерием функционирования, целевой функцией* и т.п.

Такой подход, обычно реализуемый для технических систем, первоначально пытались применить и для оценки сложных систем с активными элементами типа социально-экономических систем, человеко-машинных комплексов. Однако получить требуемые аналитические зависимости для таких систем крайне сложно, а часто и практически невозможно. Поэтому целесообразно рассмотреть различные подходы к трактовке и классификации критериев оценки *эффективности систем*.

При оценке систем различают их *качество* и *эффективность* реализуемых ими процессов. Соответственно вводят *критерии качества* и *показатели* и *критерии эффективности*.

**Виды критериев качества.** Для пояснения принципа классификации критериев качества введем ряд понятий.

Каждое  $i$ -е качество  $j$ -й системы,  $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ , может быть описано с помощью некоторой выходной переменной  $y_i^j$ , отображающей определенное существенное свойство системы, значение которой характеризует меру (интенсивность) этого качества. Эту меру назовем показателем свойства, или *частным показателем качества* системы. Показатель  $y_i^j$  может принимать значения из множества (области) допустимых значений  $\{y_i^{\text{доп}}\}$ .

Назовем *обобщенным показателем качества*  $j$ -й системы вектор  $Y^j = \langle y_1^j, y_2^j, \dots, y_i^j, \dots, y_n^j \rangle$ , компоненты которого суть показатели его отдельных свойств. Размерность этого вектора определяется числом существенных свойств системы. Обратим внимание на то, что показатель качества именно вектор, а не простое множество частных показателей, поскольку между отдельными свойствами могут существовать связи, которые в рамках теории множеств описать весьма сложно.

Частные показатели имеют различную физическую природу и в соответствии с этим – различную размерность. Поэтому при образовании обобщенного показателя качества следует оперировать не с «натуральными» показателями, а с их нормированными значениями, обеспечивающими приведение показателей к одному масштабу, что необходимо для их сопоставления.

Задача нормировки решается, как правило, введением относительных безразмерных показателей, представляющих собой отношение «натурального» частного показателя к некоторой нормирующей величине, измеряемой в тех же единицах, что и сам показатель:

$$y_i^{\text{норм}} = \frac{y_i}{y_i^0},$$

где  $y_i^0$  – некоторое «идеальное» значение  $i$ -го показателя.

Выбор нормирующего делителя для перевода частных показателей в безразмерную форму в значительной мере носит субъективный характер и должен обосновываться в каждом конкретном случае. Возможны несколько подходов к выбору нормирующего делителя.

Во-первых, нормирующий делитель  $y_i^0$  может задавать ЛПР, и это предполагает, что значение  $y_i^0$  является образцовым.

Во-вторых, можно принять, что нормирующий делитель  $y_i^0 = \max y_i^j$ .

В-третьих, в качестве нормирующего делителя может быть выбрана разность между максимальными и минимальными допустимыми значениями частного показателя.

Требуемое качество системы задается правилами (условиями), которым должны удовлетворять показатели существенных свойств, а проверка их выполнения называется оценением качества системы. Таким образом, критерий качества – это показатель существенных свойств системы и правило его оценивания.

Назовем *идеальной системой*  $Y^*$  гипотетическую модель исследуемого объекта, идеально соответствующую всем критериям качества, и  $Y^* = \langle y_1^*, y_2^*, \dots, y_i^j, \dots, y_n^* \rangle$  – вектор, являющийся показателем качества идеальной системы.

Назовем *областью адекватности* некоторую окрестность значений показателей существенных свойств. В общем виде область адекватности определяется как модуль нормированной разности между показателем качества  $Y^{\text{доп}}$  и показателем качества  $Y^*$ :

$$\delta \subseteq \left| Y^{\text{доп}} \setminus Y^* \right| / \left| Y^* \right|,$$

где  $\delta$  – радиус области адекватности.

На радиус области адекватности накладываются ограничения, зависящие от семантики предметной области. Как правило, определение этой величины является результатом фундаментальных научных исследований или экспертной оценки.

При таком рассмотрении все критерии в общем случае могут принадлежать к одному из трех классов.

1. *Критерий пригодности*  $K^{\text{приг.}}$ :  $(\forall i) (y_i^j \in \delta | \delta_i \rightarrow y_i^{\text{доп}}, i = 1, \dots, n)$  – это правило, согласно которому  $j$ -я система считается пригодной, если значения всех  $i$ -х частных показателей  $y_i^j$  этой системы принадлежат области адекватности  $\delta$ , а радиус области адекватности соответствует допустимым значениям всех частных показателей.

2. *Критерий оптимальности*  $K^{\text{опт.}}$ :  $(\exists i) (y_i^j \in \delta | \delta_i \rightarrow d_i^{\text{опт}})$  – это правило, согласно которому  $j$ -я система считается оптимальной по  $i$ -му показателю качества, если существует хотя бы один частный показатель качества  $y_i^j$ , значение которого принадлежит области адекватности  $\delta$ , а радиус области адекватности по этому показателю оптимален. Оптимальность радиуса адекватности определяется из семантики предметной области, как правило, в виде  $\delta^{\text{опт}} = 0$ , что подразумевает отсутствие отклонений показателей качества от идеальных значений.

3. *Критерий превосходства*  $K^{\text{прев.}}$ :  $(\forall i) (y_i^j \in \delta | \delta_i \rightarrow d_i^{\text{опт}})$  – это правило, согласно которому  $j$ -я система считается превосходной, если все значения частных показателей качества  $y_i^j$  принадлежат области адекватности  $\delta$ , а радиус области адекватности оптимален по всем показателям.

Иллюстрация приведенных формулировок дана на рис. 1, где по свойствам  $y_1$  и  $y_2$  сравниваются характеристики пяти систем  $\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5\}$ , имеющие допустимые области адекватности значений  $\{y_i', y_i''\}$ ,  $i = 1, 2$ , для которых определены оптимальные значения  $y_1^{\text{опт}}$ ,  $y_2^{\text{опт}}$  соответственно.

Из рис. 1 видно, что системы 1, 2, 3, 5 пригодны по свойствам  $y_1$  и  $y_2$ . Системы 1 и 3 оптимальны по свойству  $y_1$ .

Система 3 является превосходной несмотря на то, что имеет место соотношение  $y_2^4 > y_2^3$ , поскольку система 4 вообще непригодна и, следовательно, неконкурентоспособна по сравнению с остальными.

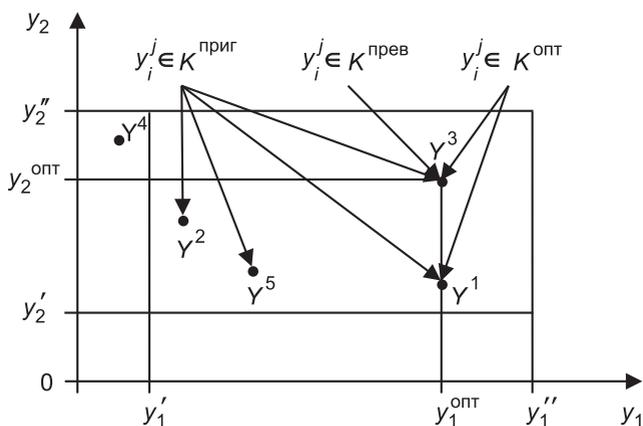


Рис. 1

Легко заметить, что критерий превосходства является частным случаем критерия оптимальности, который, в свою очередь, является частным случаем критерия пригодности, поскольку область адекватности по критерию пригодности представляет собой декартово произведение множеств  $\langle y_1', y_1'' \rangle \times \langle y_2', y_2'' \rangle$ , по критерию оптимальности вырождается в двухточечное множество  $\langle y_1^{\text{опт}}, y_2^{\text{опт}} \rangle$ , а по критерию превосходства – в точку превосходства. Формально  $K^{\text{прев}} \subset K^{\text{опт}} \subset K^{\text{приг}}$ .

**Шкала уровней качества систем с управлением.** При оценивании качества систем с управлением признают целесообразным введение нескольких *уровней* качества, проранжированных в порядке возрастания сложности рассматриваемых свойств.

Эмпирические уровни качества получили названия: *общая устойчивость, помехоустойчивость, управляемость, свойства, самоорганизация*. Порядковая шкала уровней качества и дерево свойств систем с управлением приведены на рис. 2.

Система, обладающая качеством данного порядка, имеет и все другие более простые качества, но не имеет качеств более высокого порядка.

Первичным качеством любой системы является ее *устойчивость*. Для простых систем устойчивость объединяет такие свойства как прочность, стойкость к внешним воздействиям, сбалансированность, стабильность, гомеостазис (способность системы

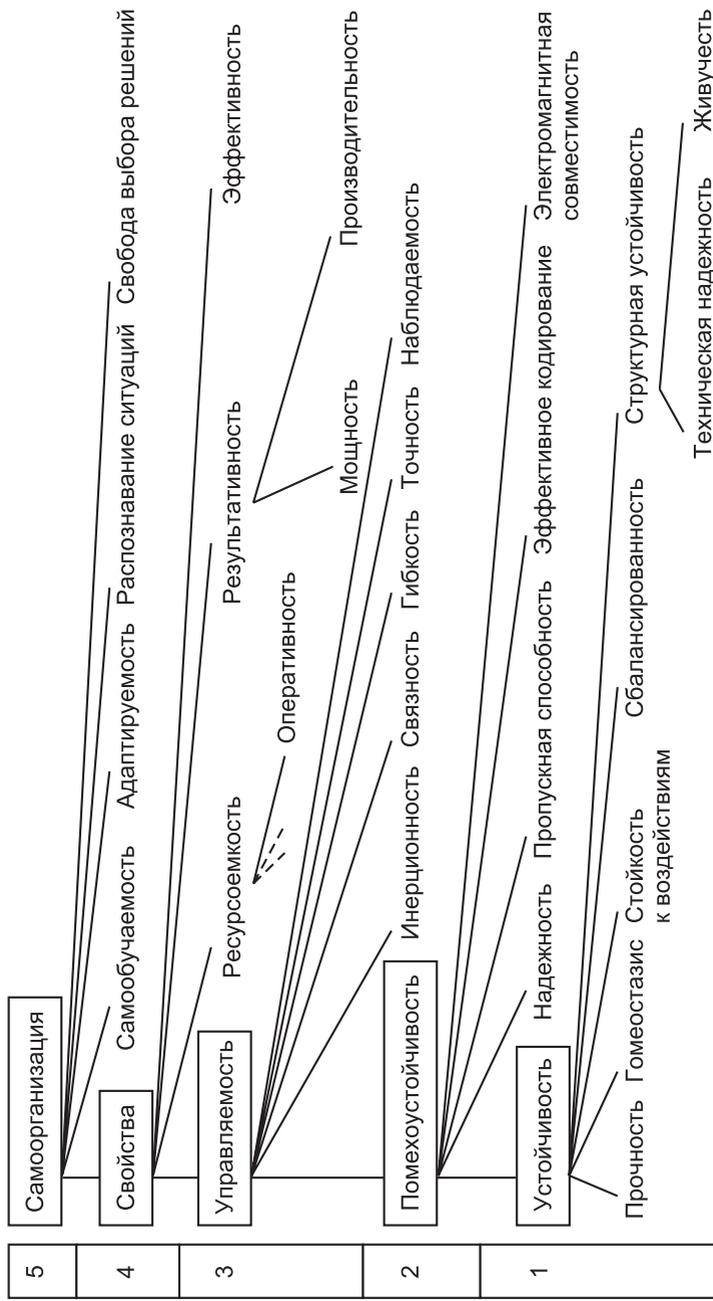


Рис. 2

возвращаться в равновесное состояние при выводе из него внешними воздействиями). Для сложных систем характерны различные формы структурной устойчивости, такие, как *надежность*, *живучесть* и т.д. (см. *Устойчивость*), *устойчивость развивающихся систем* (см.) с активными элементами.

Более сложным качеством, чем устойчивость, является *помехоустойчивость*, понимаемая как способность системы без искажений воспринимать и передавать информационные потоки. Помехоустойчивость объединяет ряд свойств, присущих в основном системам управления. К таким свойствам относятся надежность информационных систем и систем связи, их пропускная способность, возможность эффективного кодирования/декодирования информации, электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и т.п.

Еще одним качеством системы является *управляемость* – способность системы переходить за конечное (заданное) время в требуемое состояние под влиянием управляющих воздействий. Управляемость обеспечивается прежде всего наличием прямой и обратной связей, объединяет такие свойства системы, как *гибкость* управления, *оперативность*, *точность*, *быстродействие*, *инерционность*, *связность*, *наблюдаемость* объекта управления и др. На этом уровне качества для сложных систем управляемость включает способность принятия решений по формированию управляющих воздействий.

Следующим уровнем на шкале качеств являются свойства. Это качество системы, определяющее ее возможности по достижению требуемого результата на основе имеющихся ресурсов за определенное время. Данное качество определяется такими свойствами, как результативность (*производительность*, *мощность* и т.п.), ресурсоемкость и оперативность. Именно это качество определяется как потенциальная эффективность функционирования системы – способность получить требуемый результат при идеальном способе использования ресурсов и в отсутствие воздействий внешней среды.

Наиболее сложным качеством системы является *самоорганизация* (см.). Самоорганизующаяся система способна для повышения эффективности изменять свою структуру, параметры, алгоритмы функционирования, поведение. Принципиально важными свойствами этого уровня являются свобода выбора решений, *адаптивность* (см.), самообучаемость, способность к распознаванию ситуаций и др.

Принцип свободы выбора решений предусматривает возможность изменения критериев на любом этапе принятия решений в соответствии со складывающейся обстановкой.

Введение уровней качества позволяет ограничить исследования одним из перечисленных уровней. Для простых систем часто это исследование устойчивости. Уровень качества выбирает исследователь в зависимости от сложности системы, целей анализа, наличия информации, условий работы системы.

**Показатели и критерии оценки эффективности систем.** Существенные свойства в соответствии с представлением системы как семантической модели можно условно классифицировать не только по уровню сложности, но и по принадлежности к системообразующим (общесистемным), структурным или функциональным группам. Наиболее типичные показатели существенных свойств систем приведены в табл. 1. При таком рассмотрении показатели качества можно отнести к области общесистемных и структурных свойств систем. Свойства же, которые характеризуют процесс функционирования (поведение) системы, можно назвать операционными, или свойствами операции, поскольку искусственные системы создаются для выполнения конкретных операций или функций.

Таблица 1

Группа существенных свойств систем	Состав группы
Общесистемные	Целостность, устойчивость, наблюдаемость, управляемость, детерминированность, открытость, динамичность и т.п.
Структурные	Состав, связность, организация, сложность, масштабность, пространственный размах, централизованность, объем и т.п.
Функциональные (поведенческие)	Результативность, ресурсоемкость, оперативность, активность, мощность, мобильность, производительность, быстродействие, готовность, работоспособность, точность, экономичность и т.п.

В общем случае функциональные свойства системы оцениваются в двух аспектах:

- исход (результаты) функционирования;
- «алгоритм», обеспечивающий получение результатов.

Качество исхода и «алгоритм», обеспечивающие получение результатов, оцениваются по *показателям качества*.

Показатели качества вводятся с учетом конкретных особенностей системы и условий ее функционирования.

В области разработки оценок качества функционирования систем значительные результаты получены в теории *исследования операций* (см.), в терминах которой искусственная система создается для выполнения операции. Эти результаты полезно использовать и в теории систем и системного анализа. Поэтому приведем краткий обзор показателей качества, разработанных в теории исследования операций.

К основным укрупненным показателям качества операции относят *результативность*, *ресурсоемкость* и *оперативность*.

*Результативность* Э характеризуется получаемым в результате целевым эффектом – результатом, ради которого функционирует система.

*Ресурсоемкость* R отражает ресурсы всех видов (людские, материально-технические, энергетические, информационные, финансовые и т.п.), используемые для получения целевого эффекта.

*Оперативность* O есть измеритель расхода времени, потребного для достижения цели.

*Оценка исхода операции* учитывает, что операция проводится для достижения определенной цели – исхода операции. Под исходом операции понимается ситуация (состояние системы и внешней среды), возникающая на момент ее завершения. Для количественной оценки исхода операции вводится понятие показателя исхода ее (ПИО) в виде вектора  $Y_{\text{исх}} = \langle Y_{\text{Э}}, Y_{\text{R}}, Y_{\text{O}} \rangle$ , компоненты которого суть показатели его отдельных свойств, отражающие результативность, ресурсоемкость и оперативность операции.

*Оценка «алгоритма» функционирования* является ведущим при оценке эффективности. Такое утверждение основывается на теоретическом постулате, подтвержденном практикой: наличие хорошего «алгоритма» функционирования системы повышает уверенность в получении намеченных результатов. В принципе нужные результаты могут быть получены и без хорошего «алгоритма», но вероятность этого невелика. Данное положение особенно важно для организационно-технических систем и других, в которых результаты операции используются в режиме реального времени.

В совокупности результативность, ресурсоемкость и оперативность порождают комплексное свойство – *эффективность процесса*  $Y_{\text{эф}}$  – степень его приспособленности к достижению цели. Это свойство, присущее только операциям, проявляется при функционировании системы и зависит как от свойств самой системы, так и от внешней среды.

В литературе термин «эффективность» связывается и с системой, и с операцией, и с решением. Образованные при этом понятия можно считать эквивалентными. В конечном счете каждое из них отражает соответствие исхода операции, выполняемой системой для достижения поставленной цели. Обычно нужно иметь в виду, что система реализует одну или несколько операций. Для большинства операций процедура оценки эффективности решений носит характер прогнозирования.

Выбор критерия эффективности – центральный, самый ответственный момент исследования системы.

Процесс выбора критерия эффективности, как и процесс определения цели, является в значительной мере субъективным, творческим, требующим в каждом отдельном случае индивидуального подхода. Наибольшей сложностью отличается выбор критерия эффективности решений в операциях, реализуемых иерархическими системами.

Конкретный физический смысл показателей эффективности определяется характером и целями операции, а также качеством реализующей ее системы и внешними воздействиями.

В отдельных системах в качестве показателей результативности могут рассматриваться показатели ресурсоемкости или оперативности, однако качество системы в целом определяется, подобно ПИО, их совокупностью:  $Y_{\text{эф}} = \langle Y_{\text{Э}}, Y_R, Y_O \rangle$ .

Хотя конкретные операции достаточно многообразны, существует ряд общих принципиальных положений, которыми необходимо руководствоваться при формировании системы критериев эффективности решений.

В зависимости от типа систем и внешних воздействий операции могут быть детерминированными, вероятностными или неопределенными. В соответствии с этим выделяют три группы показателей и критериев эффективности:

- показатели и критерии эффективности функционирования систем в известных условиях, если ПИО отражают один строго определенный исход детерминированной операции;

- показатели и критерии эффективности функционирования систем в условиях риска, если ПИО являются дискретными или непрерывными случайными величинами с известными законами распределения в вероятностной операции;

- показатели и критерии эффективности функционирования систем в условиях неопределенности, если ПИО являются случайными величинами, законы распределения которых неизвестны.

*Критерий пригодности для оценки эффективности детерминированной операции* имеет вид  $K^{\text{приг}} : (\forall i)(y_i^h \in \delta | \delta_i \rightarrow y_i^{\text{доп}}, i \in \langle \mathcal{E}, R, O \rangle)$ . Им определяется правило, по которому операция считается эффективной, если все частные показатели исхода операции принадлежат области адекватности.

*Критерий оптимальности для оценки эффективности детерминированной операции* имеет вид

$$K^{\text{опт}} : (\exists i)(y_i^h \in \delta | \delta_i \rightarrow \delta_i^{\text{опт}}, i \in \langle \mathcal{E}, R, O \rangle).$$

Он определяет правило, по которому операция считается эффективной, если все частные показатели ее исхода принадлежат области адекватности, а радиус этой области по указанным показателям оптимален.

*Критерий пригодности для оценки эффективности вероятностной операции* имеет вид  $K^{\text{приг}}$ :

$$P_{\text{дц}}(Y_{\text{эф}}) \geq P_{\text{дц}}^{\text{греб}}(Y_{\text{эф}})$$

и определяет правило, по которому операция считается эффективной, если вероятность достижения цели по показателям эффективности  $P_{\text{дц}}(Y_{\text{эф}})$  не меньше требуемой вероятности достижения цели по этим показателям  $P_{\text{дц}}^{\text{греб}}(Y_{\text{эф}})$ .

*Критерий оптимальности для оценки эффективности вероятностной операции* имеет вид  $K^{\text{опт}}$ :

$$P_{\text{дц}}(Y_{\text{эф}}) \geq P_{\text{дц}}(Y^{\text{опт}})$$

и определяет правило, по которому операция считается эффективной, если вероятность достижения цели по показателям эффективности  $P_{\text{дц}}(Y_{\text{эф}})$  больше или равна вероятности достижения цели с оптимальными значениями этих показателей  $P_{\text{дц}}(Y^{\text{опт}})$ .

Основной проблемой оценки эффективности вероятностных операций является неясность способа определения требуемых вероятностей.

Это связано с отсутствием достаточной статистики. Известно, что применение методов классической теории вероятности допустимо при повторяемости опытов и одинаковости условий. Данные требования в сложных системах выполняются не всегда.

Наибольшие трудности возникают при оценке эффективности систем в *условиях неопределенности*. Для решения этой задачи разработано несколько подходов. Порядок оценки эффективности систем в неопределенных операциях составляет один из разделов теории принятия решений.

Выбор показателей для конкретной системы связан с анализом большого объема плохо структурированной информации, и поэтому в системном анализе сформулированы требования, следование которым позволяет обосновать применимость показателей к оценке систем.

Общими требованиями к показателям исхода операции являются *соответствие показателя оценки цели операции, полнота, измеримость, ясность физического смысла* (это требование не всегда реализуемо), *неизбыточность, чувствительность*.

Набор показателей оценки эффективности функционирования системы может быть определен различными способами. К настоящему времени еще не существует формальной теории, обеспечивающей объективное решение этой задачи: выбор критериев оценки зависит от методов моделирования систем.

- 1. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. 2. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций / Ю.И. Дегтярев. – М.: Высшая школа, 1996. 3. Кукушкин А.А. Теоретические основы автоматизированного управления. Ч. 1. Основы анализа и оценки сложных систем / А.А. Кукушкин. – Орел: Изд-во ВИПС, 1998. 4. Лагоша Б.А. Основы системного анализа / Б.А. Лагоша, А.А. Емельянов. – М.: Изд-во МЭСИ, 1998. 5. Ланнэ А.А. Многокритериальная оптимизация / А.А. Ланнэ, Д.А. Улахович. – М.: Военная академия связи, 1984. 6. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. I. Методология, методы, модели / Г.Б. Петухов. – М.: МО, 1989. 7. Растригин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растригин. – М.: Радио и связь, 1980. 8. Черчмен У. Введение в исследование операций / У. Черчмен и др. – М.: Наука, 1968. А.А. Емельянов

**ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД** – один из основных *подходов к анализу и проектированию систем* (см.), основанный на разработке языков моделирования, языков автоматизации проектирования (см.), применяемых на этапе предварительного описания системы, разработки принципиальных положений (концепции) проекта. Подход иногда так и называют – *метод «языка системы»* [6].

При разработке языков моделирования используется *математическая лингвистика* (см.), чем и объясняется название подхода.

В математической лингвистике есть удобный термин для описания структуры языка – *тезаурус* (см.), поэтому подход называют иногда *тезаурусным*.

На идее совместного использования средств лингвистического подхода и структурных представлений базируется *структурно-лингвистическое моделирование* (см.).

- 1. Волкова В. Н. Системный анализ и его применение в АСУ: учебн. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во ЛПИ, 1983. 2. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 3. Волкова В.Н. Искусство формализации / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – С. 86–89. 4. Волкова В. Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. 5. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валueva, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 6. Черняк Ю.И. Информация и управление / Ю.И. Черняк. – М.: Наука, 1974. В.Н. Волкова

**ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (ЛП)** – раздел теории оптимизации, посвященный изучению и решению экстремальных задач, в которых целевая функции и ограничения, задающие допустимое множество, являются линейными.

Родоначальником ЛП считают доктора физ.-мат. наук, лауреата Государственной и Нобелевской премий акад. Л.В. Канторовича [3, 4], который в 30-е гг. XX в. предложил метод оптимизации решения экономических задач (в частности, задачи раскроя фанеры [5]).

Л.В. Канторович внес существенный вклад в развитие *теории двойственности линейного программирования*. Согласно этой тео-

рии каждой задаче ЛП можно поставить в соответствие некоторую другую (так называемую двойственную) задачу ЛП, оптимальное значение которой такое же, как и в исходной задаче. Достоинство такого подхода состоит в том, что двойственная задача может оказаться проще исходной задачи в вычислительном отношении. Л.В. Канторович разработал *метод разрешающих множителей* для решения задачи ЛП.

Предложенный Канторовичем метод был принят не сразу. Потребовалось более 30 лет, чтобы ЛП сформировалось как самостоятельный раздел теории оптимизации.

В последующем, в 50-е гг. XX в. независимо от Канторовича метод решения задачи ЛП (так называемый *симплекс-метод*) был развит американским математиком Дж. Данцигом, который в 1951 г. и ввел термин «линейное программирование».

Слово «программирование» объясняется тем, что неизвестные переменные, которые отыскиваются в процессе решения задачи, обычно определяют программу (план) действий некоторого объекта, например промышленного предприятия. Слово «линейное» отражает линейную зависимость между переменными.

Рассмотрим простейший пример задачи ЛП.

Предположим, что в трех цехах (Ц1, Ц2, Ц3) изготавливаются два вида изделий – И1 и И2. Известны загрузка каждого цеха  $a_i$  (оцениваемая в данном случае в процентах) при изготовлении каждого из изделий и прибыль (или цена, объем реализуемой продукции в рублях)  $c_i$  от реализации изделий. Требуется определить, сколько изделий каждого вида следует производить при возможно более полной загрузке цехов, чтобы получить за рассматриваемый плановый период максимальную прибыль или максимальный объем реализуемой продукции.

Такую ситуацию удобно отобразить в таблице, которая под-сказывает характерную для задач математического программирования форму представления задачи, т.е. целевую функцию (в данном случае определяющую максимизацию прибыли или объема реализуемой продукции)

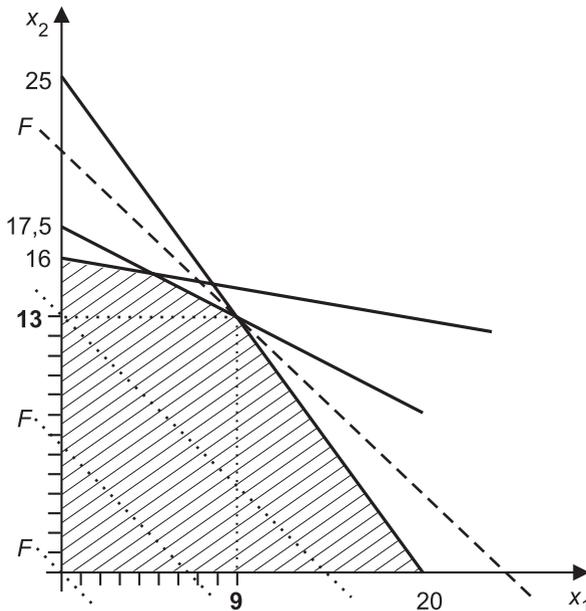
$$F(x) = \sum_{i=1} c_i x_i = 240x_1 + 320x_2 \rightarrow \max \quad (1)$$

и ряд ограничений (в данном случае диктуемых возможностями цехов, т.е. их предельной 100%-ной загрузкой):

$$\begin{aligned}
 5x_1 + 4x_2 &\leq 100, \\
 1,6x_1 + 6,4x_2 &\leq 100, \\
 2,9x_1 + 5,8x_2 &\leq 100.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Изделие	Загрузка цеха (участка), %			Цена изделия, руб.
	Ц1	Ц2	Ц3	
И1	5	1,6	2,9	240
И2	4	6,4	5,8	320
Максимальная загрузка	100	100	100	—

Графическое решение задачи приведено на рисунке.



Ограничения здесь задают область допустимых решений в форме (заштрихованного) многоугольника, а семейство (пунктирных) прямых представляет собой линии уровня целевой функции  $F$ .

Существуют два крайних положения линии уровня, когда она «касается» допустимого множества. Этим двум положениям в данном случае соответствуют две точки «касания» – начало координат  $(0, 0)$  и точка  $(9, 13)$ . Первая из этих точек – точка минимизации.



Вектор  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , удовлетворяющий ограничениям задачи ЛП, называется **допустимым решением** или **планом**. Допустимый план  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ , при котором целевая функция задачи ЛП принимает максимальное (минимальное) значение, называется **оптимальным планом**.

Иными словами, каноническая задача ЛП состоит в отыскании среди всех решений системы (5) линейных уравнений такого ее неотрицательного решения, на котором достигает своего минимального (максимального) значения линейная целевая функция  $z$  от  $n$  переменных.

В задаче ЛП общего вида вместо некоторых (всех) равенств в ограничениях записаны нестрогие неравенства в ту или другую сторону; при этом условие неотрицательности переменных может отсутствовать для части или же для всех переменных. Известно, что решение любой задачи ЛП может быть сведено к решению канонической задачи, представляемой в форме (1) или (4).

Линейное программирование первоначально развивалось как направление, разрабатывающее новые подходы к решению задач минимизации *выпуклых функций* на *выпуклом множестве* (см. *Выпуклое программирование*). Понятие *целевой функции* (см.), удобное для приложений, сформировалось позднее.

Наиболее простым и распространенным методом решения канонической задачи ЛП до сих пор является *симплекс-метод*, предложенный в 50-е гг. XX в. Дж. Данцигом. Геометрически идею симплекс-метода в упрощенной форме можно выразить следующим образом. Допустимым множеством в задаче ЛП является некоторое многогранное множество  $n$ -мерного векторного пространства (в частном случае  $n = 2$  – это выпуклый и не обязательно ограниченный многоугольник). Работа симплекс-метода начинается с некоторой начальной вершины (начального опорного плана) многогранного множества. Специальным образом выясняется, нет ли среди соседних вершин такой, в которой значение целевой функции лучше? Если такая вершина выявлена, то она и принимается за следующее приближение. После этого вновь исследуются соседние вершины для полученного приближения и т.д. до тех пор, пока не будет получена вершина, среди соседних вершин которой не существует вершины с лучшим значением целевой функции. Такая вершина является оптимальной. Она соответствует оптимальной точке (оптимальному решению) задачи ЛП.

В настоящее время разработан широкий круг различных численных методов решения задач ЛП, каждый из которых учитывает ту или иную специфическую особенность имеющейся задачи ЛП.

Кроме симплекс-метода есть и другие методы решения специальных задач ЛП: *метод потенциалов, венгерский метод, двойственный симплекс-метод, метод обратной матрицы (модифицированный симплекс-метод)* и др.

Современное ЛП представляет собой область математики, посвященную разработке теории и численных методов решения экстремальных задач с линейными целевыми функциями и линейными ограничениями в виде систем равенств и/или неравенств. С применением ЛП решается широкий круг задач экономического характера: задачи о комплексном использовании сырья, рационального раскроя материалов, задачи загрузки оборудования, размещения заказов по однородным предприятиям, задачи о смесях, задачи текущего производственного планирования (статистическая модель), задачи перспективного оптимального планирования, *транспортная задача* (см.).

- 1. Ашманов С. А. Линейное программирование / С. А. Ашманов. – М.: Наука, 1981.
- 2. Банди Б. Основы линейного программирования / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1989.
- 3. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф. П. Васильев. – М.: Наука, 1988.
- 4. Данциг Дж. Линейное программирование, его применения и обобщения / Дж. Данциг. – М.: Изд-во «Прогресс», 1966.
- 5. Канторович Л. В. Математические методы организации и планирования производства / Л. В. Канторович. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1939.
- 6. Ляшенко И. Н. Линейное и нелинейное программирование / И. Н. Ляшенко, Е. А. Карагодова, Н. В. Черникова, Н. З. Шор. – Киев: Вища школа, 1975.
- 7. Ногин В. Д. Основы теории оптимизации: учеб. пособие / В. Д. Ногин, И. О. Протодюков, И. И. Евлампиев. – М.: Высшая школа, 1986.
- 8. Схрейвер А. Теория линейного и целочисленного программирования: в 2 т. / А. Схрейвер. – М.: Мир, 1991.
- 9. Юдин Д. Б. Линейное программирование (теория, методы и приложения) / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. – М.: Наука, 1969.

*В. Д. Ногин, В. Н. Юрьев*

## М

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛИНГВИСТИКА (МЛ)** – здесь один из классов *методов формализованного представления систем* (см.).

Включение лингвистических представлений в разряд математических методов нельзя считать общепризнанным. Символичес-

ки отображение системы в терминах математической лингвистики (Т – тезаурус, G – грамматика) показано на рис. 1.

Некоторые исследователи (например, Ю.А. Шрейдер [18]) считают, что лингвистика в силу специфических особенностей, позволяющих моделировать развивающиеся системы и процессы (что обеспечивается отсутствием закона исключенного третьего), не является математикой в сложившемся понимании этого термина. В то же время французская школа математиков [15] считает математическую лингвистику разделом современной математики.

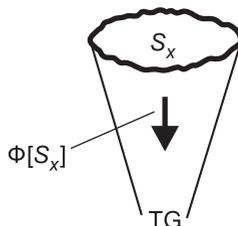


Рис. 1

МЛ возникла во второй половине XX в. как средство формализованного изучения естественных языков и вначале развивалась как *алгебраическая лингвистика*. Первые полезные результаты алгебраической лингвистики связаны со *структуралистским* (дескриптивным) подходом. Однако в силу отсутствия в тот период концепции развития языка эти работы привели к еще большему тупику в попытках построения универсальной грамматики, и был период, когда структурализм считался неперспективным направлением развития науки о языке и даже был гоним.

Активное возрождение МЛ началось в 50–60-е гг. и связано в значительной степени с потребностями прикладных технических дисциплин, усложнившимся задачам которых перестали удовлетворять методы классической математики, а в ряде случаев – и формальной математической логики.

В период уменьшения интереса к МЛ появилось статистическое направление, которое называют *статистической лингвистикой*, или *лингвистической статистикой* [6, 12, 13 и др.].

Для системных приложений интересно сочетание МЛ и *семиотики*, которая возникла как наука о *знаках, знаковых системах*. Однако некоторые школы, развивающие семиотические представления, настолько равноправно пользуются в семиотике понятиями МЛ, такими, как *тезаурус, грамматика, семантика* и т.п. (характеризуемыми далее), не выделяя при этом в отдельное направление *лингвесемиотику* (как это делает, например, Ю.С. Степанов [14]), что часто трудно определить, к какой области относится модель – к МЛ или семиотике.

В то же время именно в *лингвосемиотике* достигнуты наиболее конструктивные результаты, которые могут быть полезны при исследовании систем различной физической природы.

Основными понятиями, на которых базируются лингвистические представления, являются *тезаурус* (см.), *грамматика*, *семантика*, *прагматика*.

Термин *тезаурус* (от греч.  $\theta\eta\delta\alpha\upsilon\rho\omicron\varsigma$  – сокровищница, богатство, клад, запас и т.п.) в общем случае характеризует «совокупность научных знаний о явлениях и законах внешнего мира и духовной деятельности людей, накопленную всем человеческим обществом» [10].

Этот термин был введен в современную литературу по языкознанию и информатике в 1956 г. Кембриджской группой по изучению языков. В то же время данный термин существовал раньше: в эпоху Возрождения тезаурусами называли энциклопедии. С обзором определений тезауруса можно познакомиться в [11].

В МЛ и семиотике термин *тезаурус* используется в более узком смысле, для характеристики конкретного языка, его многоуровневой структуры. Для этих целей удобно пользоваться одним из принятых в лингвистике определений тезауруса как «множества смысловыражающих элементов языка с заданными смысловыми отношениями» [18].

Это определение позволяет представить структуру языка в виде уровней, или *страт* (см.) множеств слов, словосочетаний, предложений, абзацев и т.п., смысловыражающие элементы (СВЭ) каждого из которых формируются из смысловыражающих элементов предшествующих структурных уровней.

Правила формирования СВЭ второго и третьего уровней в тезаурус не входят, в тезаурусе определяются только вид и наименование уровня, характер и вид СВЭ.

Иногда вместо термина *смысловыражающие элементы* используется термин *синтаксические единицы* тезауруса. Представляется, что это менее удачный термин, так как при формировании элементов нового множества смысловыражающих элементов каждого последующего уровня (при образовании слов из букв, фраз и предложений – из слов) у элементов вновь образованного множества появляется новый смысл, т.е. как бы проявляется *закономерность целостности* (см.), и это хорошо отражает термин «смысловыражающий элемент».

В таком толковании понятие тезауруса можно конструктивно использовать при создании искусственных языков – языков

моделирования, автоматизации проектирования, информационно-поисковых языков. Оно позволяет охарактеризовать язык с позиции уровней обобщения, ввести правила их использования при индексировании информации.

Можно говорить о *глубине* тезауруса того или иного языка, характеризуемой числом уровней, о видах *уровней обобщения*, и, пользуясь этими понятиями, сравнивать языки, выбирать более подходящий для рассматриваемой задачи или, охарактеризовав структуру языка, организовать процесс его разработки.

Под *грамматикой* (которую иногда называют *синтактикой*, *синтаксисом*, что сужает понятие грамматики, исключая из него *морфологию*) понимаются правила, с помощью которых формируются смысловыражающие элементы языка. Пользуясь этими правилами, можно «порождать» (формировать) грамматически (синтаксически) правильные конструкции или распознавать их грамматическую правильность.

Термин *грамматика* употребляется в лингвистике и как укороченная замена термина «*формальная грамматика*», который имеет иной смысл и будет охарактеризован далее.

Под *семантикой* понимаются содержание, значение, смысл формируемых или распознаваемых конструкций языка, под *прагматикой* – полезность для данной цели, задачи.

В естественном языке различить понятия, с помощью которых характеризуются термины *семантика* и *прагматика*, трудно; обычно пояснить различие можно лишь при парном сопоставлении терминов:

<семантика> ::= <содержание> | <смысл> | <значение>;

<прагматика> ::= <смысл> | <значение> | <полезность>.

Поэтому принято рассматривать эти понятия на примерах. Поясним различие между семантически и прагматически правильными конструкциями языка на следующих легко запоминающихся примерах.

Традиционно для пояснения синтаксической правильности и семантической бессмысленности используется предложенный Л.В. Щербой пример: «*Глокая куздра тшетьо борзданула бокра и курдычет бокрѣнка*» (в котором нет ни одного слова естественного языка, имеющего смысл). Но примеры можно найти и в естественной речи.

Предложение «*Муха лукаво всплеснула зубами*» синтаксически правильное, но не имеет смысла в естественном русском языке в обиходном, широком употреблении, т.е. является с точки зрения пользователей русским языком семантически неправильным (исключим пока гипотетическую ситуацию сказки, в которой «муха» может быть наделена указанными свойствами).

Другое предложение «*Маленькая девочка собирает цветы на лугу*» – синтаксически и семантически правильное. Однако для директора завода (если это луг, а не заводской газон, и – учтем личный фактор – если эта девочка не его дочь) это предложение не несет никакой информации, т.е. прагматически (с точки зрения задач и функций руководителя) является неправильным. Другое дело, если «*Иванов (который в данный момент должен находиться на рабочем месте) собирает цветы на лугу*». Тогда это предложение было бы и прагматически правильным.

Возвратимся теперь к примеру с *мухой*. Приведенное предложение, семантически неправильное, может в гипотетической ситуации сказки оказаться прагматически правильным, что важно иметь в виду в случае применения лингвистических представлений.

При создании и использовании искусственных языков используют такие понятия структурной лингвистики, как порождающая и распознающая грамматики.

Под *порождающей грамматикой* понимается совокупность правил, с помощью которых обеспечивается возможность формирования (порождения) из первичных элементов (словаря) синтаксически правильных конструкций; под *распознающей грамматикой* – правила, с помощью которых обеспечивается возможность распознавания синтаксической правильности предложений, фраз или других фрагментов языка.

Все рассмотренные понятия в равной мере используются как в МЛ, так и в лингвистической семиотике. Некоторую условную границу между ними можно провести, лишь введя понятие *классов формальных грамматик* (как *теории математической лингвистики*).

На базе лингвистических представлений развивается *теория формальных грамматик* Н. Хомского [16, 17 и др.]. Классы формальных грамматик Хомского считаются основой *теории формальных языков*.

Формальный язык определяют как множество (конечное или бесконечное) предложений (или «цепочек»), каждое из которых имеет конечную длину и построено с помощью некоторых операций (правил) из конечного множества элементов (символов), составляющих алфавит языка.

Формальную грамматику определяют в виде четверки множеств:

$$G = \langle V_T, V_N, R, A \rangle, \quad (1)$$

где  $V_T$  – множество *основных*, или *терминальных*, символов;

$V_N$  – множество *вспомогательных*, или *нетерминальных*, символов;

$R$  – множество *правил вывода*, или *продукций*, которые могут иметь вид:

$$\alpha \rightarrow \beta, \quad (2)$$

где  $\beta \in (V \cup V_N)$ , т.е.  $\beta$  – цепочка конечной длины из терминальных и нетерминальных символов множеств  $V_T$  и  $V_N$ ,

а 
$$\alpha \in (V_T \cup V_N)V_N(V_T \cup V_N), \quad (3)$$

т.е.  $\alpha$  является цепочкой из терминальных и нетерминальных символов, содержащей по крайней мере один нетерминальный символ из  $V_N$ ;  $A$  – множество аксиом (в грамматиках комбинаторного типа, к которым относятся грамматики Хомского,  $A$  состоит из одного начального символа  $S$ , причем  $S \in V_N$ ).

Учитывая, что в литературе по формальным грамматикам, как правило, не стремятся к содержательной интерпретации получаемых выводов, а рассматривают лишь формальную сторону процессов порождения и распознавания принадлежности цепочек соответствующему классу грамматик, приведем содержательный пример порождающей грамматики.

Предположим, дано:

$$V_T = \langle \epsilon_1, \epsilon_2, n, l \rangle$$

$$V_N = \langle S, P \rangle.$$

*Порождающая грамматика*      *Распознающая грамматика*

$$R = \begin{cases} S \rightarrow SP & (1) & SP \rightarrow S & (1') \\ S \rightarrow \epsilon_1 S & (2) & \epsilon_1 S \rightarrow S & (2') \\ R \rightarrow \epsilon_2 S & (3) & \epsilon_2 S \rightarrow S & (3') \\ S \rightarrow n & (4) & n \rightarrow S & (4') \\ P \rightarrow l & (5) & l \rightarrow P & (5') \end{cases} \quad (4)$$

Применяя правила  $R$  левой части (4) в приведенной последовательности, получим:

$$\begin{array}{cccccc}
 S \Rightarrow SP & \Rightarrow v_1 SP & \Rightarrow v_1 v_2 SP & \Rightarrow v_1 v_2 nP & \Rightarrow v_1 v_2 nл. \\
 (1) & (2) & (3) & (4) & (5)
 \end{array}$$

Это формальная сторона процесса порождения. Чтобы получить интерпретируемое выражение, нужно расшифровать терминальные символы, включенные в  $V_N$ , где  $v_1$  – «все»,  $v_2$  – «возрасты»,  $n$  – «покорны»,  $л$  – «любви».

Тогда полученное предложение « $v_1 v_2 n л$ » – «все возрасты покорны любви».

Если изменять последовательность применения правил, то будут получаться другие предложения. Например, если применить правила в последовательности  $(1) \Rightarrow (3) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (5)$ , то получится «*возрасты все покорны любви*». Если применить не все правила: например,  $(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (5)$ , то получим «*все покорны любви*».

Если же попытаться получить предложение, как у А.С. Пушкина («*Любви все возрасты покорны*»), то, как бы мы ни меняли последовательность правил, получить эту фразу не удастся. Нужно изменить первое правило: вместо  $S \rightarrow SP$  включить в  $R$  правило  $S \rightarrow PS$ .

Из примера видно, что вид порождаемых цепочек (предложений) зависит от *вида правил (исчисления)* и от *последовательности их применения (алгоритма)*.

С помощью приведенного примера легко также продемонстрировать тесную связь понятия «*грамматически правильно*» с языком (*грамматикой*).

Распознающая грамматика для рассматриваемого примера будет содержать как бы «перевернутые» правила – правая часть (4), которые должны применяться в обратной последовательности. Пример анализа правильности предложения с помощью правил распознающей грамматики приведен на рис. 2.

Если при распознавании правильности предложения не оговаривать, что предложение (цепочка) грамматически правильно с точки зрения правил данного формального языка, то можно, пользуясь формальной грамматикой в первоначальном виде, получить вывод, что приведенная фраза Пушкина грамматически *неправильна* с точки зрения правил грамматики (4).

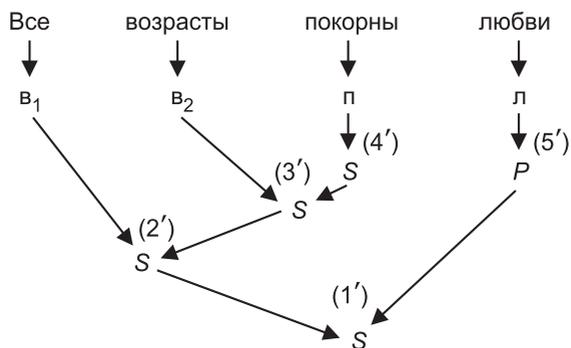


Рис. 2

Действительно, с точки зрения правил грамматики для построения делового текста, которым соответствуют правила (4), другие поэтические строки часто получали бы формальную оценку «грамматически неправильно». И, напротив, если бы мы построили грамматику на основе анализа пушкинского стиля, то в деловом тексте получили бы предложения типа «Я решение свое принял правильное» (подобно фразе «Я памятник себе воздвиг нерукотворный»).

Изложенное позволяет легко представить полезность определения формальной грамматики при создании языка моделирования соответствующего литературного или музыкального произведения – пародий, подражательств или, как иногда принято говорить, произведений соответствующего стиля или класса. Например, известны работы Р.Х. Зарипова [8] по моделированию написания музыкальных произведений в стиле, или в классе, массовых советских песен, работы по моделированию процесса сочинения стихотворных произведений и т.п.

Подобным же образом можно моделировать порождение деловых писем или других документов, имеющих, как правило, не только формализованный стиль, но и формальную структуру.

Аналогично можно создавать языки моделирования структур, языки автоматизации проектирования сложных устройств и систем определенного вида (класса).

Основу подобных работ составляют идеи, которые можно пояснить с помощью классов грамматик, впервые предложенных Хомским [16, 17].

Разделение грамматик на классы определяется видом правил вывода  $R$ . В зависимости от правил  $R$  можно выделить четыре основных, наиболее часто рассматриваемых класса грамматик (в полной теории формальных грамматик с правилами типа подстановки есть и промежуточные классы).

*1-й класс.* На правила вывода накладывается только одно требование, чтобы в левой части этого правила было всегда меньше символов, чем в правой, т.е. чтобы правила были неукорачивающими, не уменьшали число символов в выводимых цепочках. Данный класс грамматик обычно так и называют *неукорачивающими* (*HУ-грамматиками*). Иногда их также называют грамматиками типа нуль (*нулевого типа*) или *алгоритмическими*.

*2-й класс.* На правила вывода, помимо требований неукорачиваемости, накладывается ограничение, чтобы на каждом шаге изменялся только один символ в контексте, т.е. чтобы  $Z_1 B Z_2 \rightarrow Z_1 W Z_2$ , где  $B$  – один нетерминальный символ,  $W$  – непустая цепочка символов, т.е.  $W \neq \emptyset$ ;  $Z_1$  и  $Z_2$  – контекст. Грамматику такого вида называют *контекстной, контекстно-связанной* или иногда применяют термин – *грамматика непосредственных составляющих* (*НС-грамматики*). Данный термин иногда используется в расширенном смысле для названия всех комбинаторных грамматик, поскольку последующие классы являются подклассами *НС-грамматик*.

*3-й класс.* Если, кроме неукорачиваемости, требуется, чтобы правила имели вид  $B \rightarrow \beta$ , т.е.  $\alpha$  в (2) всегда состояло бы из одного вспомогательного символа, то грамматику такого типа называют *бесконтекстной* или *контекстно-свободной* (*КС-грамматика*).

*4-й класс.* Если на правила вывода накладывается по сравнению с 3-м классом еще одно ограничение, требующее, чтобы в правилах вывода нетерминальный символ всегда стоял справа или слева, т.е. с одной стороны, то грамматику называют *автоматной* (*А-грамматикой*). Если нетерминальный символ стоит слева, т.е. правила имеют вид  $A \rightarrow \alpha B$  или  $A \rightarrow \alpha$ , где  $(A, B) \in V_N$ ,  $\alpha \in V_T$ , автоматная грамматика является *праволинейной*; если нетерминальный символ стоит справа, то автоматную грамматику называют *леволинейной*.

В теории формальных грамматик показывается, что имеет место следующее соотношение:

$$A \subseteq KC \subseteq HC \subseteq HУ. \quad (5)$$

Иногда доказывают, что имеет место строгое вхождение:

$$A \subset KC \subset HC \subset HУ. \quad (5a)$$

При исследовании разных классов формальных грамматик получены результаты, которые позволяют сформулировать следующее утверждение: по мере уменьшения числа ограничений, накладываемых на правила вывода, а именно по мере продвижения в соотношении (5) слева направо, в языке увеличивается возможность отображения смысла, повышается смысловыражающая способность языка, т.е. возможность выражения с помощью формальных правил семантических особенностей проблемной ситуации (говорят, что формальная система становится более богатой). Однако при этом в языке растет число алгоритмически неразрешимых проблем – увеличивается число положений, истинность или ложность которых не может быть доказана в рамках формальной системы языка.

Здесь мы сталкиваемся фактически с гёделевской проблемой [19], которая в теории формальных языков обсуждается обычно в терминах этой теории, а именно: вводится понятие «*операция определена (или не определена) на множестве языков данного класса*» и считается, что операция определена на множестве языков данного класса, если после применения ее к языкам, входящим в это множество, получается язык, принадлежащий множеству языков этого класса. Например, если  $Y_1 \subset KC$  и  $Y_2 \subset KC$  и если  $(Y_1 \cup Y_2) \subset KC$ , то операция объединения  $\cup$  определена на классе  $KC$ -языков.

Характеризуя с помощью введенного понятия классы языков, отмечают, что в соотношении (5) по мере продвижения слева направо увеличивается число операций, которые не определены на множестве языков данного класса.

Здесь, правда, следует подчеркнуть, что дело обстоит не так прямолинейно. Точнее было бы сказать, что для большого числа операций нет доказательств, что они определены на классах  $HC$ -языков и  $HU$ -языков, т.е. эти доказательства становятся сложнее или вообще (в силу теоремы Гёделя) нереализуемы средствами теории формальных грамматик.

В упрощенном виде проблема представлена с целью обратить внимание тех, кто будет заниматься разработкой языков программирования или программных систем, языков моделирования, автоматизации проектирования, на необходимость учитывать закономерность: *чем большими смысловыражающими возможностями обладает знаковая система, тем в большей мере растет в ней число алгоритмически неразрешимых проблем* (т.е. тем менее доказательны в ней формальные процедуры).

При выходе в класс произвольных грамматик, в котором не выполняется даже условие неукорачиваемости, доказать допустимость тех или иных формальных преобразований средствами МЛ практически невозможно, и поэтому в поисках новых средств исследователи обратились к семиотическим представлениям. Здесь можно провести как бы формальную границу между лингвистикой и семиотикой.

- 1. Волкова В. Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974. – С. 56–65. 2. Волкова В. Н. Методы формализованного представления систем: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1993. – С. 60–87. 3. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 117–125. 4. Гладкий А. В. Элементы математической лингвистики / А.В. Гладкий, И.А. Мельчук. – М.: Наука, 1969. 5. Горбатов В.А. Основы дискретной математики / В.А. Горбатов. – М.: Высш. школа, 1986. 6. Горькова В. И. Ранговое распределение на множествах научно-технической информации / В.И. Горькова // НТИ, сер. 2, 1969, № 7. – С. 5–11. 7. Гросс М. Теория формальных грамматик / М. Гросс, А. Лантен; под ред. А. В. Гладкого. – М.: Мир, 1971. 8. Зарипов Р. Х. Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса / Р.Х. Зарипов. – М.: Наука, 1983. 9. Кузнецов О. П. Дискретная математика для инженеров / О.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 10. Михайлов А. И. Основы информатики / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1968. 11. Михайлов А. И. Научные коммуникации и информатика / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1976. 12. Пиотровский Р.Г. Текст, машина, человек / Р.Г. Пиотровский. – Л.: Наука, ЛО, 1975. 13. Пиотровский Р. Г. Математическая лингвистика: учеб. пособие для пед. институтов / Р.Г. Пиотровский, К.Б. Бектаев, А.А. Пиотровская. – М.: Высш. школа, 1977. 14. Степанов Ю. С. Семиотика / Ю.С. Степанов. – М.: Наука, 1971. 15. Фор Р. Современная математика / Р. Фор, А. Коффман, М. Дени-Папен. – М.: Мир, 1966. 16. Хомский Н. Три модели для описания языка / Н. Хомский // Кибернетический сборник. Вып. 2. – М.: Изд-во ИЛ, 1961. 17. Хомский Н. Введение в формальный анализ естественных языков / Н. Хомский, Дж. Миллер // Кибернетический сборник: новая серия. Вып. 3. – М.: Мир, 1965. 18. Шрейдер Ю. А. Информация в структурах с отношениями / Ю.А. Шрейдер // Сб.: Исследования по математической лингвистике, математической логике и информационным языкам. – М.: Наука, 1972. – С. 147–159. 19. Успенский В.А. Теорема Гёделя о неполноте / В.А. Успенский. – М.: Наука, 1982. В.Н. Волкова

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА** – здесь один из *методов формализованного представления систем* (см.).

Символически отображение системы в параметрах бинарной логики (0,1) показано на рис. 1.

Базовыми понятиями МЛ являются высказывание, предикат, логические функции (операции), кванторы, логический базис, логические законы (законы алгебры логики).

Под *высказыванием* в алгебре логики понимается повествовательное предложение (суждение), которое характеризуется определенным значением истинности.

В простейших случаях используются два значения истинности: «истинно» – «ложно», «да» – «нет», «1» – «0». Такая алгебра логики, в которой переменная может принимать только два значения истинности, называется *бинарной алгеброй логики Буля* (по имени создателя алгебры логики).

Функции бинарной алгебры логики приведены в табл. 1, где собраны формы записи и наименования функций, встречающиеся в различных литературных источниках. За основу при составлении табл. 1 взята таблица, приведенная в [13].

*Предикат* – выражение, грамматически имеющее форму высказывания, но содержащее переменные некоторых подмножеств, на которых они определены.

При замене переменных элементами соответствующего подмножества предикат обращается в высказывание. Обычно переменная стоит в предикативной части предложения, лежащего в основе высказывания (например, «быть  $X$ -вым карандашом», где  $X$  может принимать значения «красным», «синим» и т.д.), но в принципе это не обязательно (и возможны предикаты « $X$  – река», где  $X$  – «Волга», «Днепр» и т.д.).

Частным случаем предиката является пропозиционная функция – функция одной или нескольких переменных, принимающих значения в множестве, состоящем из двух элементов: «1» – «0».

Применение переменных высказываний служит для выражения общности и позволяет формулировать законы алгебры логики для любых высказываний данного вида.

Из одного или нескольких высказываний, или предикатов, можно образовать новые высказывания, или предикаты. Простые высказывания объединяются в сложные без учета смысла этих высказываний (предикатов) на основе определенных логических правил (операций, функций).

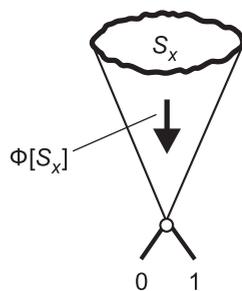


Рис. 1

Таблица 1

Способ и форма записи	Логический аргумент		Логическая операция (функция, фактор, отношение)									
	Б	В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Алгебраическая запись логического отношения аргументов с функцией	$a$	$b$	$F_1=0$	$F_2=1$	$F_3=a$	$F_4=b$	$F_5$ $a \cup b$ $a \cap b$ $a \setminus b$ $a \leftrightarrow b$	$F_6$ $a \cap b$ $a \cup b$ $a \setminus b$ $a \leftrightarrow b$ $a \cdot b$ $a \div b$	$F_7$ $a \equiv b$ $a \rightarrow b$ $a \leftarrow b$ $a \Rightarrow b$	$F_8$ $a \supset b$ $a \rightarrow b$ $a \vee b$	$F_9$ $a^b$ $a \rightarrow b$ $a \vee b$	
Двоичная форма записи связи воздействия с результатом	1 0 0 0	1 0 1 0	0 0 0 0	1 1 1 1	1 1 0 0	1 0 1 0	1 0 1 0	1 0 0 0	1 0 0 1	1 0 1 1	0 0 0 1	
Основные встречающиеся в литературе названия логической функции (операции, фактора)	Первое логическое воздействие.	Второе логическое воздействие.	Тождественный нуль.	Тождественная единица.	Утверждение первого аргумента (перемножения воздействия).	Утверждение второго аргумента (перемножения воздействия).	Утверждение первого аргумента (перемножения воздействия).	Дизъюнкция.	Конъюнкция.	Эквивалентность.	Импликация.	Функция Вэбба.
	Первая логическая переменная.	Вторая логическая переменная.	Тождественно ложно	Тождественно истинно	Повторение первого аргумента (перемножения воздействия).	Повторение второго аргумента (перемножения воздействия).	Логическая сумма.	Логическое произведение.	Равнозначность.	Материальная импликация.	Следование.	Операция Пирса.
	Первый логический аргумент	Второй логический элемент			Повторение первого аргумента (перемножения воздействия).	Повторение второго аргумента (перемножения воздействия).	Объединение.	Перечисление.	Материальная эквивалентность.	Общеведительное суждение	Обратная дизъюнкция.	Антидизъюнкция



Способ и форма записи	Логический аргумент		Логическая операция (функция, фактор, отношение)									
	Б	В	11	12	13	14	15	16				
Алгебраическая запись логического отношения аргументов с функцией	$a$	$b$	$F_{11} =$ $a \equiv b$ $a \oplus b$ $a \wedge b$ $a \vee b$ $a \Delta b$	$F_{12} =$ $a < b$ $a < b$ $a \leftarrow b$	$F_{13} =$ $\sim a$ $a$ $\sim a$ $= a'$ $= ca$	$F_{14} = b$ $\sim b$ $b'$ $\sim b$ $= b'$ $= cb$	$F_{15} =$ $a \setminus b$ $a \supset b$ $a \supset b$ $a \rightarrow b$	$F_{16} =$ $a \supset b$ $a \supset b$ $a \leftarrow b$				
Двоичная форма записи связи воздействия с результатом	1 1 0 0	1 0 1 0	0 1 1 0	1 1 0 1	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 0 0	0 0 1 0				
Основные встречающиеся в литературе названия логической функции (операции, фактора)	Первое логическое действие.	Второе логическое действие.	Отрицание равнозначности. Функция разноименности.	Обратная импликация. Обратное словосложение.	Отрицание первого аргумента. Инвертация первого аргумента (перемножного).	Отрицание второго аргумента. Инвертация второго аргумента (перемножного).	Отрицание материальной импликации. Материальная импликация.	Отрицание обратной импликации. Обратная антиимпликация (неимпликация).				
	Первая логическая переменная.	Вторая логическая переменная.	Функция сложения по модулю. Нервнозначность.	Обратная селекция.	Дополнение к первому переменно-	Дополнение ко второму переменно-	Материальная импликация.	Антисовпадение.				
	Первый логический аргумент	Второй логический элемент	Обратная конъюнкция	Обратная селекция.	Обратная детерминация							

					Профазис	Обратный ситуфазис	Раздели- тельное суждение. Отрицание селекции. Антиселек- ция. Антиспе- цификация. Антидетер- минация	Обратное раздели- тельное суждение. Обратное антисовпа- дение.
Неконь- юнкция. Обратное логическое произведе- ние. Обратное совпадение. Альтерна- тивное отрицание. Несовмес- тимость. Общеотри- цательное суждение	Строгая дизъюнк- ция. Исклю- чающая дизъюнк- ция. Раздели- тельная дизъюнк- ция. Отрицание взаимоза- висимости	Или не	Не <i>a</i>	Не <i>b</i>	Но не	Но не		
Или не	Не как Или или	Или не	Не <i>a</i>	Не <i>b</i>	Но не	Но не		

Число простейших *логических функций* в конкретной алгебре логики зависит от числа значений истинности  $n$ :

$$N = 2^{2^n}. \quad (1)$$

Для двузначной булевой алгебры логики  $N$  определяется числом возможных двоичных наборов ( $n = 2$ ):  $N = 16$ . При  $n = 3$  можно образовать  $N = 256$  логических функций.

Кроме логических функций в логике предикатов имеются еще операции квантификации – *кванторы*. Это специальные операции, которые служат для выражения общности суждений и связанных с ними понятий (табл. 2) и позволяют на формальном языке исчисления предикатов говорить не об одном объекте, а о целом классе объектов.

Полную систему логических функций называют *логическим базисом*. Чтобы система функций представляла собой базис, она должна обладать определенными свойствами.

Чтобы система функций была полной, необходимо и достаточно, чтобы она содержала хотя бы одну функцию: *не сохраняющую константу «единица», не сохраняющую константу «ноль», нелинейную, немонотонную, несамодвойственную*.

Полный логический базис содержит избыточное число функций. Такая система функций может остаться базисом при исключении из нее некоторых функций. Исключение функций можно производить до тех пор, пока система не станет такой, что удаление из нее хотя бы одной из функций, ее образующих, будет приводить к невыполнению перечисленных требований к базису. Такую систему называют *минимальным базисом*.

Минимальными базисами бинарной алгебры логики являются базисы, включающие только по две функции  $\{>, \cup\}$  и  $\{>, \cap\}$ .

Функция отрицания не сохраняет константы «ноль» и «единица» и не является монотонной; функции дизъюнкции  $\cup$  и конъюнкции  $\cap$  обеспечивают нелинейность и не являются самодвойственными (в силу приведенных в табл. 3 теорем де-Моргана).

В этой связи существуют понятия *дизъюнктивно-нормальной* и *конъюнктивно-нормальной* формы, всегда удовлетворяющие требованиям базиса.

В условиях выполнения требований к базису в алгебре логики доказывают теоремы, демонстрирующие свойства операций над высказываниями. Применяя эти теоремы, формально можно

Таблица 2

Обозначение	Наименование	Смысл
$(\forall a) b$	Квантор общности	Для любого $a$ будет $b$
$(\exists a) b$	Квантор существования	Есть хотя бы одно $a$ , такое, что будет $b$
$(\exists! a) b$	Квантор единственности	Есть только одно $a$ , такое, что будет $b$

получить правильный результат, не вникая в смысл проводимых исследований. Примеры этих теорем, или *логических законов*, приведены в табл. 3.

Из элементарных функций алгебры логики формируют последовательности действий, отображающие процессы в системе от входа до выхода, т.е. *логические алгоритмы*.

Таблица 3

Название свойства (закона) и его формулировка	Символическая запись
<i>Замкнутость</i> Множество $R$ содержит дизъюнкцию и конъюнкцию всех входящих в него элементов	$a \cup b \in R$ $a \cap b \in R$
<i>Коммутативность</i> Изменение последовательности элементов не изменяет значения дизъюнкции и конъюнкции	$a \cup b = b \cup a$ $a \cap b = b \cap a$
<i>Ассоциативность</i> Группировка внутри конъюнкции и дизъюнкции не меняет их значений	$(a \cap b) \cap c = a \cap (b \cap c)$ $(a \cup b) \cup c = a \cup (b \cup c)$
<i>Дистрибутивность</i> Прибавление элемента к произведению равносильно прибавлению этого элемента к сомножителям; умножение суммы на элемент равносильно умножению слагаемых на этот элемент	$a \cup (b \cap c) =$ $= (a \cup b) \cap (a \cup c)$ $a \cap (b \cup c) =$ $= (a \cap b) \cup (a \cap c)$
<i>Идемпотентность (закон тавтологии)</i> Повторение элемента (прибавление или умножение) не изменяет истинности элемента	$a \cup a = a$ $a \cap a = a$
<i>Дополнительность</i> Для каждого элемента $a$ множества $R$ существует дополнение $\neg a$ или $R - a$	Частный случай $a \cup \neg a = R$ $\neg R = \emptyset$ $a \cap \neg a = \emptyset$ $\neg \emptyset = R$
<i>Законы поглощения (абсорбции)</i> Дизъюнкция произведения и одного из ее членов эквивалентна этому члену. Конъюнкция суммы и одного из ее членов эквивалентна этому члену	$a \cup (a \cap b) \equiv a$ $a \cap (a \cup b) \equiv a$

Название свойства (закона) и его формулировка	Символическая запись
<i>Законы двойственности (теоремы А. де-Моргана)</i> Дополнение к пересечению $a$ и $b$ эквивалентно объединению их дополнений. Дополнение к объединению элементов (множеств) равно пересечению их дополнений	$\overline{a \cap b} \equiv \bar{a} \cup \bar{b}$ $\overline{a \cup b} \equiv \bar{a} \cap \bar{b}$
<i>Инволюция (закон удвоенного отрицания)</i>	$\neg(\neg a) \equiv a$
<i>Законы противоположности</i> Если элемент $a$ эквивалентен дополнению элемента $b$ , то элемент $b$ эквивалентен дополнению элемента $a$	$a \equiv \bar{b} \Rightarrow b \equiv \bar{a}$
Множество содержит элементы $R = 1$ и $\emptyset = 0$ , такие, что для всякого элемента $a$ объединение или пересечение его с пустым множеством равно $a$ , а объединение или пересечение его с элементом $R = 1$ равно $R$	$a \cup \emptyset = a \quad a \cup R = R$ $a \cap R = R \quad a \cap \emptyset = a$
Умножение одного из элементов на дополнение второго элемента не меняет дизъюнкции элементов	$a * (\neg b) \equiv a + b$ $a \cap (\neg b) \equiv a \cup b$

На рис. 2 и 3 проиллюстрирована разная запись одного и того же алгоритма (соответствие обозначений рис. 2 и 3 приведено на рис. 4).

Этот же алгоритм может быть записан следующим образом:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 / \{[(x_1 \cap x_2) \cup x_2] \cup x_3\}; \\ y_2 &= \neg x_4 \cup \{[(x_1 \cap x_2) \cup x_2] \cup x_3\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Существует много форм записи логических алгоритмов: в виде функций алгебры логики (2), в форме таблиц или матриц, «машин Тьюринга», логических схем по А.А. Ляпунову, с помощью рекурсивных функций, на языке нормальных алгоритмов А.А. Маркова, в виде программ для вычислительных машин на одном из языков программирования, в форме диаграмм Насси–Шнайдермана.

С основными способами представления алгоритмов можно познакомиться в [7, 9, 10 и др.].

Логические алгоритмы могут преобразовываться с использованием логических законов. Пример применения одного из законов (теоремы А. де-Моргана) приведен на рис. 5.

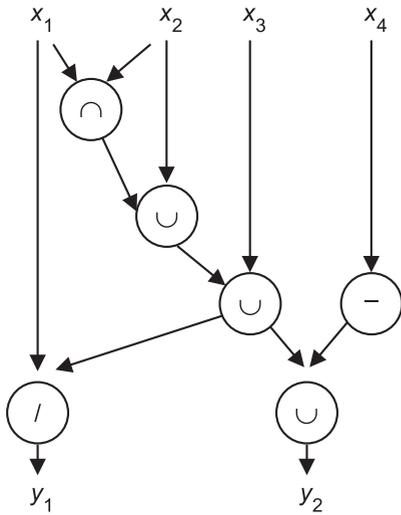


Рис. 2

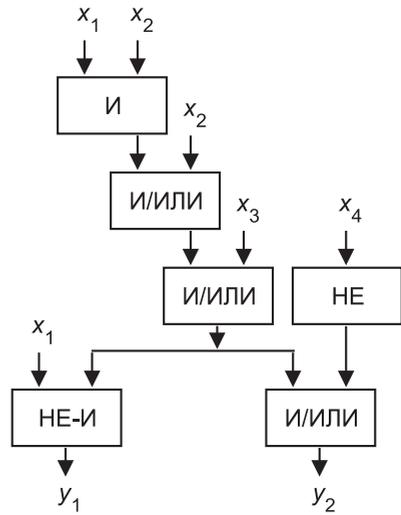


Рис. 3

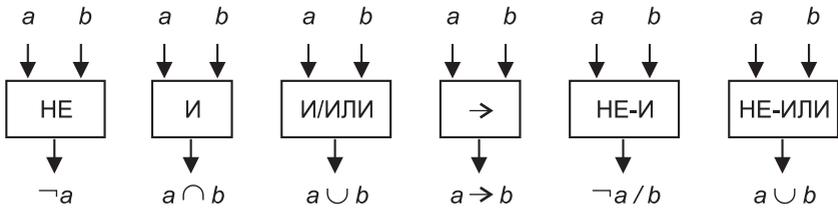


Рис. 4

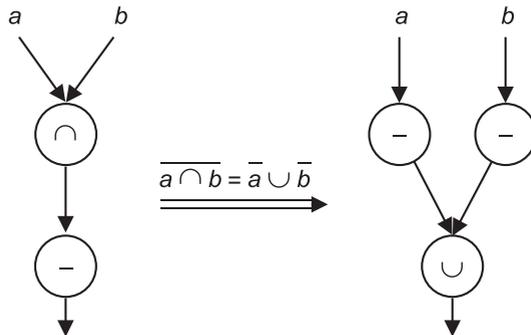


Рис. 5

На базе логических представлений возникли и развиваются теории *логического анализа* и *логического синтеза*. Они основаны на применении средств алгебры логики к задачам анализа и синтеза структур исследуемых систем, а также к задачам принятия решений в сложных проблемных ситуациях, возникающих в системах или при взаимодействии систем.

Задача *логического анализа* состоит в описании поведения системы с известной структурой набора системно-логических уравнений (функций алгебры логики – ФАЛ) и исследовании полученного логического выражения с целью его минимизации, т.е. выяснении, нельзя ли получить более простую структуру (схему), содержащую меньшее число элементов (состояний), но осуществляющую требуемые преобразования. Такие задачи возникают, например, при создании автоматических систем контроля неисправностей, систем автоматического резервирования, обеспечения надежности и т.д.

Задача *логического синтеза* заключается в том, чтобы по известному поведению системы определить ее структуру (в случаях, если она неизвестна или не полностью известна), т.е. сопоставить системе некоторый «автомат» – «черный ящик» с известными входными и выходными воздействиями.

Таким образом, при логическом анализе задача сводится к минимизации ФАЛ, т.е. к оптимизации в некотором смысле логического алгоритма. Задача логического синтеза сложнее, она обычно решается с помощью последовательных приближений, и на промежуточных этапах здесь также может быть полезна минимизация ФАЛ.

Минимизация осуществляется в результате применения законов алгебры логики, приведенных в табл. 3. Наиболее известными *методами минимизации ФАЛ* являются: метод минимизирующих карт или таблиц (конъюнктивных или дизъюнктивных, имплекатных); метод неопределенных коэффициентов; геометрические методы; метод Блека – Порецкого (с обзором методов минимизации ФАЛ можно познакомиться в [10], где даны ссылки на соответствующие первоисточники).

При возрастании числа переменных для минимизации ФАЛ применяют ЭВМ. При этом логический алгоритм нужно перевести на один из языков программирования или при логическом анализе сложных ситуаций разработать промежуточные языки проектирования или моделирования процессов управления (например,

язык БИТ Э.Ф. Скороходько [11], логический язык ЛЯПАС представления алгоритмов синтеза А.Д. Закревского [5] и др.).

Специфические особенности задачи логического синтеза при описании системы логическим автоматом вызвали возникновение и развитие самостоятельной научной дисциплины – *теории автоматов*.

Логические методы представления систем возникли как детерминистские, но в дальнейшем стали предприниматься попытки их расширения в сторону вероятностных оценок. Они сыграли большую роль в развитии теоретической основы алгоритмизации и программирования. В частности, они лежат в основе теории алгоритмов (в дальнейшем – алгоритмов) А.А. Маркова.

Логические представления применяют в случаях исследований новых структур систем разной природы (технических объектов, текстов и др.), в которых характер взаимодействия между элементами еще не настолько ясен, чтобы возможно было их представление аналитическими методами, а статистические исследования либо затруднены, либо не привели к выявлению устойчивых закономерностей.

В то же время следует иметь в виду, что с помощью логических алгоритмов можно описывать не любые отношения, а лишь те, которые предусмотрены *законами алгебры логики*.

Логические представления широко применяются при исследовании и разработке автоматов разного рода, автоматических систем контроля, при решении задач распознавания образов. На их основе развивается самостоятельный раздел *теории формальных языков* моделирования проблемных ситуаций и текстов.

Смысловыражающие возможности логических методов ограничены базисом и не всегда позволяют адекватно отобразить реальную проблемную ситуацию. Поэтому стали предприниматься попытки создания вначале *тернарной логики* [8], а затем – и логик, в которых переменная может принимать не только крайние значения «истинно» – «ложно», но и какие-либо из промежуточных – многозначных логик [12, 14], вплоть до непрерывной.

Однако отметим, что даже для тернарной логики В.Т. Кулику [8] так и не удалось создать непротиворечивый логический базис, и он обратился к созданию информационных языков моделирования на основе лингвистических представлений.

Неудача попыток создания многозначных логик объяснима, если учесть, что вся математика, в том числе и математическая логика, чтобы

соответствовать принципам строго формальной дедуктивной системы (с учетом, конечно, теоремы Гёделя), базируется на *законе исключенного третьего* (т.е. на предположении, что всякое событие (положение) может быть истинным или ложным, третьего не дано).

Реальная же действительность не подчиняется данному закону, и поэтому для ее моделирования необходимо либо создание подходов, основанных на формализации диалектической логики (см. *Информационный подход к анализу систем*), либо использование лингвистических (см. *Математическая лингвистика*) и семиотических представлений (см.), которые свободны от требования выполнения закона исключенного третьего, что и является иногда основанием для того, чтобы не включать эти направления в математику.

- 1. Волкова В. Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974. – С. 43–55. 2. Волкова В. Н. Методы формализованного представления систем: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1993. – С. 51–60. 3. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 109–117. 4. Горбатов В. А. Основы дискретной математики / В.А. Горбатов. – М.: Высшая школа, 1986. 5. Закревский А. Д. Алгоритмический язык ЛЯПАС (логический язык представления алгоритмов синтеза) и автоматизация синтеза дискретных автоматов / А.Д. Закревский. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1965. 6. Карри Х. Основания математической логики / Х. Карри. – М.: Мир, 1969. 7. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженеров / О.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 8. Кулик В. Т. Современная теория организации систем – системология / В.Т. Кулик. – Киев: Знание, 1971. 9. Москинова Г. И. Дискретная математика. Математика для менеджера в примерах и упражнениях: учеб. пособие / Г.И. Москинова. – М.: Логос, 2000. 10. Поспелов Д. А. Логические методы анализа и синтеза схем / Д.А. Поспелов. – М.: Энергия. – С. 41–45. 11. Скороходько Э.Ф. Информационно-поисковая система БИТ / Э.Ф. Скороходько, Л.А. Пшеничная. – Киев: Наукова думка, 1968. 12. Финн В. К. Логические проблемы информационного поиска / В.К. Финн. – М.: Наука, 1976. 13. Яблонский С. В. Функции алгебры логики и классы Поста / С.В. Яблонский. – М.: Наука, 1966. 14. Яблонский С. В. Введение в дискретную математику / С.В. Яблонский. – М.: Высшая школа, 2001. В.Н. Волкова

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – это раздел теории оптимизации (теории экстремальных задач), занимающийся изучением и решением задач минимизации (максимизации) функции нескольких переменных на подмножестве конечномерного векторного пространства, которое задано в виде системы уравнений и/или системы неравенств.

Заметную часть в математическом программировании (МП) составляет *линейное программирование* (см.), в котором ярко проявляются специфические трудности поиска экстремума на границе допустимой области переменных. Линейное программирование является наиболее простым и наиболее изученным разделом МП.

В отличие от линейного программирования теория экстремальных задач, в которой целевая функция и/или функции, задающие ограничения, нелинейны, называется *нелинейным программированием*. В частности, таковым является *квадратичное программирование* (см.), в котором изучается задача поиска экстремума квадратичной функции при линейных ограничениях типа равенств и/или неравенств.

Линейное программирование первоначально развивалось как направление, разрабатывающее новые подходы к решению задач минимизации выпуклых функций, т.е. в рамках выпуклого программирования. *Выпуклое программирование* (см.) посвящено поиску экстремума выпуклой целевой функции на выпуклом множестве, обычно задаваемом в виде системы выпуклых неравенств.

Класс задач оптимизации, в которых область определения переменных состоит из отдельных изолированных точек, составляет предмет изучения *дискретного программирования* (см.).

Широкий класс нелинейных и дискретных задач может решаться с использованием *рекуррентного* подхода (методов типа математической индукции), являющегося основой *динамического программирования* (см.), идея которого первоначально была предложена Р. Беллманом [1].

Для решения задач оптимизации со случайными параметрами разработано *стохастическое программирование* (см.).

К МП относят также *бесконечномерное программирование* (см.), в рамках которого предложены методы решения экстремальных задач с бесконечным числом переменных (например, такие, в которых набором переменных являются функции или набор функций) и минимизируется (максимизируется) функционал.

Развиты также методы решения задач оптимизации, в которых переменная принимает только два значения: «истинно» – «ложно» или «да» – «нет». Такие методы относят к *булевому линейному программированию* (см.).

Методы МП находят применение в самых различных областях техники и экономики.

В советской экономике применение идей и методов МП было воспринято не сразу, лишь только после признания работ лауреата Нобелевской премии в области экономики математика Л.В. Канторовича за рубежом. Определенный вклад здесь был сделан в том числе профессорами Ленинградского политехнического института В.В. Новожиловым, С.А. Соколицыным, Б.И. Кузиным [15, 16] и др.

В настоящее время экономическую теорию невозможно представить без экономико-математических методов, основанных на результатах МП. Здесь достаточно упомянуть модели *календарного планирования* (упорядочения во времени), *расписания*, *поток*овые или *транспортные модели*; *модели распределения и назначения*; *модели износа и замены оборудования* (см. [5, 7, 9, 10, 15 и др.]).

Экстремальные задачи независимо от рассматриваемого направления исследовались в математике Л.С. Понтрягиным (*принцип максимума* Понтрягина [13, 14]), Р.Л. Стратоновичем [17], применительно к теории управления – В.Г. Болтянским [2]. В результате сформировалась *теория оптимальных процессов*.

Анализ постановки и решения задачи МП позволяет выявить следующие особенности:

- введение понятий *целевая функция* и *ограничения* и ориентация на их формирование являются фактически некоторыми средствами постановки задачи; причем эти средства могут быть полезны, даже если не удастся сформировать систему непротиворечивых ограничений или записать целевую функцию в формальном виде;
- при использовании методов МП появляется возможность объединения в одной модели разнородных критериев (разных размерностей, предельных значений), что очень важно при отображении реальных проектных и производственных ситуаций;
- модель МП допускает (и даже ориентирует на это) выход на границу области определения переменных (в то время как методы классической математики в основном приспособлены для поиска точек экстремумов во внутренней части области изменения переменных);
- изучение методов решения задач МП позволяет получить представление о пошаговом приближении к решению, т.е. о *пошаговом алгоритме* получения результата моделирования.

Привлекательность методов МП для решения слабоформализованных задач (каковыми, как правило, являются задачи *планирования, распределения работ и ресурсов, загрузки оборудования*

и другие задачи управления современным предприятием на начальном этапе их постановки) объясняется рядом особенностей, отличающих эти методы от методов классической математики.

- 1. Беллман Р. Динамическое программирование / Р. Беллман. – М.: Изд-во ИЛ, 1960.
- 2. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, Физ.-мат. лит., 1969.
- 3. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф. П. Васильев. – М.: Наука, 1988.
- 4. Иоффе А. Д. Теория экстремальных задач / А. Д. Иоффе, В. М. Тихомиров. – М.: Наука, 1974.
- 5. Канторович Л. В. Математические методы организации и планирования производства / Л. В. Канторович. – Л.: ЛГУ, 1939.
- 6. Канторович Л. В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов / Л. В. Канторович. – М.: Изд-во АН СССР, 1960.
- 7. Козлов В. Н. Решение задач математического программирования: учеб. пособие / В. Н. Козлов, Д. Н. Колесников, А. Г. Сиднев. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1992.
- 8. Лотов А. В. Введение в экономико-математическое моделирование: учеб. пособие / А. В. Лотов. – М.: Наука, 1984.
- 9. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975.
- 10. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981.
- 11. Ногин В. Д. Основы теории оптимизации: учеб. пособие / В. Д. Ногин, И. О. Протодяконов, И. И. Евлампиев. – М.: Высшая школа, 1986.
- 12. Подиновский В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – М.: Наука, 1982.
- 13. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – М.: Физматгиз, 1961. Изд. 3-е. – М.: Наука, 1976.
- 14. Понтрягин Л. С. Принцип максимума в оптимальном управлении / Л. С. Понтрягин. – М.: Наука, 1989.
- 15. Соколицын С. А. Организация и оперативное управление машиностроительным производством: учеб. для вузов / С. А. Соколицын, Б. И. Кузин. – Л.: Машиностроение, 1988.
- 16. Соколицын С. А. Многоуровневая система оперативного управления ГПС / С. А. Соколицын, В. А. Дуболазов, Ю. Н. Домченко. – Л.: Политехника, 1991.
- 17. Стратонович Р. Л. Условные марковские процессы и их применение в теории оптимального управления / Р. Л. Стратонович. – М.: МГУ, 1966.

*В. Н. Волкова, Б. И. Кузин, В. Д. Ногин, В. Н. Юрьев*

**МАТРИЧНАЯ СТРУКТУРА** – в первоначальном значении математическое понятие, используемое в линейной алгебре, теории матричного исчисления, теории множеств.

В последующем это понятие стало использоваться в более широком смысле для отображения многомерного представления сложных систем, как эквивалент табличной формы.

В форме МС (таблиц) могут быть представлены взаимоотношения между уровнями иерархической структуры, что иногда удобнее на практике при оформлении планов, поскольку помимо иерар-

хической соподчиненности тематической основы плана в нем нужно указать исполнителей, сроки выполнения, формы отчетности и другие сведения, необходимые для контроля выполнения плана.

Разновидность такого вида матричного представления иерархических взаимоотношений используется в толковых словарях, в информационно-поисковых языках дескрипторного типа, в автоматизированных диалоговых процедурах анализа целей и функций, поскольку при использовании таких диалоговых процедур первоначально неизвестно число ветвей на каждом уровне иерархии.

В виде двумерной МС могут быть представлены взаимоотношения между уровнями иерархии со «слабыми» связями (см. *Структура*); при этом, помимо наличия связей в матрице, может быть охарактеризована и сила связей либо словами («сильная» – «слабая»), либо путем введения количественных характеристик силы (значимости, длительности и т.п.) связи.

Термин «матричная структура» применяется для названия трехмерной *организационной структуры* (см.), сочетающей линейный, функциональный и программно-целевой принципы управления [1–5].

МС могут быть и многомерными. Например, в [4, 5] предлагается матричными называть четырехмерные структуры. Но в этих случаях графическое их представление становится неудобным, и тогда по аналогии с символическим алгебраическим представлением многомерной структуры в виде тензора, и организационные структуры называют *тензорными* [6].

МС сложных систем могут быть представлены также в такой форме, когда одна или даже все оси структуры образованы как иерархические, что, например, имеет место при представлении организационных структур.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е, 2003. 2. Мильнер Б.З. Системный подход к организации управления / Б.З. Мильнер, Л.И. Евенко, В.С. Рапопорт. – М.: Экономика, 1983. 3. Овсевич Б.Л. Формирование организационных структур / Б.Л. Овсевич. – Л.: Наука, 1979. 4. Волкова В.Н. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. 5. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 6. Чудесова Г.П. Преобразование организационной структуры при изменении формы собственности предприятия / Г.П. Чудесова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1995.

*В.Н. Волкова, Г.П. Чудесова*

**МЕТОД РЕШАЮЩИХ МАТРИЦ И ЕГО МОДИФИКАЦИИ** – один из *методов организации сложных экспертиз* (см.), идея которого была предложена Г.С. Поспеловым [3] как средство структурированного расчленения проблемы с большой неопределенностью на подпроблемы и пошагового получения оценок.

Например, при создании сложных производственных комплексов, реализации крупных проектов и организации решения других аналогичных проблем нужно определить влияние на проектируемый объект фундаментальных научно-исследовательских работ, чтобы запланировать эти работы, предусмотреть их финансирование и распределить средства между ними.

Получить от экспертов объективные и достоверные оценки влияния фундаментальных НИР на проектирование сложного объекта практически невозможно.

Чтобы облегчить экспертам эту задачу, можно вначале спросить их, какие направления (области) исследований могут быть полезны для создания комплекса (или какие подпроблемы нужно решить для реализации всей проблемы), и попросить определить относительные веса этих направлений (подпроблем)  $a_1, \dots, a_{na}$ . Затем составить план опытно-конструкторских работ для получения необходимых результатов по названным направлениям и оценить их вклад  $b_1, \dots, b_{nb}$ . Далее нужно определить перечень прикладных научных исследований и их относительные веса  $g_1, \dots, g_{ng}$ . И, наконец, получить оценки влияния фундаментальных НИР на прикладные  $d_1, \dots, d_{nd}$ .

Таким образом, область работы экспертов представляется в виде нескольких уровней: направления (подпроблемы) → ОКР → прикладные НИР → фундаментальные НИР (рис. 1).

Относительные веса по всем уровням должны быть нормированы. В методе решающих матриц (МРМ) для удобства опроса экспертов относительные веса определяются не в долях единицы, а в процентах, и нормируются по отношению к 100:

$$\sum_{j=1}^{na} a_j = 100.$$

Непосредственно экспертами оцениваются только веса направлений (подпроблем), остальные относительные веса вычисляются. Эксперты оценивают вклад каждой альтернативы (ОКР, НИР) в реализацию элементов более высокого уровня, непосредственно предшествующего уровню данной альтернативы.

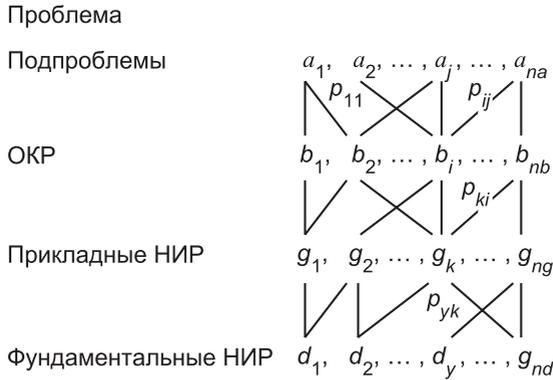


Рис. 1

Так, вклад ОКР в реализацию направления (подпроблемы) оценивается некоторой величиной  $p_{ij}$ . При этом относительные веса  $p_{ij}$  для каждой  $j$ -й подпроблемы нормированы:  $\sum_{i=1}^{nb} p_{ij} = 100$ .

Таким образом, каждая строка решающей матрицы характеризует относительный вклад  $i$ -й ОКР в реализацию каждой из  $j$ -х подпроблем.

Оценив предварительно  $a_1, \dots, a_{na}$  и используя решающую матрицу  $\|p_{ij}\|$ , можно получить относительные веса ОКР:

$$b_i = \sum_{j=1}^{na} p_{ij} a_j. \quad (1)$$

Аналогично, зная  $b_i$  и оценив  $\|p_{ki}\|$ , можно получить относительные веса  $g_k = \sum_{i=1}^{nb} p_{ki} b_i$  прикладных НИР, контролируя условия нормирования  $\sum_{k=1}^{ng} p_{ki} = 100$  и  $\sum_{k=1}^{ng} g_k = 100$ , а затем и веса  $d_y$  фундаментальных НИР.

В результате при использовании МРМ оценка относительной важности сложной альтернативы сводится к последовательности оценок более частных альтернатив, что обеспечивает их большую достоверность при прочих равных условиях.

Иными словами, большая неопределенность, имевшая место в начале решения задачи, как бы разделена на более «мелкие», более обозримые, лучше поддающиеся оценке, что соответствует одной из основных идей системного анализа.

В случае применения МРМ в особо сложных ситуациях целесообразно создавать и накапливать базы данных о возможных фундаментальных, прикладных НИР и ОКР, проводимых в стране и за рубежом по проблемам, аналогичным или смежным с рассматриваемой, и анализировать их влияние одна на другую в соответствии с методом решающих матриц.

Этот метод применялся для реализации крупных дорогостоящих проектов (космос, оборона, фундаментальные научные исследования и т.п.), при создании, реконструкции, конверсии предприятий или научно-исследовательских организаций, инвестируемых государством, т.е. в ситуациях, для которых повышаются требования к тщательности анализа факторов, влияющих на принятие решений.

Используя МРМ и сформировав многоуровневую структуру факторов, влияющих на создание и функционирование предприятий (организаций), можно провести более тщательный анализ вклада конкретных факторов нижнего уровня этой структуры (многие из которых могут быть количественно оценены с помощью детерминированных или вероятностных характеристик) в процесс проектирования и функционирования предприятия.

Приведем некоторые примеры модификации метода решающих матриц.

**Оценка возможностей посреднической фирмы.** Для обеспечения эффективности функционирования посреднической фирмы необходимо оценивать, с одной стороны, потребности в продукции и возможности потребителей, а с другой – возможность получения товара от производителей.

Для моделирования этой задачи можно модифицировать метод решающих матриц Г.С. Поспелова следующим образом.

В исходном варианте метода расчленение большой неопределенности на более обозримые для эксперта проводилось в форме стратифицированной модели, уровни которой выделены в соответствии с «жизненным циклом» решения проблемы: «фундаментальные НИР – прикладные НИР – ОКР – изделие (или иной результат решения подпроблемы)», и оценивалась степень влияния самого нижнего уровня модели (фундаментальные НИР) на верхний (проблему). Оценки получали в ходе последовательного продвижения по стратифицированной модели «сверху вниз»,

т.е. вначале оценивали относительную важность подпроблем; затем – влияние ОКР на решение подпроблем; далее оценивали влияние прикладных НИР на выполнение ОКР и, наконец, фундаментальных НИР – на прикладные.

В рассматриваемой задаче положение посреднической фирмы определяется характером ее деятельности. Поэтому необходимо изменить последовательность получения оценок по сравнению с исходным методом и получать оценки относительно среднего уровня стратифицированной модели, чтобы осуществлять на основе полученных оценок выбор поставщиков и потребителей.

Можно предварительно оценить относительные потребности, а затем уже – возможности приобретения продукции. Тогда в модели могут быть сформированы следующие страты (сверху вниз): потребители с относительными оценками  $a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_{na}$ ; заказы –  $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_{nb}$ ; поставщики –  $g_1, g_2, \dots, g_k, \dots, g_{ng}$  (рис. 2)\*.

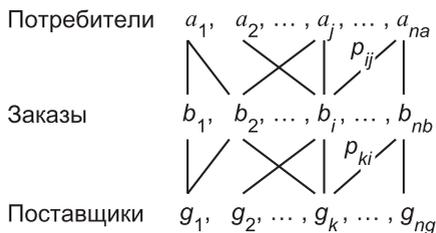


Рис. 2

Такая модель удобна, когда посредническая фирма комплектует заказы из продукции, получаемой от поставщиков, и затем реализует эти заказы потребителю.

Возможен также вариант применения модели для посреднических предприятий, обеспечивающих город или район сельскохозяйственной продукцией, товарами широкого потребления и т.п.

В такой задаче прежде всего необходимо оценить относительную значимость заказчиков  $a_j$ , выполняя условие нормирования как принято в исходном варианте метода, т.е. по отношению к 100%:  $\sum_{j=1}^{na} a_j = 100$  либо по отношению к 1:  $\sum_{j=1}^{na} a_j = 1$ , как принято в методике ПАТТЕРН (см.) и чаще используется на практике.

\* Данную постановку задачи предложили и реализовали в 1997 г. средствами языка Турбо-Си студенты А.А. Кошкина и А.П. Саньков.

Оценки  $\{a_j\}$  можно получить не только непосредственно экспертным способом, но и на основе имеющейся (или накапливаемой) статистики реализации заказов.

Затем нужно оценить возможность (вероятность) реализации заказов. На рис. 2 вероятности  $p_{ij}$  продаж заказов (собственной и конкурирующими фирмами) нормированы для каждого  $j$ -го потребителя:

$$\sum_{i=1}^{nb} p_{ij} = 100.$$

Теперь, зная  $a_1, \dots, a_{na}$  и используя решающую матрицу  $\|p_{ij}\|$ , можно согласно (1) получить относительные веса заказов:  $b_i = \sum_{j=1}^{na} p_{ij} a_j$ .

Далее нужно оценить возможность (вероятность) приобретения товаров для комплектования заказов. На рис. 2 эти оценки вероятности приобретения продукции собственной и конкурирующими фирмами обозначены  $p_{ki}$ . Естественно, для каждой фирмы-посредника относительные веса  $p_{ki}$  также нормированы:  $\sum_{k=1}^{ng} p_{ki} = 100$ .

Каждая строка этой решающей матрицы характеризует относительную возможность (вероятность в широком смысле) приобретения  $i$ -й фирмой-посредником желаемого вида продукции (товаров) для комплектования заказов.

Теперь, зная  $b_i$  и оценив  $\|p_{ki}\|$ , подобно (1) можно получить относительные веса  $g_k = \sum_{i=1}^{nb} p_{ki} b_i$ , контролируя соответствующие условия нормирования  $\sum_{k=1}^{ng} p_{ki} = 100$  и  $\sum_{k=1}^{ng} g_k = 100$ .

В рассматриваемой модели (см. рис. 2) верхнюю и нижнюю страты можно поменять местами, подчеркнув в модели приоритет поставщиков.

Например, это может оказаться удобным, если фирма занимается поставкой зарубежной вычислительной техники на отечественный рынок.

Модель для решения проблемы обеспечения эффективности функционирования такой фирмы путем выбора поставщиков и потребителей в каждый конкретный период времени приведена на рис. 3 (собственная фирма здесь выделена рамкой).

В такой постановке задачи вначале оценивается значимость (престижность, надежность) поставщиков  $a_i$ . Эти оценки могут быть получены не только экспертным путем. Во-первых, при оценке относительной значимости поставщиков можно организовать процедуру типа используемой в методике ПАТТЕРН, т.е. определить критерии оценки (престиж, надежность фирмы и т.п.), ввести их весовые коэффициенты и

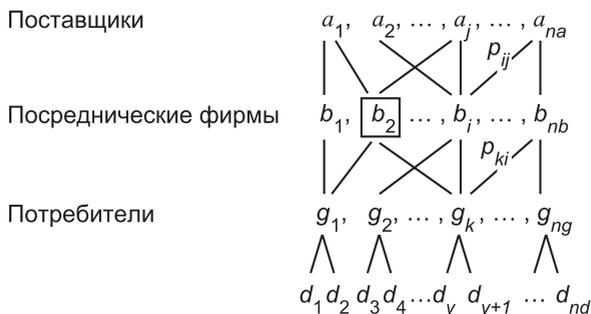


Рис. 3

получить более точные оценки с учетом весовых коэффициентов критериев. А во-вторых, можно учесть косвенные количественные оценки (например, на основе имеющегося опыта общения с той или иной фирмой оценить надежность поставок, вероятность продажи ее изделий и т.п.).

Можно также использовать смешанный подход – графически сопоставить экспертные и косвенные количественные оценки, выявить противоречивые и провести более тщательный анализ рынка изделий этой фирмы или рынка товара соответствующего вида с учетом влияния аналогичных товаров других фирм, для чего можно применить информационные модели рыночной ситуации [1, 2] (см. *Информационный подход к анализу систем*).

Далее нужно оценить возможность (вероятность) приобретения товара (в рассматриваемом примере – компьютеров разных типов, принтеров, модемов и т.п.). На рис. 3 эти оценки вероятности продаж продукции собственной и конкурирующими фирмами обозначены  $p_{ij}$ .

Естественно, для каждой фирмы-поставщика относительные веса также нормированы:  $\sum_{i=1}^{nb} p_{ij} = 100$ , а каждая строка решающей матрицы характеризует относительную возможность (вероятность в широком смысле) приобретения  $i$ -й фирмой-посредником желаемого вида товаров соответствующей фирмы.

Теперь, зная  $a_1, \dots, a_{na}$  и используя решающую матрицу  $\|p_{ij}\|$ , можно согласно (1) получить относительные возможности фирм-посредников (включая собственную):  $b_i = \sum_{j=1}^{na} p_{ij} \cdot a_j$ .

В отличие от традиционного метода решающих матриц в данной модификации процедуру получения  $\{b_i\}$  интересно повторить для различных видов приобретаемой продукции, чтобы выбрать наиболее выгодный вариант для собственной фирмы. При этом такой анализ полез-

но дополнить экономическими оценками затрат на тот или иной вариант взаимодействия с фирмами-поставщиками. Можно также рассмотреть варианты взаимовыгодных соглашений с конкурирующими фирмами и учесть это в модели.

Далее нужно оценить возможность реализации конкретных видов изделий, опросив потребителей (что, естественно, не всегда возможно) или оценив вероятность продаж аппаратуры того или иного вида группам потребителей (предприятия, вузы, школы и т.п.) на основе либо предшествующего опыта, либо мнений экспертов, изучавших рынок соответствующего вида товаров. Эти оценки на рис. 3 обозначены  $p_{ki}$ .

Аналогично рассмотренному, зная  $b_i$  и оценив  $\|p_{ki}\|$ , подобно (1) можно получить относительные веса  $g_k = \sum_{i=1}^{nb} p_{ki} b_i$ .

Можно дополнить модель четвертой стратой, детализировав группы потребителей, и получить уточненные оценки вероятности продаж  $d_y$ . При этом в отличие от традиционного метода нижний уровень следует формировать не в виде неупорядоченного набора потребителей  $\{d_y\}$ , а в виде элементов предшествующего уровня иерархии, объединяемых в узлы  $g_k$ , и оценивать вначале относительную возможность (например, покупательную способность) конкретных потребителей в рамках группы (например, вероятность приобретения компьютеров коммерческими школами может быть больше вероятности приобретения тех же компьютеров школами с государственным финансированием), а затем для выполнения условия нормирования  $\sum_{y=1}^{nd} d_y = 100$  умножить эти оценки на оценки соответствующей группы потребителей, т.е. на соответствующие оценки компонентов из множества  $\{g_k\}$ .

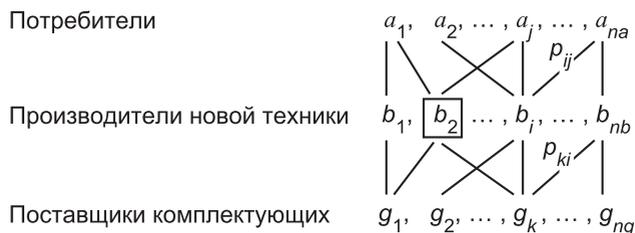
Если удовлетворительный вариант не получен, то следует повторить всю процедуру, изменив виды приобретаемых товаров, а возможно, и соглашения с конкурирующими фирмами-посредниками.

В случае применения рассматриваемого подхода формирование и расположение страт зависят от конкретной задачи, от конкретной проблемной ситуации. В реальных условиях необходимо создавать и накапливать базы данных о возможных поставщиках и их характеристиках, о потенциальных возможностях потребителей, в перспективе – с учетом сведений о их оснащенности соответствующими средствами (в данном случае – вычислительной техникой), о конкурирующих предприятиях-посредниках и т.п., а также сохранять варианты решений, полученные в процессе моделирования, чтобы анализировать тенденции изменения рыночной ситуации.

Реализация рассматриваемого подхода – достаточно трудоемкая задача, требующая автоматизации. Поэтому разрабатывают соответствующие автоматизированные диалоговые процедуры, с примерами которых можно познакомиться в [2].

**Планирование деятельности предприятий малых форм, производящих товары широкого потребления.** В условиях рыночной экономики необходимо планировать деятельность предприятия, производящего новые технические средства широкого потребления.

Например, для предприятия, занимающегося сборкой изделий вычислительной или аудио-видеотехники из приобретаемых комплектующих, в том числе зарубежных, модель должна позволять (рис. 4) определить вначале платежеспособный спрос на продукцию потребителей, а затем – возможности приобретения необходимых комплектующих, учета конкурентов (собственная фирма на рис. 4 выделена рамкой).



**Рис. 4**

Можно также поставить задачу и для производящей фирмы, которая использует кредиты для изготовления изделий, ставя задачу возвращения кредита и получения дополнительных средств от реализации изделий для развития предприятия\*.

В этой задаче на верхней страте расположены банки (рис. 5), к которым можно обратиться для получения кредита. Банки можно оценивать с позиции их рейтинга, надежности, возможностей получения кредита и других аналогичных характеристик. Оценки получают экспертным путем и на основе накапливаемого опыта общения с банками рассматриваемого предприятия и других конкурирующих с ним.

Затем, в отличие от предыдущих примеров, нижняя страта реализуется в форме двух как бы параллельных, поскольку необходимо оценить степень влияния на эффективную деятельность предприятий как поставщиков комплектующих, так и потребителей производимых изделий.

\* Пример подготовили в 1997 г. студенты СПбГТУ М. Науменко и Д. Лукин.

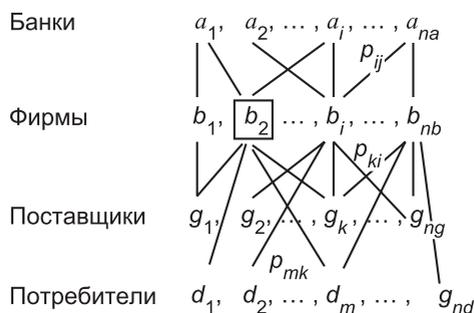


Рис. 5

Программная процедура может быть подобна рассмотренной, с учетом того, что нужно дважды повторять обращение к модулю оценки взаимоотношений предприятия с нижележащим уровнем рис. 5, оценивая взаимоотношения с поставщиками и с потребителями.

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – СПб.: СПбГТУ, 1997; 3-е изд., 2003. – С. 139–141, 345–352. 2. Волкова В. Н. Методы организации сложных экспертиз / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – СПб.: СПбГТУ, 2001. 3. Литвак Б. Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1992. В. Н. Волкова

**МЕТОДИКА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА** разрабатывается и применяется в тех случаях, когда у лиц, принимающих решения, на начальном этапе нет достаточных сведений о системе или проблемной ситуации, позволяющих выбрать метод формализованного представления, сформировать математическую модель или применить один из новых подходов к моделированию, сочетающих качественные и количественные методы.

В таких случаях могут помочь представление объекта в виде системы, организация процесса коллективного принятия решений с привлечением специалистов различных областей знаний, с использованием разных *методов формализованного представления систем* (см.) и *методов активизации интуиции и опыта специалистов*, со сменой методов по мере познания объекта (ситуации).

Чтобы организовать такой процесс, нужно определить последовательность этапов, рекомендовать методы их выполнения, предусмотреть при необходимости возврат к предыдущим эта-

пам. Такая последовательность определенным образом выделенных и упорядоченных этапов и подэтапов с рекомендованными методами и приемами их выполнения представляет собой структуру методики.

Примеры выделения этапов в первых методиках системного анализа приведены в табл. 1.

Анализируя эти методики, можно увидеть, что во всех них в той или иной форме представлены этапы выявления проблем и постановки целей (укрупненные этапы I и II), разработки вариантов и модели принятия решения (этап III), этапы оценки альтернатив и поиска решения (этап IV) и его реализации (этап V), а в некоторых – этап оценки эффективности решений и последствий их реализации (этап VI) или даже проектирования организации для достижения целей (который можно было бы вынести в отдельный крупный этап VII).

При этом в методиках этапы детализированы по-разному.

В одних методиках основное внимание уделяется разработке и исследованию альтернатив принятия решений (С. Оптнер [6], Э. Квейд [5]), в других – этапу обоснования цели и критериев, структуризации цели (Ю.И. Черняк [9], С. Оптнер, С. Янг [10]), в третьих – выбору решения (С. Оптнер), в четвертых – этапам управления процессом реализации уже принятого решения (С. Оптнер, С. Янг), а в наиболее полной методике Ю.И. Черняка особо предусмотрен этап проектирования организации для достижения цели.

В реальных условиях выполнение отдельных этапов может занимать достаточно много времени.

Например, этап обследования существующей системы управления предприятием и формулирования технического задания (как показал процесс создания АСУ) может длиться год и более. Аналогично достаточно много времени требуют и этапы анализа целей и определения альтернатив решения.

Поэтому для более четкого выполнения этапов возникает необходимость большей их детализации, разделения на подэтапы, более конкретного определения конечных результатов выполнения подэтапов.

В частности, в последней из приведенных в табл. 1 методик Ю.И. Черняка каждый из 12 этапов разделен на подэтапы, которых в общей сложности 72 [9].

Сложность проблемы управления созданием и развитием систем с активными элементами и большой начальной неопреде-

Таблица 1

Этапы методик системного анализа					
Номер укрупненных этапов	По С. Оптнеру (С.П. Никанорову) [6]	По Э. Квейду [5]	По С. Янгу [10]	По Е.П. Голубкову [4]	По Ю.И. Черняку [9]
I	1. Идентификация симптомов 2. Определение актуальности проблемы	1. Постановка задачи – определение существа проблемы, выявление целей и определение границ задачи 2. Поиск-сбор необходимых сведений, определение альтернативных средств достижения целей		1. Постановка задачи 2. Исследование	1. Анализ проблемы 2. Определение системы 3. Анализ структуры системы
II	3. Определение цели		1. Определение целей систем 2. Выявление проблем организации	3. Анализ	4. Формирование общей цели и критерия 5. Декомпозиция цели, выявление потребности в ресурсах и процессах
III	4. Вскрытие структуры системных элементов 5. Определение структуры возможностей 6. Нахождение альтернатив	3. Толкование-построение модели и ее использование	3. Исследование проблем и постановка диагноза 4. Поиск решения проблемы	4. Предварительное суждение	6. Выявление ресурсов и процессов, композиция целей 7. Прогноз и анализ будущих условий

Номер укрупненных этапов	Этапы методик системного анализа			
	По С. Оптнеру (С.П. Никанорову) [6]	По Э. Квейду [5]	По С. Янгу [10]	По Е.П. Голубкову [4]
IV	7. Оценка альтернатив	7. Оценка всех альтернатив и выбор наилучшей из них	5. Оценка всех альтернатив и выбор наилучшей из них	8. Оценка целей и средств 9. Отбор вариантов
V	8. Выбор альтернативы 9. Составление решения 10. Признание решением коллективом исполнителей и руководителей	4. Рекомендация—определение предпочтительной альтернативы или курса действий	6. Согласование решений в организации 7. Утверждение решения	10. Диагноз существующей системы
VI	11. Запуск процесса реализации решения 12. Управление процессом реализации решения 13. Оценка реализации и ее последствий	5. Подтверждение—экспериментальная проверка решения	8. Подготовка к вводу 9. Управление применением решения 10. Проверка эффективности решения	11. Построение комплексной программы развития 12. Проектирование организации для достижения целей

ленностью (например, в случае предприятий, организаций) обусловлена необходимостью поиска компромисса между целостностью представления объекта и детализацией описания его компонентов в процессе разработки и реализации проекта. Эта проблема объединения и упорядочения совокупности моделей и решается с помощью методики системного анализа.

Для таких систем разработать методику, объединяющую модели, в виде четкой последовательности этапов или в форме сетевой структуры, включающей и последовательно, и параллельно выполняемые этапы, крайне сложно. Поэтому объединить модели можно с помощью многоуровневой методики, базирующейся на стратифицированном представлении процесса проектирования. При разработке такой методики структурировать проблему можно разными способами.

Например, при структуризации предприятия (организации) вначале полезно использовать методику, базирующуюся на концепции деятельности. В соответствии с этой методикой следует выделить сферы деятельности организации.

Прежде всего выделяют следующие сферы (рис. 1):

- сфера основной деятельности предприятия (производство, организация научных исследований, проектирование, оказание услуг и т.п.);
- сфера организационного управления.

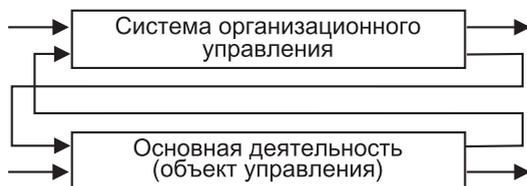


Рис. 1

Часто для того, чтобы подчеркнуть, что назначением организации является осуществление основной деятельности, эту сферу называют *объектом управления*. А сферу, предназначенную для обеспечения основной деятельности, называют *системой организационного управления* (СОУ). СОУ обеспечивает контроль и ре-

гулирование основного вида деятельности предприятия. В то же время каждая из сфер имеет обособленные «входы» и «выходы», которые для объекта управления определяются *материальными* потоками, для СОУ – *информационными* потоками, в том числе требованиями, диктуемыми нормативно-правовыми документами, правилами и формами отчетности, определяемыми надсистемой.

В настоящее время иногда выделяют в качестве самостоятельной *информационную сферу*, которая должна обеспечивать информацией и объект управления, и СОУ.

Далее каждую из сфер можно, в свою очередь, разделить на страты. Например, страты можно выделять в соответствии с предложенным Ю.И. Черняком [9] принципом абстрагирования отображения системы – от замысла (концепции) до материального воплощения, т.е. рассматривая систему как последовательное преобразование представлений о ней в процессе проектирования, выделить следующие уровни ее отображения (табл. 2):

- теоретико-методологический, или концептуальный (для организационных систем этот уровень обычно завершается разработкой устава предприятия, концепции его перспективного развития);

- научно-исследовательский (в результате НИР выбирают или предлагаются теоретические и прикладные модели, позволяющие провести необходимый анализ для выполнения последующих проектных работ);

- проектный (завершающийся определением комплекса методов и средств решения проблемы);

- инженерно-конструкторский (для организационных систем этот уровень завершается разработкой структур, программных средств и т.п.);

- технологический (разработка организационно-технологических процедур подготовки и реализации проектных и управленческих решений, разработка информационной технологии реализации программных продуктов);

- материальное воплощение, реализация системы (для организаций – это комплекс нормативно-технических и нормативно-методических документов, обеспечивающих реализацию принятых проектных или управленческих решений, т.е. положения, методики, инструкции, стандарты и нормативные документы).

В варианте методики для конкретной организации некоторые страты могут быть объединены (например, в табл. 2 объединены проектный и инженерно-конструкторский уровни).

Таблица 2

Уровни абстрагирования системы управления	Анализ факторов, влияющих на создание предприятия	Анализ целей и функций (ЦФ) системы управления предприятием	Разработка (корректировка) организационной структуры системы управления	Создание и развитие системы нормативно-методического обеспечения управления (СНМОУ)	Разработка и развитие автоматизированной системы управления (АСУП)
Концептуальный уровень описания системы	Анализ факторов, влияющих на: * производственный план; * финансовый план и т.п.	Разработка принципов формирования и анализа структур целей и функций системы управления предприятием	Выбор подхода и разработка принципов формирования и анализа вариантов организационной структуры управления предприятием	Разработка принципов создания и развития СНМОУ, состава НМД и НТД, структуры СНМОУ предприятия	Разработка принципов развития интегрированной АСУ предприятия (организации)
Уровень научно-исследовательских работ	Разработка моделей анализа факторов среды, рынка и т. д.	Разработка методик формирования и оценки структур ЦФ	Разработка методик формирования и анализа вариантов организационной структуры	Разработка методик создания и развития СНМОУ предприятия	Разработка методики развития интегрированной АСУП
Уровень конструкторских разработок (программных процедур)	Создание автоматизированных диалоговых процедур, программ, тестов и проведение анализа	Разработка (адаптация) АДПАЦФ и автоматизированных процедур оценки структуры ЦФ	Разработка автоматизированных процедур моделирования вариантов организационной структуры	Разработка автоматизированных баз данных и ИПС АСНМОУ	Разработка автоматизированных процедур АСУП
Уровень технологической реализации	Разработка информационно-технологических процедур реализации анализа	Разработка информационной технологии использования АДПАЦФ	Разработка информационной технологии моделирования организационной структуры	Разработка информационной технологии реализации АСНМОУ	Разработка информационной технологии реализации процедур АСУП
Уровень материального воплощения (реализации системы)	НПД и инструкции по эксплуатации программного обеспечения для пользователей	Методики, инструкции пользователю и других НМД	Методика. СТП «Оргструктура». Положения о подразделениях и тому подобных НМД и НТД	Методика. НМД, стандарты и другие нормативные документы	Методика. НМД, инструкции пользователям и т.п.

После выделения страт на каждой из них определяется последовательность этапов и выбираются методы, модели, методики их реализации. При определении этапов могут использоваться методики, базирующиеся на различных концепциях системы [1, 8, 9]. Выбор методики зависит от исследуемого объекта.

В табл. 2 дан вариант структуризации сферы организационного управления.

Этот вариант получен с использованием следующего признака методики, основанной на концепции деятельности – «Структура деятельности», в соответствии с которым выделяются «цели», «содержание и формы», «методы», «средства», «входы». При этом составляющая «входы», интерпретированная как «Анализ факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия», вынесена на первое место, поскольку при создании нового предприятия или при его реструктуризации часто целесообразно начинать исследование с анализа факторов, что помогает сформировать структуру целей и функций системы управления предприятием. В этой таблице обозначены: АСУП – автоматизированная система управления предприятием; АДПАЦФ – автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций; СНМОУ – система нормативно-методического обеспечения и управления; НПД, НМД и НТД – нормативно-правовые, нормативно-методические и нормативно-технические документы.

Возможны и иные способы структуризации с использованием других методик. Графическое представление названных сфер и их структуризации достаточно громоздко. Поэтому целесообразно сферы организации представить в виде самостоятельных подсистем. Например, так, как показано на рис. 2, в виде параллельно расположенных сфер, или на рис. 3, где сферы расположены, как на рис. 1, т.е. одна под другой.

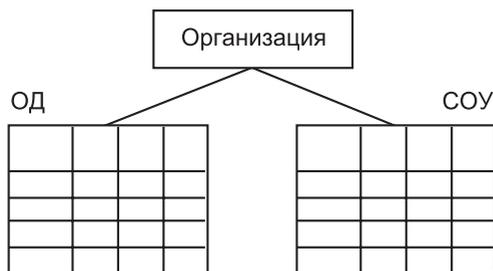


Рис. 2

Каждую из сфер можно разделить, пользуясь любой методикой структуризации (см.) системы.

Для выбора методики целесообразно попытаться применить разные методики, провести сравнительный анализ полученных структур и выбрать наиболее под-

ходящую или разработать обобщенную методику, объединив возможности нескольких исходных.

В приведенном в табл. 2 варианте этапы повторены на всех стратах, что удобно при организации проектных работ. Однако в общем случае выделение этапов и подэтапов на разных стратах может быть неодинаковым. Причина в том, что путь от замысла до реализации, который проходит в процессе проектирования любая система или ее часть, может быть весьма длительным. При этом разные составляющие проекта, порядок разработки которых представляют последовательно и параллельно выполняемыми этапами и подэтапами, могут проходить этот путь неодновременно. В этой сложной ситуации разрабатываемая методика позволит сохранять целостное представление о системе и процессе ее проектирования.

При развитии предприятия любое нововведение или комплекс нововведений в управление проходит подобный путь, и такое представление помогает разработать методику организации сложной экспертизы при внедрении нововведений.

Включать большое число этапов и подэтапов в единую методику, реализуемую в течение нескольких лет, не всегда удобно. Такая методика становится труднообозримой и малоприменимой для практического применения. Поэтому часто весь процесс принятия решения делят на подпроцессы (или подзадачи) и отдельно разрабатывают методику *анализа целей*, методику формирования и исследования *альтернативных вариантов принятия решения*, методику *реализации принятых решений*.

Например, при разработке системы методик для совершенствования управления предприятиями можно отдельно разрабатывать методику совершенствования (преобразования) организационной структуры предприятия (как одного из важнейших средств достижения целей). Можно также разработать отдельную методику обследования существующей системы.

При разработке методики, ориентированной на решение любой задачи всего цикла принятия решения, можно рекомендовать вна-

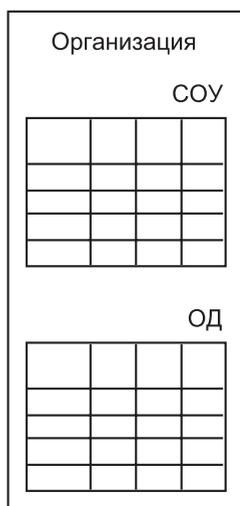


Рис. 3

чале выделить два крупных этапа, которые отделяют процесс собственно формирования модели от процедуры ее оценки и анализа, так как эти этапы обычно выполняют с помощью разных методов.

В обобщенном виде указанные этапы можно назвать следующим образом.

1. Формирование первоначального варианта (вариантов) модели принятия решения (структуры целей, оргструктуры, сетевой или другого вида модели альтернативных вариантов решения и т.п.).

2. Оценка, анализ первоначального варианта (вариантов) модели принятия решений (структуры целей, оргструктуры и т.п.) и выбор наилучшего варианта (или корректировка первоначального варианта, если он был единственным).

Возможные наименования этих этапов применительно к конкретным задачам – анализа целей, разработки оргструктуры и т.п. – приведены в табл. 3. Этапы затем детализируют, делят на подэтапы.

Таблица 3

Решаемая проблема (задача)	Наименование этапа	
	Этап 1	Этап 2
Анализ целей. Формирование основных направлений развития предприятия (организации). Выбор структуры плана	Формирование первоначального варианта (вариантов) структуры целей (направлений, плана)	Оценка, анализ первоначального варианта (вариантов) структуры целей (плана) и выбор наилучшего варианта или корректировка структуры
Разработка (совершенствование) организационной структуры управления предприятием (регионом и т.п.)	Разработка первоначального варианта (вариантов) оргструктуры	Оценка первоначального варианта (вариантов) оргструктуры и выбор наилучшего (или корректировка существующего)
Организация процесса принятия решения (для управленческой или проектной задачи)	Формирование первоначальной модели принятия решения (вариантов решения, путей реализации управленческого решения)	Анализ модели принятия решения и выбор наилучшего варианта (пути) решения задачи
Организация процесса реализации решения (для управленческих решений)	Формирование вариантов прохождения решения в оргструктуре системы управления (вариантов организационно-технологических процедур подготовки и реализации решения)	Анализ вариантов прохождения решения в оргструктуре и выбор наилучшего варианта оргтехпроцедуры подготовки и реализации управленческого решения

Если после выделения подэтапов их число окажется небольшим (например, 7–9, что соответствует рекомендациям гипотезы Миллера), то их можно перенумеровать по порядку, и при оформлении методики рассматривать как последовательность ее этапов.

При большом числе подэтапов целесообразно сохранить первоначально выделенные крупные этапы. Если в методике предусматривается возможность выбора методов реализации этапов и подэтапов, то подэтапы могут быть еще более детализированы.

После разработки структуры методики следует выбрать методы и разработать модели для реализации этапов. Первоначально выделенные этапы могут быть разделены на подэтапы. Разделение на подэтапы зависит от задачи и выбранных методов реализации этапов.

Примеры разделения этапов в методике анализа целей при выборе различных методов реализации этапов приведены в табл. 4.

Следует отметить, что выделенные два укрупненных этапа методики могут повторяться поочередно несколько раз, так как решение, принятое на втором этапе, может помочь уточнить модель, формируемую на первом, например, помогает уменьшить или расширить область допустимых решений. Этапы могут повторяться до тех пор, пока решение не получено. Для принятия решения о необходимости повторения этапов в методике также следует предусмотреть соответствующий подэтап.

Подводя итоги, можно рекомендовать при разработке методики системного анализа прежде всего определить тип решаемой задачи (проблемы). Затем, если проблема охватывает несколько областей – и выбор целей, и совершенствование оргструктуры, и организацию процесса принятия и реализации решений, выделить в ней эти задачи, а разработку методики для каждой из них начинать с выделения двух рассмотренных крупных этапов.

Предварительный выбор подходов и методов выполнения этапов может быть отражен в методике сразу, в формулировках подэтапов (как, например, в табл. 3), но часто желательно предусмотреть в методике несколько методов выполнения этапов и возможность выбора путей реализации методики ЛПР в конкретных условиях ее применения.

Некоторые подэтапы в методике могут выполняться параллельно, и тогда методику следует стремиться представлять в виде сетевой модели, т.е. в виде графических схем с последовательными и параллельными этапами.

Таблица 4

№ под-этапов методики	Разделение на подэтапы с учетом методов их реализации		при выборе для реализации этапа I метода «деревя целей»
	при выборе подходов в процессе реализации	при выборе для реализации этапа I метода «сценариев»	
1.1	Одделение (отграничение) системы от среды путем ее перечисления (определения элементов) или путем описания ее основных свойств	Подготовка (написание) сценария	Формулирование обобщенной (глобальной) цели (предварительная формулировка)
1.2	Выбор подхода к представлению (отображению) системы (проблемной ситуации)		Выбор подхода к формированию «деревя целей»
1.3	Формирование первоначального варианта (вариантов) модели принятия решения (варианта структуры целей, оргструктуры и т.п. в зависимости от выбранного подхода к решению задачи)	Формирование сетевой модели, определяющей варианты решения, содержащиеся в сценарии	Выбор признаков структуризации (при формировании структуры целей «сверху») Выбор принципов группирования функций (при использовании подхода «снизу») Объединение результатов, если использовались оба подхода
2.1	Выбор подхода к оценке модели принятия решения (варианта структуры целей, оргструктуры и т.п.)	<i>Второй этап</i> Выбор подхода к оценке сетевой модели (вариантов решения)	Выбор подхода к оценке «деревя целей»
2.2	Выбор критериев оценки (требований, ограничений, их размерностей)	Выбор критериев оценки сетевой модели	Формирование экспертных групп и выбор критериев оценки Выбор источников и видов косвенных количественных оценок
2.3	Проведение оценки (включая выбор подходов и методов оценивания)	Проведение оценки	Организация экспертных опросов
2.4	Обработка оценок	Обработка оценок	Получение косвенных количественных оценок
2.5	Анализ полученных результатов оценок и выбор наилучшего варианта решения (структуры целей, оргструктуры и т.п.)	Анализ полученных результатов оценок и выбор наилучшего пути реализации решения (или критического пути)	Обработка оценок Анализ результатов обработки оценок и корректировка «деревя целей» или выбор лучшего варианта (если их было несколько)

При таком представлении методики в ней легко отразить возможность возврата к предыдущим подэтапам и соответствующие подэтапы выбора дальнейшего пути.

Различные этапы и подэтапы методики системного анализа могут выполняться с использованием разных методов и подходов.

Методы могут выбираться как из числа формальных, так и из числа направленных на активизацию интуиции и опыта ЛПР. При выполнении *первого* из рассмотренных основных этапов методики, т.е. при формировании первоначального варианта (вариантов) модели принятия решения или структуры (сетевой типа «дерева»), наиболее часто используются *методы активизации интуиции и опыта специалистов* (см.) – МАИС: «сценарии», «мозговая атака», методы структуризации, морфологический подход.

При представлении систем с большой начальной неопределенностью особую роль играет декомпозиция в пространстве, в частности древовидные иерархические представления, при формировании которых могут применяться два основных подхода (см. *Подходы к анализу и проектированию систем*) – «сверху» (путем расчленения системы или ее обобщенной цели) и «снизу» (путем объединения первоначально перечисляемых элементов системы в группы различной общности на каждом шаге формирования иерархической структуры).

В ряде случаев наряду с МАИС могут использоваться и *методы формализованного представления систем* (см.). При разработке языков моделирования для первоначального отображения модели или вариантов принятия решения все более широкое распространение получают *представления теоретико-множественные* (см.), *логические, лингвистические*.

Для многих задач принятия решений первоначальные методики могут быть представлены в виде сетевых моделей и других видов графов. Может применяться и форма постановки задачи в виде модели *математического программирования* (см.), т.е. определения целевой функции и ограничений.

Иногда эта форма применяется и в тех случаях, когда целевая функция и ограничения не могут быть сразу представлены в виде аналитических зависимостей или получены противоречивые ограничения. На такой идее, в частности, базировались первые методики системного анализа С. Оптнера [6], Э. Квейда [5].

Можно предусмотреть использование нескольких методов формирования первоначального варианта модели принятия решения, нескольких *методик структуризации целей* .

Спектр подходов и методов, которые применяются для оценки и анализа вариантов модели, еще более широк. При этом практически ни одна методика не обходится без использования *экспертных оценок* (см.), различных приемов их получения и методов обработки – от традиционного усреднения полученных от экспертов оценок до методов организации сложных экспертиз и оптимизационных моделей, использующих экспертные оценки в качестве исходной основы.

При затруднении в проведении экспертных процедур могут применяться *косвенные количественные оценки* (см.), базирующиеся на использовании в качестве источника оценок различного рода деловых документов (включая директивные) и источников научно-технической информации, отражающих опыт компетентных специалистов.

Для организации сложных экспертиз, особенно при анализе факторов на первом этапе методики, могут применяться *метод решающих матриц и его модификации* (см.) и подход, основанный на использовании различного рода оценок *степени целесообразности* (см.), в том числе с использованием информационных оценок (см. *Информационный подход к анализу систем*).

При формировании и анализе вариантов структур разного рода может возникнуть необходимость их оценивания в отношении формы представления, от которой зависит *целостность* (см.) системы, характеризующая степень централизации управления.

Выбор методов формирования и оценки моделей в методике системного анализа зависит от степени неопределенности проблемной ситуации, для исследования или управления которой разрабатывается методика. Поэтому при ее разработке целесообразно вначале обосновать, каким классом систем может быть отображена проблемная ситуация, и уже на этой основе решать вопрос о выборе методов моделирования.

Например, можно воспользоваться рекомендациями о соответствии классов систем и *методов формализованного представления систем* (см.).

При этом если проблемную ситуацию удастся отобразить с помощью класса *хорошо организованных систем* (см.) и применить методы поиска экстремумов функций или методы *математического программирования* (см.), то процесс исследования проблемы (решения задачи)

будет описываться в терминах этих формализованных методов, и о методике системного анализа в этих случаях нет необходимости говорить, хотя целесообразно представлять алгоритм формирования и анализа таких моделей в графической форме, что будет способствовать итеративной корректировке моделей и интерпретации результатов моделирования. Аналогично, если удастся применить для моделирования задачи один из специальных методов и подходов, объединяющих средства МАИС и МФПС, например *имитационное динамическое моделирование* (см.), *ситуационное моделирование* (см.) и т.п., то обычно говорят о методике ИДМ, или о методике ситуационного моделирования и т.д., а не о методике системного анализа.

Методы должны быть охарактеризованы в приложениях к методике, и в ней предусмотрены подэтапы выбора методов с учетом конкретных условий и предпочтений ЛПР.

На практике иногда трудно разработать и полностью реализовать методику, в которой все этапы и подэтапы были бы проработаны равноценно, и поэтому после анализа матрицы типа приведенной в табл. 1 для сокращения затрат времени и труда в методике могут быть выбраны и более подробно регламентированы те этапы и подэтапы, которые в конкретных условиях требуют к себе большего внимания.

Пример структуры методики для проектирования (корректировки) организационной структуры системы управления предприятием с использованием *системно-целевого подхода* (см.) приведен на рис. 4. Этапы 3 и 4 на этом рисунке выполняются в соответствии с *методикой структуризации целей и функций* (см.), которая может быть оформлена отдельно.

С другими примерами методик можно ознакомиться в [1–3, 7, 8].

Таким образом, методика системного анализа разрабатывается для того, чтобы организовать процесс принятия решений в сложных проблемных ситуациях. Она должна ориентировать ЛПР на необходимость обоснования полноты формирования и исследования модели принятия решения, адекватно отображающей рассматриваемый объект или процесс. В методике следует предусмотреть возможность выбора методов моделирования, охарактеризовав их.

При оформлении методики в качестве документа в нем отражается последовательность этапов, определяемая структурой методики, кратко характеризуются сущность этапа, методы и сроки его выполнения, исполнители и ЛПР, а при необходимос-

ти изменить последовательность выполнения этапов (в соответствии с включаемыми в структуру методики этапами выбора дальнейшего пути) в конце характеристики этапа (подэтапа) оговариваются условия возврата к предшествующим этапам или переход к выбранному последующему.



Рис. 4

Для более полной реализации методики разрабатываются средства автоматизации в виде специализированных диалоговых процедур, или прикладных программ, реализующих разработанные с помощью методики алгоритмы.

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е, 2003. – С. 146–154, 289–344. 2. Волкова В. Н. Проектирование и раз-

вите систем управления предприятиями и организациями / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1994. 3. Волкова В.Н. Применение системного анализа при управлении созданием и развитием предприятий и организаций: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.В. Кукушкин, С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 4. Голубков Е.П. Использование системного анализа в отраслевом планировании / Е.П. Голубков. – М.: Экономика, 1977. 5. Квейд Э. Анализ сложных систем / Э. Квейд. – М.: Сов. радио, 1969. 6. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер. – М.: Сов. радио, 1969. 7. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валueva, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 127–135. 8. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 57–60. 9. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. 10. Янг С. Системное управление организацией / С. Янг. – М.: Сов. радио, 1972. В.Н. Волкова

**МЕТОДИКА СТРУКТУРИЗАЦИИ ЦЕЛЕЙ И ФУНКЦИЙ** – последовательность этапов и средств их реализации, облегчающих формирование, оценку и анализ целей и функций систем управления.

Разработка методик структуризации целей – одна из принципиальных особенностей системного анализа, отличающая его от других направлений системных исследований. При разработке методик необходимо иметь представление о понятии *цели* (см.), неоднозначности его использования, о *закономерностях целеобразования* (см.), играющих важную роль при формировании и анализе структур целей.

**Первые методики структуризации целей.** Первой методикой формирования и анализа «*дерева целей*» (см.) была методика ПАТТЕРН (см.). Она сыграла огромную роль в развитии системного анализа. Однако в ПАТТЕРН не отрабатывалась логика формирования структуры целей, что отмечали сами ее авторы [9].

Понимая этот недостаток, отечественные ученые с самого начала применения системного анализа основное внимание уделяли разработке принципов и приемов формирования первоначального варианта структуры целей («дерева целей»), составляющие которого подлежат затем оценке и анализу.

Первыми работами, в которых предложены не только принципы формирования «дерева целей», но и признаки структуризации, были работы Ю.И. Черняка (1972 г. и позднее) [5, 11–13 и др.].

В частности, им предложены концепция о соответствии двух «шкал» развития сложных систем (рис. 1) – *пространственной* и

временной (пример использования этого принципа при формировании структуры целей и функций Отраслевой автоматизированной системы управления морским транспортом – ОАСУ «Морфлот» приведен, например, в [11]); принцип выделения составляющих на верхнем уровне структуры «дерева» для решения новых, неисследованных проблем («что нужно УЗНАТЬ», «что нужно СОЗДАТЬ», «что нужно ОРГАНИЗОВАТЬ» – рис. 2); принцип «пирамидки» (рис. 3), помогающий понять, что выделяемые ветви «дерева целей» характеризуют *объем* «области цели» (опыт показал, что раскрыть «область цели» помогает последовательное перемещение по граням «пирамидки» с возвратом на новом витке к уже структурированным ветвям с учетом нового видения проблемы) и ряд других приемов и признаков (см. в [11–13 и др.]), нашедших широкое применение в практике формирования структур целей при разработке отраслевых АСУ.



Рис. 1



Рис. 2

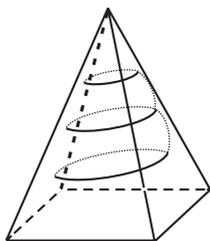


Рис. 3

Позднее одной из первых методик, ориентированных специально на структуризацию функций систем организационного управления, методика С.А. Валуева [2, 3]. В ее основу положены принципы (рис. 4) анализа характеристик организационной системы, определение функций, раскрывающих содержание процесса управ-



Рис. 4

ления, и впервые предложено учитывать этапы цикла принятия решения (от его подготовки до реализации, оценки и контроля).

В числе первых разработок следует также упомянуть методики Е.П. Голубкова [6–8], которые ориентированы не только на структуризацию целей и функций, но и на анализ системы в целом.

Много внимания совершенствованию методов обработки результатов экспертной оценки составляющих структур целей (т.е. второму из этапов методики системного анализа) уделялось в работах по прогнозированию (например, [9, 10]).

Однако основные новые результаты при разработке первых методик системного анализа в нашей стране были получены все же применительно к первому этапу системного анализа, т.е. к собственно формированию структуры целей и функций. При этом уделялось внимание не только определению признаков структуризации для разных уровней системы управления, но и источников информации, необходимых для формирования структуры.

На рис. 5 приведены признаки структуризации, рекомендуемые для разных уровней системы управления в различных работах раннего периода развития системного анализа, и указаны источники информации, которые могут использоваться при формировании разных уровней «дерева» целей.

Полученные в ранних методиках принципы и признаки структуризации предложены их авторами на основе накопленного опыта формирования структур целей.

Это находится в соответствии с основными принципами системного анализа – использование интуиции и опыта специалистов, частичная формализация этого опыта в виде принципов и приемов и использование их, а также признаков структуризации для активизации, в свою очередь, интуиции и опыта других специалистов, которые формируют структуру целей и функций в новых условиях, для решения новых проблем.

Однако такой подход не гарантирует полноту анализа. Поэтому в дальнейшем в поисках принципов, обеспечивающих полноту структуры целей, исследователи обратились к философскому обоснованию концепции системы, к разработке на этой основе моделей системы, позволяющих отразить эту концепцию и гарантировать полноту структуризации по крайней мере в рамках принятой концепции и моделей, ее отображающих.

Примерами методик, которые нашли наибольшее применение в практике управления и используются в вариантной обоб-

Уровень “дерева” целей и функций	Признаки структуризации	Источники научно-технической информации
Верхний (политика)	Концепция системы: <ul style="list-style-type: none"> <li>● концепция Ю.И.Черняка</li> <li>● концепция А.И.Уёмова</li> <li>● концепция, учитывающая взаимодействие системы со средой В.Н.Сагатовского, и др.</li> </ul> Сферы деятельности Структура деятельности Уровни иерархии существующей системы управления	Законы и законодательные акты. Директивные материалы центральных и отраслевых органов управления. Руководящие документы центральных и отраслевых органов управления. Информационные материалы по обмену опытом. Материалы социологических опросов и т. д.
Средний (наука)	Виды конечного продукта. Предметы деятельности. Виды деятельности. “Жизненный цикл”. Цикл управления и т. д.	Научно-технические отчеты (отчеты по НИОКР). Материалы конференций, совещаний и др. Монографии, статьи и т.п.
Нижний (техника и технология)	Конструкция. Технология. Основные элементы системы – предмет, средства и т.д. “Часть – целое”, “вид – род”, “причина – следствие”. Структура предложения естественного языка: кто, что, где, с помощью чего, когда и т. д.	Статьи и другие публикации. Патенты и авторские свидетельства. Отчеты об экспериментах. Растрсы. Кадастры. Классификаторы. Фактографические ИПС о новой технике и технологии

Рис. 5

щенной методике формирования структуры целей и функций систем организационного управления предприятиями, являются: *методика структуризации целей и функций, основанная на двойственном определении системы (см.); методика структуризации целей и функций, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание (см.); методика структуризации целей и функций, основанная на концепции деятельности (см.); методика структуризации целей системы, стремящейся к идеалу (см.).*

*Сравнительный анализ методик структуризации целей.* При сопоставлении и сравнительном анализе методик структуризации прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что только в методике ПАТТЕРН (см.) и в *методике структуризации целей и функций, основанной на концепции деятельности* (см.), в явном виде предусмотрен этап оценки структуры целей с использованием сформулированных критериев. В авторском же изложении других методик о втором этапе даже не упоминается. Правомерно ли существование методик без этого этапа?

Ответить на этот вопрос помогает информационный анализ структур [1], который показывает, что структурированность ветвей является отражением предпочтений ее авторов, т.е. что оценка структур фактически осуществляется не только при выполнении второго этапа, но и в процессе формирования структуры на первом этапе.

При формировании каждого уровня структуры оценка осуществляется на основе выбора «включить – не включить» составляющую в структуру (т.е. по двоичной системе). Оценки потенциала  $H_i$ , получаемые для узлов вышестоящих уровней на основе числа ветвей, подчиненных  $i$ -му узлу, представляют собой основу для более точного сравнения составляющих этих уровней, и чем больше уровней структуризации предусмотрено в структуре, тем более дифференцированными являются оценки вышестоящих уровней этой структуры.

Иными словами, на каждом шаге структуризации осуществляются практически оба этапа, но оценка проводится не в форме специально организованной экспертной процедуры опроса (с использованием методов ранжирования, нормирования и т.п.), а путем исключения из дальнейшего рассмотрения малозначимых составляющих.

При этом лицам, принимающим решение (ЛПР), предлагается учитывать назначение и особенности конкретного предприятия, т.е. их оценки даже по двоичной системе содержат качественную составляющую, а уточненные оценки  $H$  верхних уровней становятся более дифференцированными и в ряде практических ситуаций оказываются вполне достаточными для принятия управленческих решений по распределению финансов, кадров и других аналогичных средств для реализации подцелей и функций.

Изложенное означает, что второй этап методики в ряде случаев можно и не выделять особо, если ориентировать ЛПР на более тщательный отбор составляющих на каждом шаге струк-

туризации. Однако в общем случае для обеспечения полноты анализа структуры целей и функций все же целесообразно предусматривать этап оценки в явном виде, тем более что может оказаться необходимым сопоставлять несколько вариантов структур, сформированных ЛПР, которые даже при использовании одной и той же методики структуризации могут отличаться в силу свойств *закономерности иерархичности* (см.).

Сравнивая методики с позиции положенных в их основу концепций, можно дать некоторые рекомендации по их выбору в конкретных условиях. Так, методика структуризации целей и функций, основанная на двойственном определении системы А.И. Уёмова, ориентирована на описание статики системы, на фиксацию уже достигнутых представлений о ней у ЛПР. Она, разумеется, допускает включение новых объектов управления, изменение функций в цикле управления (что и происходит по мере развития методики); однако в ней нет средств, которые помогали бы выявить новые объекты, новые функции, виды деятельности, такие, как внедрение новой техники, технологии, нововведений в управленческой деятельности. Методику, основанную на концепции системы, учитывающей ее взаимодействие со средой, полезно применять на этапах развития системы, пересмотра производственной и организационной структур, при проектировании новых предприятий. Она помогает выявить новые виды деятельности, объекты управления и т.д.

Необходимость в использовании *методики структуризации целей и функций, основанной на концепции деятельности* (см.), возникает в тех случаях, когда исследуемый или создаваемый объект недостаточно изучен, т.е. в случаях постановки новых проблем, структуризации целей развития новых видов деятельности.

*Методика структуризации целей системы, стремящейся к идеалу* (см.), Р. Акоффа и Ф. Эмери помогает обеспечить полноту выявления подцелей и функций для системы управления районом, городом, для управления непромышленной деятельностью предприятия (культурно-бытовыми, детскими учреждениями и другими учреждениями социальной сферы).

Таким образом, при выборе и разработке методики структуризации целей и функций системы управления нужно учитывать состояние системы (находится ли она в стабильном состоянии либо требуется существенный пересмотр ее целей и функций в связи с реконструкцией производства, перестройкой системы управления, изменением принципов организации экономики и т.п.,

либо система еще мало исследована), характер анализируемого вида деятельности, степень познания объекта (т.е. имеющиеся представления о нем у лиц, формирующих структуру целей и функций (ЦФ), отведенный период времени на проектирование или преобразование системы управления (влияющий на возможность выполнения методики в полном объеме, включая оба этапа) и т.п.

Поэтому целесообразно иметь обобщенную методику формирования и анализа структур целей и функций, которая включала бы несколько методик структуризации, несколько методов оценки структур (при выполнении 2-го этапа) и предусматривала возможность выбора методики получения первоначального варианта (вариантов) структуры и методов его оценки, наиболее подходящих для соответствующего периода развития предприятия и его системы организационного управления, с учетом характера, объемов и других конкретных особенностей создаваемого предприятия (организации). Такая обобщенная методика может стать основой разработки конкретных методик для проектируемых или преобразуемых предприятий (организаций).

**Обобщенная методика анализа целей и функций систем управления.** Общие положения. Сравнительный анализ подходов и методик структуризации целей позволил создать обобщенную, комплексную методику анализа параметров сложных систем, их целей, направлений деятельности, функций, задач и т.д.

В рассматриваемой обобщенной методике предусматриваются возможность использования различных методик структуризации при формировании первоначального варианта структуры целей (основных направлений деятельности, развития) системы, нескольких способов оценки вариантов будущих структур и выбор в конкретных условиях методики структуризации и методов оценки с учетом особенностей предприятий или организаций, периода их развития и т.п.

Обобщенная методика может стать общим подходом при разработке методик для анализа целей конкретных предприятий (организаций, регионов), может войти в состав нормативно-методического обеспечения систем управления как средство разработки основных направлений развития предприятий (организаций) и анализа целей и функций при корректировке организационной структуры.

Структура обобщенной методики приведена на рис. 6. Кратко охарактеризуем ее этапы.

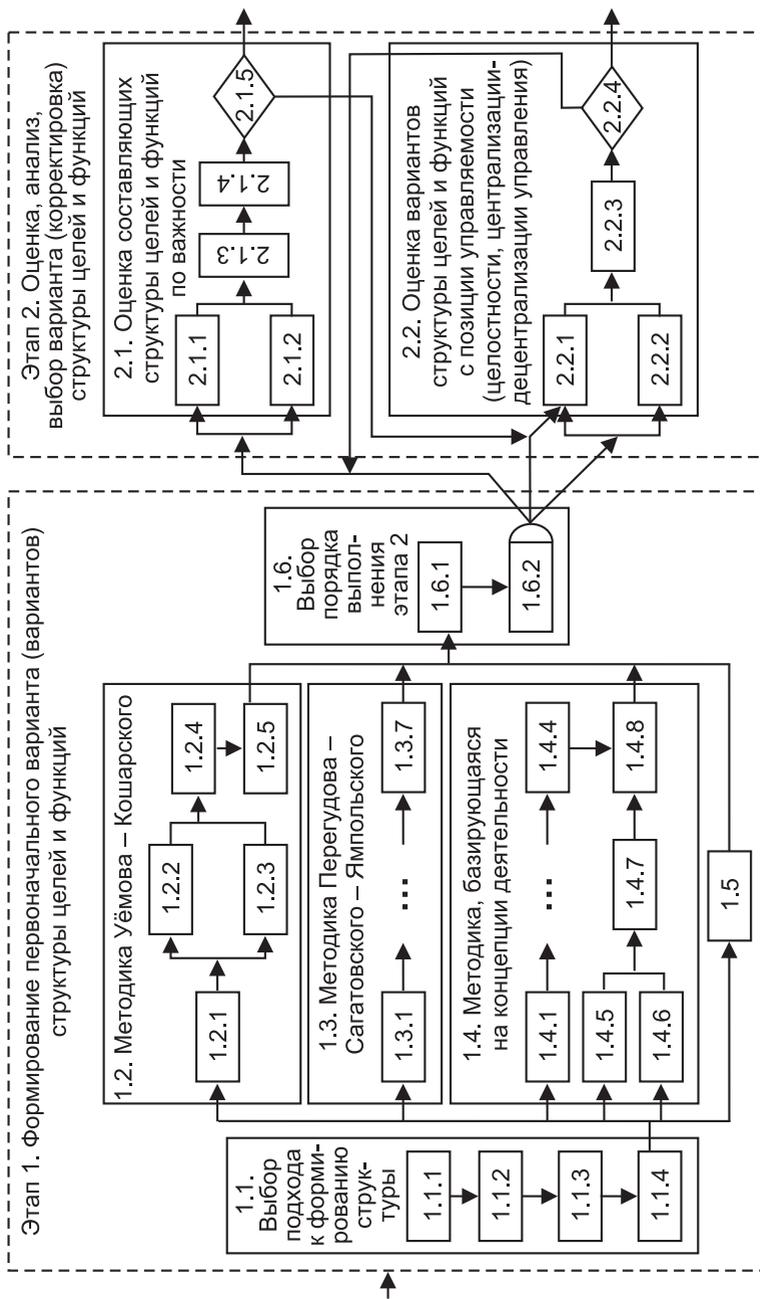


Рис. 6

Этап 1. Формирование первоначального варианта (вариантов) структуры целей (основных направлений развития) и функций системы управления предприятием (объединением, организацией).

1.1. Определение принципов и выбор подхода к формированию структуры целей и функций (ЦФ) системы управления.

Для обоснования выбора подхода к формированию структуры целей и функций вначале принимается решение о необходимой степени обновления производства и системы управления и, соответственно, о необходимой полноте анализа ЦФ (1.1.1); затем готовится краткая справка о состоянии и перспективах развития производственных мощностей предприятия, а также о перспективах развития смежных предприятий, с которыми взаимодействует данное в процессе производства основной продукции (1.1.2); разрабатывается концепция формирования структуры ЦФ (1.1.3), учитывающая результаты, полученные при выполнении подэтапов 1.1.1 и 1.1.2, и на этой основе осуществляется выбор подхода к формированию структуры ЦФ (1.1.4).

Подэтапы 1.1.1 и 1.1.2 могут выполняться параллельно и взаимно влиять один на другой. При проектировании нового предприятия подэтап 1.1.1 формулируется иначе: разрабатывается концепция организации производства и системы управления и принимается решение о необходимой полноте анализа ЦФ.

При разработке концепции формирования структуры ЦФ (1.1.3) определяются принципы формирования структуры, в качестве которых могут быть приняты: полнота охвата системы, равномерность структуризации, учет гипотезы Миллера, единство признака структуризации в пределах уровня, недопустимость «вырожденных» ветвей и другие требования к структурам ЦФ (см. *Иерархическая система*).

При выборе подхода к формированию структуры ЦФ (1.1.4) следует учитывать степень обновления системы управления, характер проектируемого или реструктурируемого предприятия, резерв времени на формирование структуры ЦФ, квалификацию лиц, формирующих структуру, и другие особенности конкретных ситуаций принятия решений, которые должны быть изложены в концепции системы. Принципы сравнительного анализа и выбора методики структуризации целей (изложенные ранее) приводятся в приложении к методике.

1.2. Применение методики структуризации целей и функций, базирующейся на двойственном определении системы.

Формируется матрица «цикл управления – объект управления» (1.2.1); на основе оценки элементов матрицы строятся двойственные варианты структуры ЦФ с обратной последовательно-

стью признаков структуризации (1.2.2 и 1.2.3); проводится сравнительный анализ этих вариантов (1.2.4) с использованием либо требований, сформулированных при выполнении подэтапа 1.1.3, либо с применением информационного подхода (см. *Информационный подход к анализу систем*) к сравнительному анализу структур (см. *Структура*); осуществляется дальнейшая структуризация выбранного варианта (1.2.5).

1.3. Применение *методики структуризации целей и функций, базирующейся на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание* (см.).

Производится формирование структур ЦФ с использованием признаков структуризации *«пространство инициирования целей»*, *«виды конечного продукта»*, *«жизненный цикл»*, *«состав системы»* и др.

Подэтапы 1.3.1...1.3.7 соответствуют семи признакам этой методики и выполняются последовательно.

1.4. Применение *методики структуризации целей и функций, базирующейся на концепции деятельности* (см.).

Подэтапы 1.4.1...1.4.4 реализуют подход к формированию структуры «сверху» с использованием признаков *«сферы деятельности»*, *«структура деятельности»*, *«вид деятельности»*.

Подэтапы 1.4.5...1.4.7 обеспечивают формирование предложений о функциях системы управления, поступающих от работников различных уровней системы управления (1.4.5) и получаемых на основе анализа научно-технической информации (1.4.6), т.е. реализуют подход «снизу». Подэтап 1.4.8 объединяет результаты, полученные при параллельном применении подходов «сверху» и «снизу», путем как бы наложения предварительно сформированной структуры на перечень полученных предложений.

1.5. Формирование структуры ЦФ на основе представлений ЛПР и обследования существующей системы управления.

При выполнении этого подэтапа могут применяться подходы «сверху» и «снизу» (см. *Подходы к анализу и проектированию систем*). ЛПР могут предложить свои варианты структуры ЦФ, применить *методику структуризации целей и функций систем, стремящихся к идеалу*, Р. Акоффа и Ф. Эмери (см.), сформированные без осознанного применения методики структуризации, могут быть использованы варианты структур ЦФ других предприятий. Перечни функций можно получить на основе различных

подходов к обследованию предприятий (организаций); с использованием архивного и опросного подходов, т.е. пассивного обследования либо с применением активного подхода; путем предоставления опрашиваемым экспертам вариантов структур или перечней функций. Все подэтапы могут выполняться параллельно и влиять один на другой.

При выполнении подэтапа 1.5 может использоваться автоматизированная диалоговая процедура обследования, которая получается путем адаптации автоматизированной диалоговой процедуры анализа целей и функций (см. *Автоматизация формирования и анализа целей и функций систем*).

1.6. Обобщение результатов выполнения подэтапов 1.2...1.5 и принятие решения о дальнейшем ходе работ.

При проектировании предприятий и при совершенствовании систем управления крупными предприятиями (объединениями, организациями) для гарантии полноты анализа ЦФ целесообразно использовать параллельно несколько методик структуризации, которые затем следует представить ЛПР для сопоставления и, возможно, исключения некоторых полученных структур из дальнейшего рассмотрения (1.6.1). Если после выполнения предшествующих подэтапов получена одна структура, то подэтап 1.6.1 может не выполняться. Далее (1.6.2) принимается решение о целесообразности и последовательности выполнения этапа 2. Если вариантов структуры ЦФ несколько, то вначале следует перейти к выполнению подэтапа 2.2, т.е. к сравнительному анализу вариантов структуры ЦФ, а после выбора варианта – к подэтапу 2.1. Если же вариант один, то следует перейти к выполнению подэтапа 2.1. Может быть принято решение о нецелесообразности выполнения этапа 2.

Примечание к этапу 1.

При выполнении подэтапов 1.2...1.5 следует учитывать *закономерности целеобразования* (см.), с которыми должны быть ознакомлены ЛПР. В соответствии с этими закономерностями, в частности, в качестве ЛПР должны выступать руководители разных уровней системы управления предприятием или будущие руководители создаваемого предприятия; ЛПР должны осознать влияние на формирование подцелей внешних и внутренних факторов, относительность формулировок, зависимость их от времени, возможность использования различных форм представления структур целей, учитывать требования к структурам. При формировании ветвей структуры ЦФ следует выделить сферы компетентности для ЛПР соответствующей квалификации.

Для обеспечения полноты анализа ЦФ в приемлемые сроки используется автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций (см. *Автоматизация формирования и анализа структур целей и функций*).

**Этап 2.** Оценка первоначального варианта (вариантов) структуры целей и функций и его корректировка (или выбор наилучшего).

2.1. Оценка структуры целей и функций для выявления наиболее значимых составляющих.

Для оценки составляющих структуры ЦФ предлагается параллельно использовать *экспертные оценки* (см.) и *косвенные количественные оценки* (см.), получаемые соответственно в 2.1.1 и 2.1.2 и обрабатываемые совместно (2.1.3).

При экспертной оценке в качестве критериев используется система критериев, аналогичная принятой в методике ПАТТЕРН (см.). В ней предлагаются следующие группы критериев: *относительной важности (значимости), взаимосвязанности, экономические оценки*; при выборе косвенных количественных оценок учитывается «пространство инициирования целей и факторов», т.е. учитываются требования и потребности надсистемы, отраженные в законодательных актах и директивных документах, взаимоотношения с аналогичными предприятиями актуальной среды, интересы подведомственных подразделений, инициативы структурных единиц собственно системы управления.

При обработке результатов оценки используют не только традиционные методы усреднения, но и выявляют противоречивые мнения с последующим содержательным анализом противоречивых оценок.

На основе получения результатов оценки исходная структура корректируется (2.1.4): составляющие, получившие наименьшие оценки значимости по сравнению с другими и не получившие при этом высоких оценок связности с высокозначимыми, либо исключаются из структуры ЦФ, либо опускаются на ниже лежащие уровни иерархии, и, напротив, составляющие, получившие высокие оценки значимости, могут быть перенесены на более высокие уровни иерархической структуры.

При корректировке могут возникнуть вырожденные ветви (т.е. ситуации, когда узлу подчинена только одна ветвь), разные варианты новой структуры ЦФ. В последнем случае следует перейти к подэтапу 2.2. Решение о целесообразности перехода к анали-

зу структуры в отношении централизации-децентрализации управления (2.2.2) может быть принято (2.1.5) и в случае одного варианта структуры для сопоставления ее с аналогичными структурами целей (основных направлений развития) других предприятий (организаций) или со структурой направлений деятельности предшествующего периода развития предприятия (организации).

2.2. Оценка структуры (вариантов структуры) с точки зрения ее формы и удобства для дальнейшего использования.

Сопоставление вариантов структуры можно производить на основе требований к структурам ЦФ, сформулированных при выполнении подэтапа 1.1.3 (2.2.1), и с использованием для сравнительного анализа структур информационного подхода (2.2.2). Во втором случае оценивается степень целостности  $\alpha$ , позволяющая судить об управляемости предприятия с помощью разрабатываемой структуры целей, о степени централизации-децентрализации управления.

Могут использоваться оба подхода к оценке вариантов структур, а затем результаты могут обобщаться (2.2.3). Подэтап принятия решений о дальнейшем ходе работ (2.2.4) необходим в случае, когда в 1.6.2 было принято решение вначале выполнять подэтап 2.2. После выполнения подэтапа 2.1 возможна повторная оценка составляющих структуры для корректировки соотношения централизации-децентрализации управления.

#### Примечание к этапу 2.

Для сбора и обработки экспертных и косвенных количественных оценок и для сравнительного информационного анализа структур следует создать группу соответствующих специалистов. В необходимых случаях могут быть использованы *методы организации сложных экспертиз, базирующиеся на информационном подходе* (см.). Для обработки оценок разрабатываются и применяются автоматизированные средства.

Принципиальные особенности имеет *методика структуризации целей и функций в многоуровневых системах* (см.).

Методика оформляется в виде специального нормативно-методического документа, как правило, в виде стандарта предприятия.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е, 2003. – С. 243–288. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.:

Политехника, 1991. – С. 136–168. 3. В а л у е в С. А. Организационное обеспечение систем управления научными исследованиями ВУЗа / С.А. Валуев. – М.: Высшая школа, 1983. 4. В о л к о в а В. Н. Структуризация и анализ целей в системах организационного управления: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1995. 5. В о л к о в а В. Н. О подсистеме целеобразования в АСУ / В.Н. Волкова, Ю.И. Черняк // Материалы VI Всесоюзн. совещ. по проблемам управления. – М.: ИПУ, 1974. – С. 46–48. 6. Г о л у б к о в Е. П. Системный анализ в управлении народным хозяйством / Е.П. Голубков. – М.: МИНХ, 1975. 7. Г о л у б к о в Е. П. Использование системного анализа в отраслевом планировании / Е.П. Голубков. – М.: Экономика, 1977. 8. Г о л у б к о в Е. П. Использование системного анализа в принятии плановых решений / Е.П. Голубков. – М.: Экономика, 1982. 9. Л о п у х и н М. М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971. 10. Т е о р и я прогнозирования и принятия решений / Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высшая школа, 1977. 11. Ч е р н я к Ю. И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. 12. Ч е р н я к Ю. И. Анализ и синтез систем в экономике / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1970. 13. Ч е р н я к Ю. И. Информация и управление / Ю.И. Черняк. – М.: Наука, 1974. В.Н. Волкова

## **МЕТОДИКА СТРУКТУРИЗАЦИИ ЦЕЛЕЙ И ФУНКЦИЙ В МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМАХ**

– одна из методик системного анализа, разрабатываемая в тех случаях, когда система настолько сложна, что ее цели и функции (ЦФ) невозможно представить в виде единой древовидной иерархической структуры.

При управлении в реальных условиях крупными предприятиями, вузами и другими организациями невозможно построить иерархическую структуру в виде единого «дерева», связывающего централизованный аппарат управления с производствами и цехами (или для вуза – ректорат с факультетами и кафедрами).

Этот факт вначале вызвал у практических работников недоверие к методу «дерева целей» как к теории, не приемлемой для реальных условий управления. Но исследования *закономерностей целеобразования* (см.) и формирования структур ЦФ позволили объяснить его и дать практические рекомендации по формированию древовидных иерархических структур ЦФ. Из этих рекомендаций, в частности, следует, что одним «деревом целей» следует считать ту часть структуры, которая может быть сформирована в одном языке, а при изменении терминологии нужно формировать другое «дерево», в новых терминах.

Иными словами, в сложных многоаспектных многоуровневых системах необходимо с т р а т и ф и ц и р о в а н н о е представление их целей и функций.

*Страты* (см.) можно выделять по принципу использования различных выразительных средств (различных «языков» представления целей) в процессе прохождения объектом пути от замысла до его реализации: вербальное описание концепции создаваемого предприятия или нового вида продукции, инженерно-конструкторское представление процесса его создания (для продукции, например, обработка, сборка и т.п.), описание технологии создания продукции и, наконец, собственно организация технологического процесса (литье, обработка, сборка, испытания и т.д.).

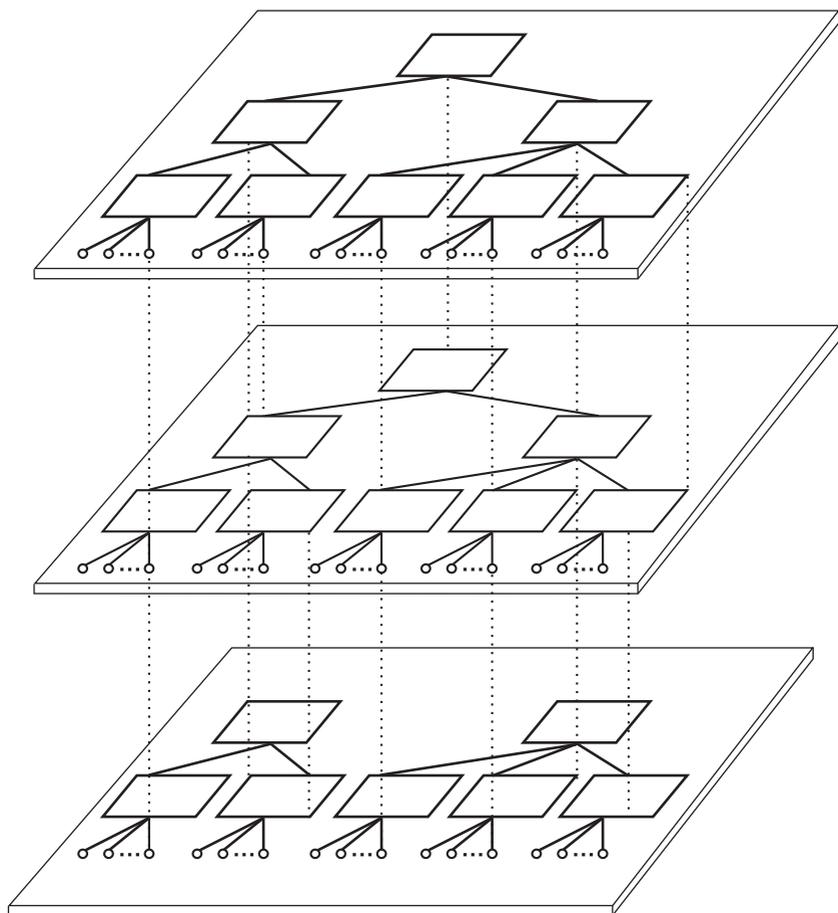
Этот способ стратификации используется на предприятии при разработке соответствующих нормативно-технических и нормативно-методических документов, регламентирующих различные стадии проектирования и производства продукции, и реализуется в форме различных классификаторов функций конструкторских разработок, технологических процессов производства, выполняемых работниками соответствующей квалификации.

При разработке нормативных документов, организующих перспективы развития предприятия, объединения, организации, таких, как прогнозы, основные направления, комплексные программы развития предприятий (организаций), «деревья» одно от другого удобнее отделять в соответствии с уровнями организационной иерархии систем управления, т.е. выделять страты по принципу «аппарат централизованного управления – производство – цех» или «ректорат – факультет – кафедра», разрабатывая основные направления и прогнозы развития для этих уровней.

Такое стратифицированное представление ЦФ позволяет организовать взаимодействие между структурами целей разных уровней оргструктуры.

Исследования проблемы стратифицированных представлений показали, что в принципе структуры целей (основных направлений развития) и функций на каждой страте могут быть сформированы по различным логическим принципам (т.е. с помощью различных методик структуризации), даже с использованием различных видов структур (на верхних уровнях – древовидные иерархии, на нижних – последовательности функций в виде сетевой модели), однако при анализе вариантов структуры ЦФ предприятия (организации) целесообразно вначале на всех стратах построить иерархические структуры с использованием одной из методик структуризации, то позволяет принимать решения о перераспределении функций между уровнями системы организационного управления.

Такое представление структур основных направлений и функций иллюстрируется рисунком, где показано, что глобальная цель может и не переформулироваться на нижележащей страте и, кроме того, на этой страте различные ветви могут формироваться разными подразделениями и не быть связанными на своем уров-



не (по горизонтали), хотя в принципе могут существовать и горизонтальные взаимосвязи.

При проведении экспертного опроса по перераспределению функций между стратами экспертную группу следует формировать с учетом пространства инициирования целей, т.е. *закономерности коммуникативности* (см.).

Организовать опрос в приемлемые сроки позволяет *автоматизация формирования и анализа целей и функций систем* (см.). Для этого в качестве последнего списка в автоматизированную диалоговую процедуру анализа ЦФ следует ввести перечень уров-

ней организационного управления, а затем признак «уровни управления» при выводе результатов на дисплей вынести на верхний уровень выводимых иерархических структур, что предусмотрено в таких процедурах.

После распределения функций между уровнями организационного управления на каждом из них структуры ЦФ могут быть изменены, и в общем случае взаимодействие между структурами целей разных уровней может быть отображено, как на рисунке.

Рассмотренный подход к представлению структур целей в многоуровневой системе управления особенно актуален в условиях перераспределения функций для предоставления большей самостоятельности нижележащим звеньям системы управления. При этом, принимая решения о децентрализации управления, необходимо обеспечить контроль над тем, чтобы, передавая ряд функций нижележащим уровням управления, не утратить функции, которые могут быть реализованы только централизованными органами управления и при передаче на нижележащие уровни в принципе не могут быть выполнены.

Такой «механизм» перераспределения функций с использованием методик структуризации и автоматизированной диалоговой процедуры анализа целей и функций (АДПАЦФ) и с оценкой степени (баланса) централизации-децентрализации управления должен стать обязательной составной частью системы управления предприятиями (организациями), функционирующими в постоянно изменяющихся условиях многоукладной экономики.

Переход к рыночной экономике заставил обратиться еще к одному способу представления иерархических систем – в виде «эшелонов» М. Месаровича [3] (см. «Эшелон»).

При создании в рамках производственных объединений саморегулирующихся участков, цехов, производств, предприятий малых форм, при управлении предприятиями и организациями, входящими в объединение, акционерное общество и т.п., организационно-правовые формы существования промышленных и непромышленных коллективов в условиях рыночной экономики, эшелонированное представление систем управления, а соответственно и их структур ЦФ позволяют организовать более гибкое взаимодействие между объединяемыми компонентами системы.

Такое представление допускает различные виды взаимодействия между уровнями не только в форме прямых управляющих воздействий вышестоящего уровня на подчиненные ему, но и

преимущественно взаимоотношения между структурными единицами различных организационно-правовых форм (по горизонтали и вертикали) в виде координирующих связей с разной степенью вмешательства в деятельность этих структурных единиц.

Подобные принципы взаимодействия реализуются, например, в структурах типа холдинга, в которых разным фирмам, входящим в него, предоставляется различная степень самостоятельности, но осуществляются и контролируются (в частности, с помощью соответствующего распределения пакета акций) взаимосвязи, обеспечивающие сохранение целостности холдинговой системы.

В случае использования *стратифицированных* и *эшелонированных* представлений в первый этап обобщенной методики структуризации и анализа ЦФ нужно включить подэтап распределения функций по стратам или структурным подразделениям эшелонов и при оценке и анализе структур использовать не традиционные *экспертные оценки* (см.), а *методы организации сложных экспертиз* (см.), *косвенные количественные оценки* (см.) и информационную оценку степени целостности (см. *Информационный подход к анализу систем*), которая применительно к структурам целей интерпретируется как критерий управляемости системой при предоставлении свободы субъектам, реализующим подцели и функции, а для эшелонированных структур трактуется как степень координируемости предприятий и организаций, входящих в холдинг.

При формировании стратифицированных и эшелонированных структур ЦФ целесообразно также использовать *закономерности целеобразования* (см.) и *методики структуризации целей* (см.).

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е, 2003. – С. 277–280. 2. Волкова В. Н. Структуризация и анализ целей в системах организационного управления: учеб. пособие / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1995. 3. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха. – М.: Мир, 1973. В.Н. Волкова

**МЕТОДИКА СТРУКТУРИЗАЦИИ ЦЕЛЕЙ И ФУНКЦИЙ, ОСНОВАННАЯ НА ДВОЙСТВЕННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ СИСТЕМЫ**, – *методика структуризации целей и функций* (см.), разработанная Б.Д. Кошарским на основе двойственного определения системы А.И. Уёмова. Эту методику кратко называют методикой Кошарского–Уёмова.

А.И. Уёмов определил систему через понятия «вещи», «свойства», «отношения» и предложил двойственное определение [5], в одном из которых свойства  $q_i$  характеризуют элементы  $a_i$ , а в другом – свойства  $q_j$  характеризуют связи (отношения)  $r_j$ :

$$\begin{aligned}
 S &\equiv [\{a_i\} \& \{r_j(q_j)\}], \\
 &\stackrel{\text{def}}{a_i \in A \ r_j \in R \ q_j \in Q_R} \\
 S &\equiv [\{a_i(q_i)\} \& \{r_j\}]. \\
 &\stackrel{\text{def}}{a_i \in A \ q_i \in Q_A \ r_j \in R}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

В работах Б.Д. Кошарского [3] показано, что этим определениям соответствуют два способа представления системы управления:

**процедурное** – как множество объектов  $A$ , на котором реализуются заранее определенные отношения  $R$  с фиксированными свойствами  $Q_R$ ; при этом если системообразующее отношение определено во времени, то это представление соответствует структуризации системы по *циклу управления* (ЦУ): планирование, организация, регулирование, учет и т.п. (набор функций цикла управления изменяется по мере развития экономики и зависит от конкретных условий);

**факторное** – как множество объектов  $A$ , обладающее заранее определенными свойствами  $Q_A$  с фиксированными между ними отношениями  $R$ ; при этом могут быть выделены такие составляющие *объекта управления* (ОУ), как основное производство, вспомогательное производство, основные и оборотные фонды, трудовые ресурсы, материально-техническое обеспечение и другие объекты управления на предприятии (набор их также определяется конкретными условиями).

Б.Д. Кошарский показал, что каждый из этих способов представления системы в отдельности дает неполное описание системы управления, а для выявления системных особенностей конкретного предприятия необходимо один способ описания дополнить другим, двойственным ему, т.е. установил, что только совместное использование процедурного и факторного представлений системы позволяет обеспечить конкретизацию и полноту анализа целей и задач организационного управления. Отметим, что это утверждение о полноте справедливо лишь в рамках принятой концепции системы.

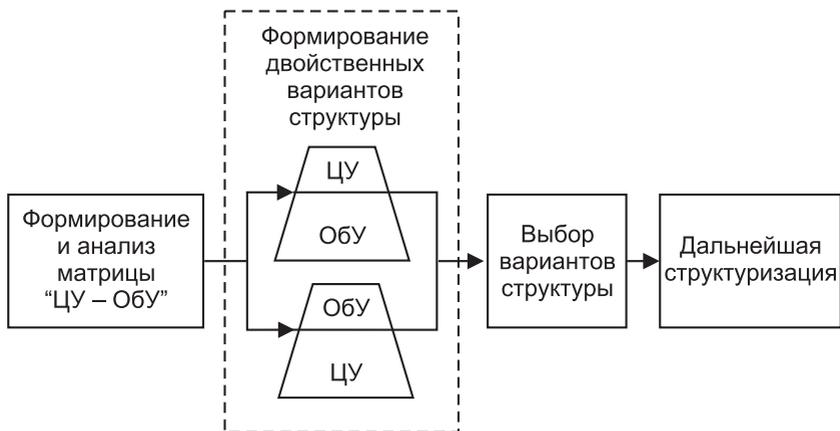


Рис. 1

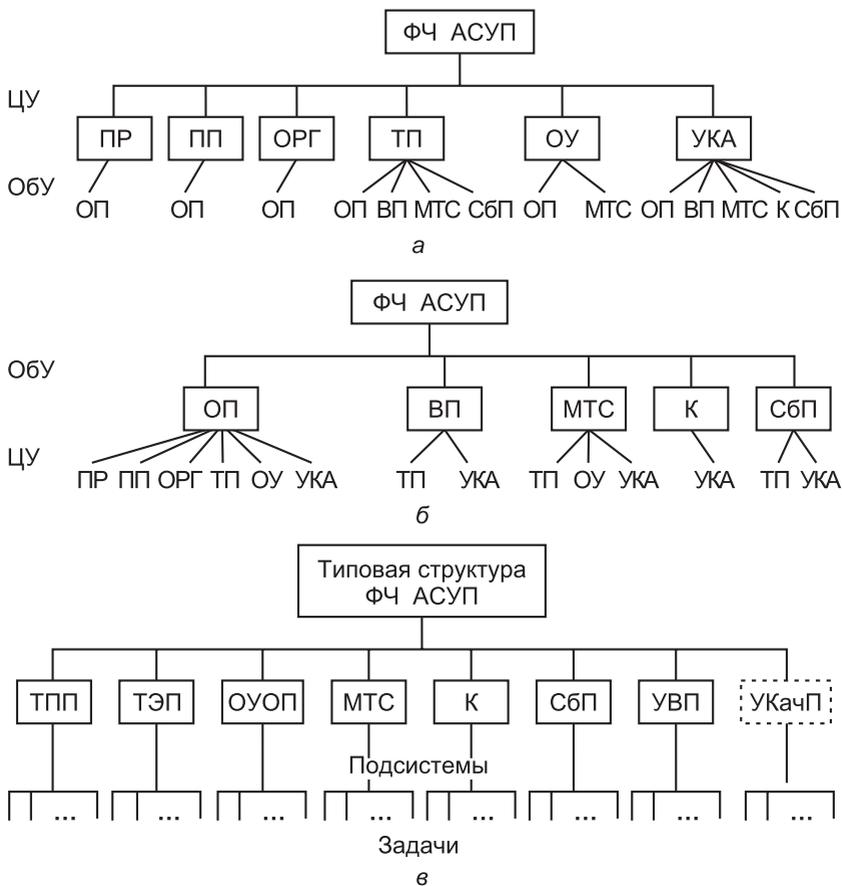
Такое требование на практике реализуется либо путем параллельного формирования двойственных вариантов структуры (рис. 1), либо с использованием взаимно обратной последовательности признаков структуризации, либо в ходе формирования и анализа матрицы «цикл управления (ЦУ) – объект управления (ОБУ)», после оценки которой формируются двойственные структуры и осуществляется выбор из них наилучшей.

Легко видеть, что для примера, приведенного в таблице, первая структура (рис. 2, а) имеет «вырожденные» ветви и не соответствует требованиям, предъявляемым к структурам целей [1, 2 и др.]. Вторая структура (рис. 2, б) в этом отношении лучше, но в ней одна ветвь (первая, связанная с управлением основным производством) «перегружена» по сравнению с остальными. Если разделить ее, выделив в самостоятельные подцели (подсистемы) техническую подготовку производства (ТПП), технико-экономическое планирование (ТЭП) и оперативное управление основным производством (ОУОП), то структура будет удовлетворять требованию равномерности. Эта структура и была положена в основу типовой структуры функциональной части автоматизированной системы управления предприятием (ФЧ АСУП). В дальнейшем была добавлена подсистема управления качеством продукции (УКачП).

Объект управления (ОбУ). Производственный признак	Цикл управления (ЦУ). Временной признак					
	Прогнозирование (ПР)	Перспективное планирование (ПП)	Организация (ОРГ)	Текущее планирование (ТП)	Оперативное управление (ОУ)	Учет. Контроль. Анализ (УКА)
Научно-исследовательская работа (НИР)	–	–	–	–	–	–
Производство основной продукции (ОП)	+	+	+	+	+	+
Вспомогательное обслуживающее производство (ВП)	–	–	–	+	–	+
Транспорт (Т)	–	–	–	–	–	–
Материально-техническое снабжение (МТС)	–	–	–	+	+	+
Трудовые ресурсы (кадры – К)	–	–	–	–	–	+
Сбыт продукции (СбП)	–	–	–	+	–	+
Финансы (Ф)	–	–	–	–	–	–

Методика Кошарского–Уёмова нашла широкое применение в различных отраслях при структуризации ЦФ предприятий в процессе разработки структуры функциональной части их автоматизированных систем управления. При этом в ряде случаев подход, положенный в ее основу, оказался столь естественным, что имена первых авторов были забыты, принцип двойственного представления не упоминался, а использовались сразу признаки «цикл управления» и «объект управления».

Методика является удобной для анализа ЦФ действующих предприятий, для которых можно провести обследование существующей системы управления и выявить объекты управления.



**Рис. 2**

Однако в ней нет средств для определения новых объектов, новых видов деятельности и функций, связанных с развитием предприятия (внедрением новой техники, технологии и т.п.), что ограничивает применение методики при реконструкции и проектировании новых предприятий.

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е, 2003. – С. 249–252. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.:

Политехника, 1991. – С. 142–144. 3. Кошарский Б.Д. Принцип дополнителности системного описания и модульность структуры АСУП / Б.Д. Кошарский, А.И. Уёмов // Системный метод и современная наука. Вып. 2. – Новосибирск: НГУ, 1974. 4. Модин А.А. Справочник разработчика АСУ / А.А. Модин, Е.Г. Яковенко, Е.П. Погребной; под ред. Н.П. Федоренко и В.В. Карибского. – М.: Экономика, 1978. 5. Уёмов А.И. Системный подход и общая теория систем / А.И. Уёмов. – М.: Мысль, 1978. В.Н. Волкова

**МЕТОДИКА СТРУКТУРИЗАЦИИ ЦЕЛЕЙ И ФУНКЦИЙ, ОСНОВАННАЯ НА КОНЦЕПЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**, предложена при разработке структуры основных направлений и проблематики перспективных научных исследований по проблемам высшей школы [1, 5].

Понятие деятельности в той или иной форме используется в любой методике структуризации целей в системах организационного управления. В методике, предложенной в [1], концепция деятельности является основой формирования структуры целей, т.е. используется на верхних уровнях структуры.

Представления о деятельности и ее структуре развивались. В рассматриваемой методике в качестве исходной использована концепция деятельности А.Н. Леонтьева, принятая в педагогике и психологии («содержание», «методы», «средства»), модифицированная разработчиками методики директором НИИ проблем высшей школы (НИИВШ) В.Н. Четвериковым и ученым секретарем НИИВШ, автором данной статьи (см. подробнее в [5]). В результате структура деятельности дополнена составляющими модели «*черного ящика*» (см.) «выходы» (цели) и «входы», и понятие «содержание» уточнено «содержание и *формы*».

В методике предусмотрены два основных этапа (рис. 1), которые делятся на подэтапы, а последние, в свою очередь, – на более детальные подэтапы.

При выполнении этапа 1 (рис. 2) используются одновременно два подхода к формированию первоначального варианта структуры целей и функций (ЦФ): *целевой*, т.е. подход к формированию структуры «сверху» (подэтап 1.1), и подход, называемый *морфологическим, лингвистическим* и т.п., т.е. формирование структуры «снизу» (1.2).

При выполнении подэтапа 1.1 выбирается число уровней иерархии (1.1.1), которым для удобства присваиваются разные наименования (направления, комплексные проблемы, проблемы, подцели, функции); в соответствии с принятой в методике концепцией деятельности используются признаки «сферы деятельно-

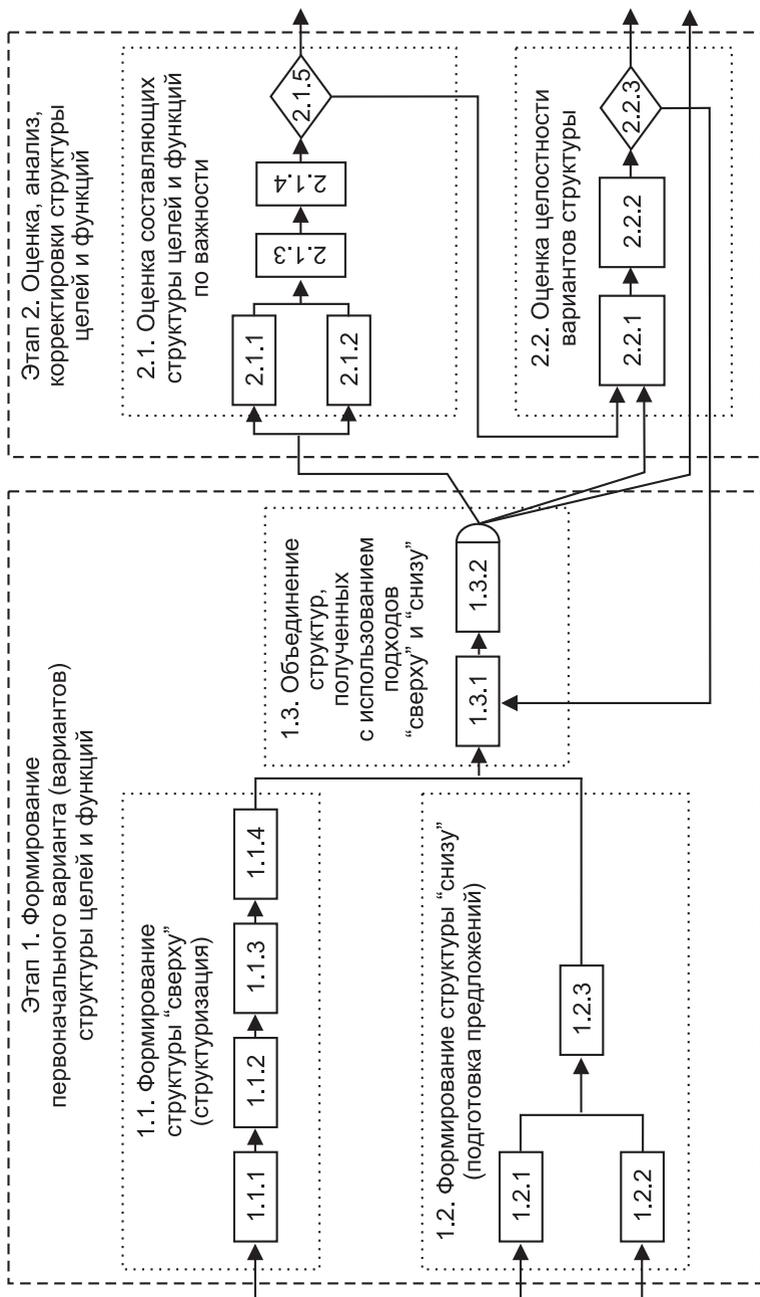


Рис. 1

сти» (1.1.2), «структура деятельности» и «вид деятельности» (1.1.3); последующие уровни структурируются с использованием признаков, рекомендуемых для нижних уровней (на «часть–целое» и др.) (1.1.4).

В структуре деятельности выделяются цели («выходы»), содержание и формы, методы, средства, «входы». Признаки «структура деятельности» и «вид деятельности» можно менять местами и «смешивать» эти признаки структуризации в пределах уровня (как это сделано, например, в [1, 5]).

При выполнении подэтапа 1.2 (подход «снизу») предложения формируются параллельно: предлагаются работниками структурных подразделений различных уровней системы управления (1.2.1) и получают на основе анализа научно-технической информации (1.2.2); затем проводится оценка предложений на полноту (1.2.3), осуществляется объединение структур (подэтап 1.3.1), полученных при параллельном применении подходов «сверху» и «снизу» (путем распределения полученных предложений по составляющим предварительно сформированной структуры), и принимается решение (1.3.2) о целесообразности выполнения этапа 2.

Пример верхних уровней структуры целей, полученных с использованием рассматриваемой методики, приведен на рис. 3.

При выполнении этапа 2 для оценки структуры целей и функций путем выявления наиболее значимых составляющих (2.1) предлагается параллельно использовать: 2.1.1. *Экспертные оценки* (см.) и 2.1.2. *Косвенные количественные оценки* (см.), которые затем обрабатываются совместно (2.1.3).

При экспертной оценке в качестве критериев используется система, аналогичная принятой в методике ПАТТЕРН (см.), но с некоторыми модификациями. Предлагаются следующие группы критериев: относительной важности (значимости), взаимосвязанности, экономические оценки (вместо критериев «состояние-срок»).

Идея косвенных количественных оценок предложена в [2]. Возможность их введения вытекает из анализа иерархических структур на основе *информационного подхода* (см.), из результатов которого следует, что структурированность ветвей иерархической структуры определяет придаваемую им фактическую значимость.

При обработке результатов оценки применяются не только традиционные методы усреднения, но и выявление *противоречивых мнений* с последующим содержательным анализом этих оценок.



Рис. 2

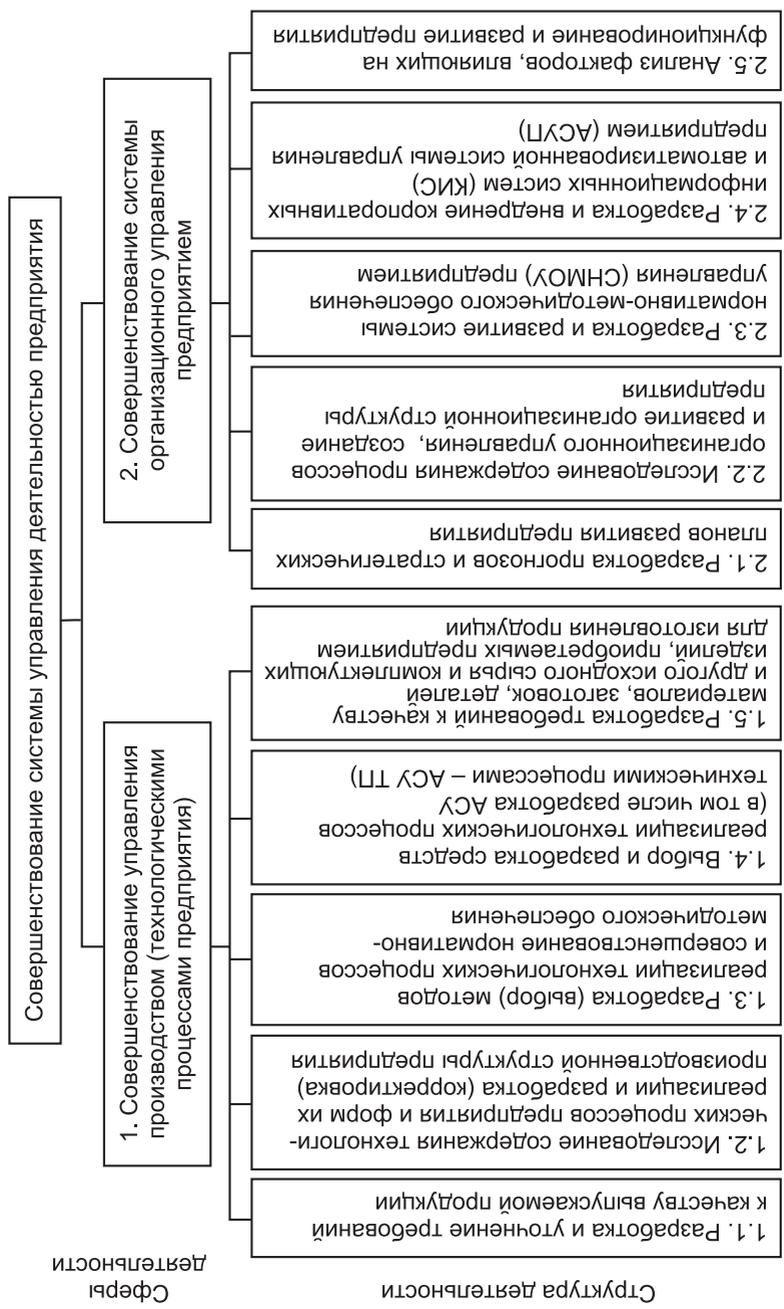


Рис. 3

На основе полученных результатов оценки исходная структура корректируется (2.1.4): составляющие, получившие наименьшие оценки значимости по сравнению с другими и не получившие при этом высоких оценок связности с высокозначимыми, либо исключаются из структуры целей и функций (ЦФ), либо опускаются на нижележащие уровни иерархии, а, напротив, составляющие, получившие высокие оценки значимости, могут быть перенесены на более высокие уровни иерархической структуры. При такой корректировке могут возникнуть вырожденные ветви, разные варианты новой структуры целей и функций. Для принятия решения о выборе окончательного варианта структуры следует перейти к подэтапу 2.2.

Решение о целесообразности перехода к анализу структуры в отношении ее формы (2.2) может быть принято (2.1.5) и в случае одного варианта структуры для сопоставления ее с аналогичными структурами целей (основных направлений развития) других предприятий (организаций) или со структурой основных направлений предшествующего периода развития предприятия (организации).

При оценке структуры (вариантов структуры) в отношении ее формы и удобства для дальнейшего использования (2.2) варианты структуры можно сопоставить на основе требований к структурам ЦФ, сформулированных при выполнении подэтапа 1.1.1 (2.2.1) и с использованием информационного подхода (2.2.2) для сравнительного анализа структур. Во втором случае оценивается степень *целостности* (см.), позволяющая судить об управляемости предприятия с помощью разрабатываемой структуры целей и о степени централизации-децентрализации управления.

Могут использоваться оба подхода к оценке вариантов структур, а затем результаты обобщаются (тогда нужно добавить подэтап 2.1.3). Если в 1.3.2 было принято решение о том, чтобы вначале выполнять подэтап 2.2, может быть введен подэтап принятия решений о дальнейшем ходе работ (2.1.4).

Для сбора и обработки экспертных и косвенных количественных оценок и для сравнительного информационного анализа структур следует создать группу соответствующих специалистов. В необходимых случаях может быть использован метод организации сложных экспертиз, базирующийся на информационном подходе.

Примечание к этапу 2. При совпадении оценок составляющие следует считать наиболее значимыми, при несовпадении – проводить дополнительный качественный анализ. Для проблем, по которым имеются наибольшие разногласия и наименьшая подготовленность, целесообразно провести предварительные научно-исследовательские работы и включить их в проблематику и координационный план в качестве перспективных направлений.

- 1. Применение системного анализа на разных уровнях управления в высшей школе: Обзорная информация / Под ред. В.Н. Волковой. – М.: НИИВШ, 1977. 2. Волкова В.Н. Оценка целевых структур при разработке планов в системе высшей и средней специальной школы: экспресс-информация / В.Н. Волкова, А.И. Коношенко, А.Ф. Марьенко. – М.: НИИВШ, 1980. 3. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 148–154. 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 2-е изд., 1999. – С. 258–264. 5. Волкова В.Н. Структуризация целей в системе управления высшей школы: из истории / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. В.Н. Волкова

**МЕТОДИКА СТРУКТУРИЗАЦИИ ЦЕЛЕЙ И ФУНКЦИЙ, ОСНОВАННАЯ НА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ СРЕДУ И ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ**, базируется на определении системы В.Н. Сагатовского [1], где учитываются понятия цели  $Z$ , среды  $SR$  и интервала времени  $\Delta T$  периода существования системы, влияющего на процесс целеобразования:

$$S \underset{def}{\equiv} \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle.$$

В [1] дается обоснование положенной в основу методики философской концепции системы и системных моделей, используемых для ее раскрытия и определения признаков структуризации.

Разработана и исследована методика группой ученых томских вузов Ф.И. Перегудовым, В.З. Ямпольским, Л.В. Кочневым [1–3 и др.].

Основные этапы методики соответствуют уровням структуризации, приведенным на рис. 1 (методика излагается в основном в исходных терминах и формулировках ее авторов, но с некоторыми дополнениями, предложенными ими позднее).

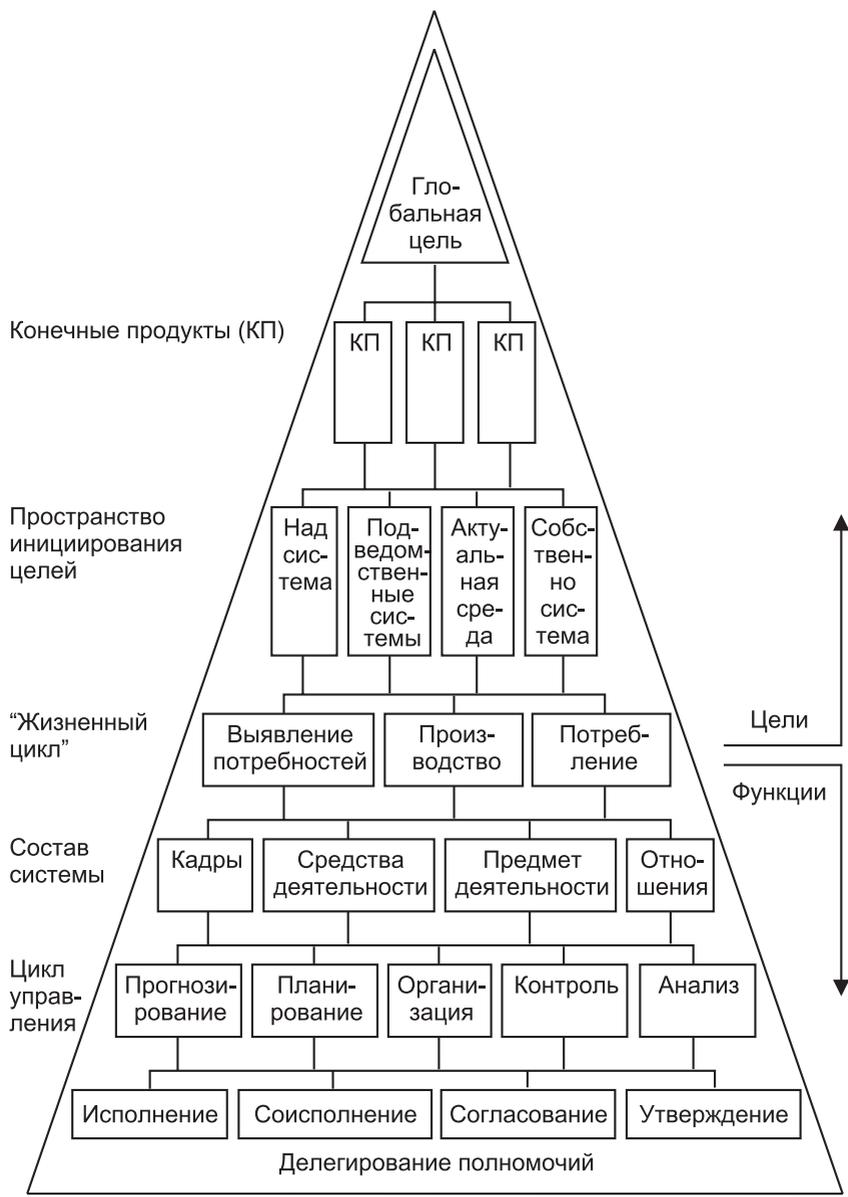


Рис. 1

Уровень 1. Формирование глобальной цели системы. Цель либо задается вышестоящей организацией, либо воссоздается на основе анализа директивных документов. Она должна быть ориентирована на конечный продукт, для получения которого существует или создается система. Конечным продуктом может быть любой результат социальной деятельности: материальная продукция, новый научный результат, научная информация и т.д.

Уровень 2. Декомпозиция по признаку «виды конечного продукта» (ВКП). Декомпозиция по этому признаку осуществляется в тех случаях, когда система производит разные виды конечного продукта. При наличии большого числа разновидностей продукции классификатор по этому признаку может быть двухуровневым. Виды конечного продукта зависят от того, для чего строится структура целей. Если речь идет о производстве, то конечным результатом является выпускаемая продукция, а если структура целей строится для аппарата управления, то это планы, решения и другие нормативно-методические документы, обеспечивающие выпуск соответствующего вида продукции.

Уровень 3. Декомпозиция по признаку «пространство инициирования целей» (ПИЦ). Декомпозиция по этому признаку формирует подцели исследуемой системы,

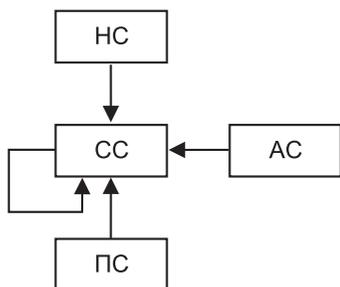


Рис. 2

инициируемые требованиями и потребностями окружающей среды, влияющей на производство конечного продукта. При этом все системы, с которыми взаимодействует исследуемая в процессе производства конечного продукта, делятся на четыре класса (рис. 2): *надсистема* (НС), или *вышестоящие системы* (ВС), формулирующие главные требования к конечному продукту (и потребности в нем);

*нижестоящие*, или *подведомственные системы* (ПС), требования которых выступают в основном в качестве ограничений на свойства конечного продукта или потребностей в организации ремонта и других видов обслуживания материально-технической базы для производства конечного продукта; *существенная*, или *актуальная среда* (АС), т.е. системы, которые имеют отношение к производ-

ству конечного продукта проектируемой или исследуемой системы\*; исследуемая *собственно система* (СС), подцели которой инициируются собственными (внутренними) потребностями, мотивами, программами, постоянно возникающими в развивающейся системе, а также трансформирующимися в требования к конечному продукту.

Отметим, что этот признак структуризации базируется на закономерности *коммуникативности* (см.).

Уровень 4. Декомпозиция по признаку «жизненный цикл». Здесь определяются различные подэтапы получения конечных продуктов в зависимости от их видов – от формирования или прогнозирования потребностей в продукте до потребления или поставки заказчику (см. примеры на рис. 3).

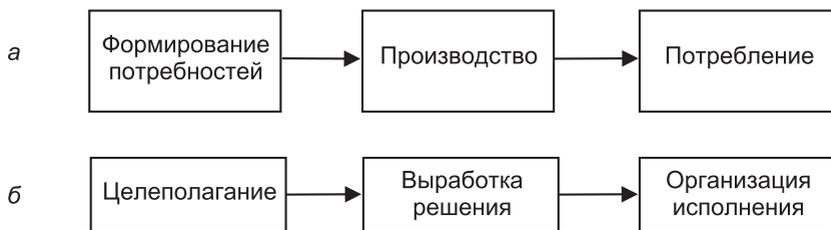


Рис. 3

Начиная с этого уровня декомпозиции, обычно становится удобнее оперировать не термином «подцель», а термином «функция» и считать, что «дерево целей» как бы перерастает в «дерево функций».

Уровень 5. Декомпозиция по признаку «основные элементы (состав) системы» (СС), в результате чего формируются функции, вытекающие из потребностей основных элементов системы, которые объединяются в три основные группы – *кадры* (К), *пред-*

---

\* В дальнейшем д-р техн. наук, профессор СПбГТУ В.Г. Колосов предложил идею выделения *дружественной* среды (поставщики, потребители, аналогичные предприятия, с которыми сотрудничает рассматриваемая система), *конкурентной* (предприятия, выпускающие аналогичную продукцию или поставляющие ее на рынок из других стран или регионов) и *безразличной* среды, которая на данном этапе является нейтральной, но со временем может стать дружественной или конкурентной.

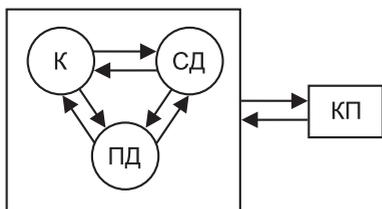


Рис. 4

мет деятельности (ПД) и средства деятельности (СД) (рис. 4). На практике иногда применение этого признака декомпозиции вызывает затруднения, и его удобнее интерпретировать как «объекты деятельности» (основной – ПД, обеспечивающие – СД, К и другие ресурсы системы).

Уровень 6. Декомпозиция по признаку «управленческий цикл», классификатор которого, предлагаемый авторами методики, приведен на рис. 1.

Уровень 7. Декомпозиция по признаку «делегирование полномочий», классификатор по которому также приведен на рис. 1.

Рассматриваемая методика развивалась. В первоначальном ее варианте было пять уровней декомпозиции. Позднее добавилось еще два [4]. В зависимости от приложений менялась последовательность признаков: во многих приложениях удобнее на первое место вынести признак «пространство инициирования целей», помогающий уточнить «виды конечного продукта». По-разному можно раскрывать «жизненный цикл» системы (см. рис. 3).

Методика нашла наиболее широкое применение из числа всех рассматриваемых: она использовалась при разработке «дерева целей» управления хозяйством области; при формировании структуры функциональной части (ФЧ) территориальной АСУ Томской области; структуры ФЧ отраслевой АСУ (ОАСУ) Минвуза РСФСР; при корректировке организационной структуры Минвуза и т.д.

Наибольшее распространение получили первые три признака структуризации (т.е. признаки формирования собственно структуры целей), особенно признак «пространство инициирования целей», в основе которого лежит *закономерность коммуникативности* (см.), разделяющая сложную среду на НС, ПС, АС и внутреннюю среду – СС, постоянно изменяющуюся в развивающейся системе.

Получаемые с помощью этой методики структуры цели и функций (ЦФ) существенно полнее, чем при использовании предыдущей методики (см. один из примеров применения методики на рис. 5).

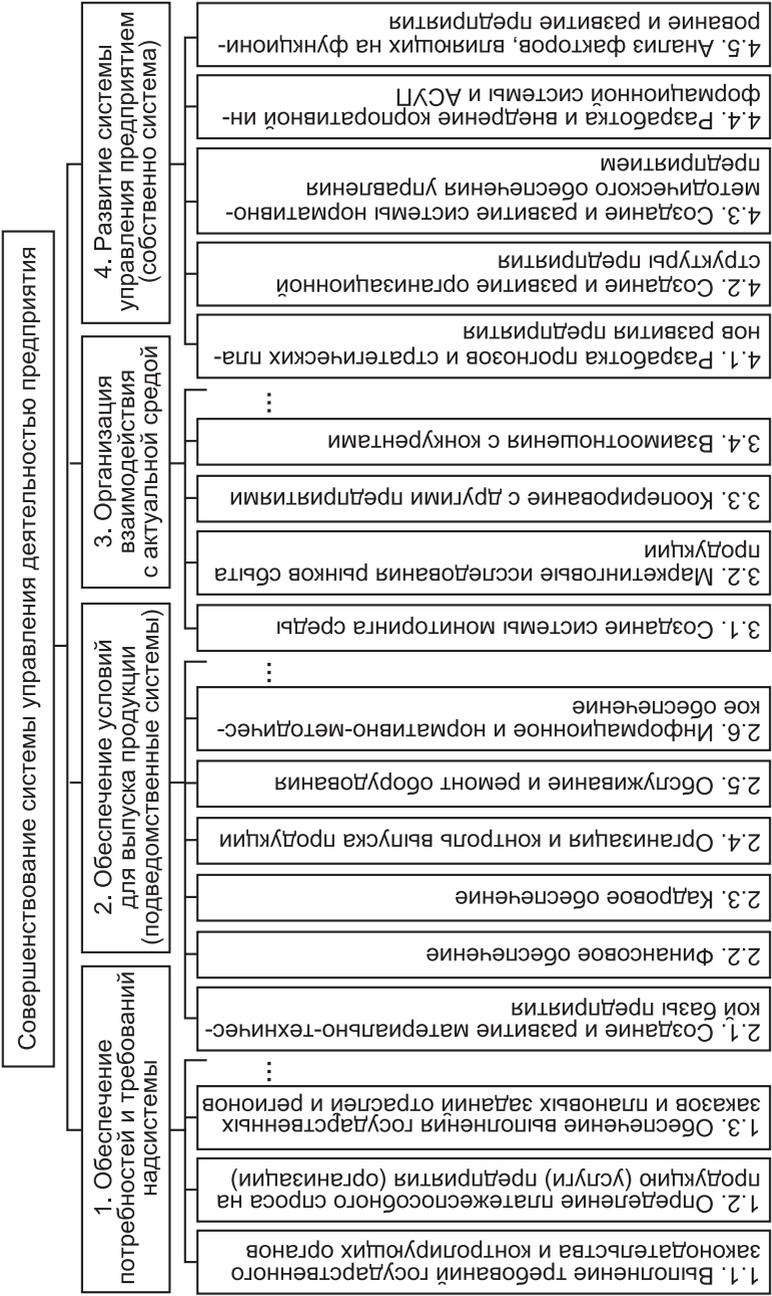


Рис. 5

Анализ «пространства инициирования целей» заставляет обратить внимание на необходимость поддержания в работоспособном состоянии *оборудования, организации ремонта, изготовления специнструмента, спецоснастки* и на другие функции, обусловленные потребностями подведомственных систем, а также на функции *координации и кооперирования* с предприятиями и организациями актуальной среды, что иллюстрируется примером, приведенным на рис. 5, и примерами в [1–6 и др.].

Таким образом, благодаря большей полноте определения системы, данного В.Н. Сагатовским, по сравнению с двойственным определением системы А.И. Уёмова и раскрытию этого определения в хорошо отработанной совокупности признаков структуризации и примеров классификаторов по этим признакам рассматриваемая методика обеспечивает большую *полноту* анализа целей и функций (ЦФ) систем управления по сравнению с предыдущими методиками, помогает выявлять новые, ранее не выполнявшиеся на предприятии функции. Методика является хорошим средством анализа ЦФ в условиях развития предприятия (организации), при внедрении в производство и управление различного рода нововведений, при техническом перевооружении и реконструкции предприятий, проектировании новых предприятий.

В установившемся же режиме функционирования предприятия эта методика может оказаться избыточной. Кроме того, возникают затруднения при определении «видов конечного продукта» ветви 4 (собственно системы управления), для структуризации которой оказалась удобной *методика структуризации целей и функций, основанная на концепции деятельности* (см.).

- 1. О с н о в ы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ / Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976.
- 2. П р и н ц и п ы декомпозиции целей и методика построения дерева целей в системах организационного управления / Ф.И. Перегудов, В.Н. Сагатовский, В.З. Ямпольский, Л.В. Кочнев // Кибернетика и вуз. Вып. 8. – Томск: ТПИ, 1974. – С. 9–20.
- 3. П р и м е н е н и е системного анализа на разных уровнях управления в высшей школе: обзорн. информ. / Под ред. В.Н. Волковой. – М.: НИИВШ, 1977.
- 4. О п ы т создания и развития отраслевой автоматизированной системы управления Минвуза РСФСР: обзорн. информ. / В.З. Ямпольский, Н.И. Гвоздев, Л.В. Кочнев и др. – М.: НИИВШ, 1980.
- 5. С и с т е м н ы й анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 144–148.
- 6. В о л к о в а В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 2-е изд., 1999. – С. 253–258.

*В.Н. Волкова*

**МЕТОДИКА СТРУКТУРИЗАЦИИ ЦЕЛЕЙ СИСТЕМЫ, СТРЕМЯЩЕЙСЯ К ИДЕАЛУ**, предложена Р. Акоффом и Ф. Эмери [1]. Они предложили вынести на верхние уровни структуры целей для системы (в их терминологии – *общины*), стремящейся к идеалу, составляющие, приведенные на рисунке [2, С.264–265]): изобилие (политико-экономическая функция), правда (познание истины, научная и образовательная функция), добро (функция разрешения внутриличностных и межличностных конфликтов и конфликтов между социальными коллективами, т.е. этика, религия, юриспруденция и т.п.), красота (функция эстетики, обеспечивающая не только отдых, но и формирование личности, гражданственности, механизмов целеобразования).



В методике предусматривается принцип *фрактальности*, т.е. структуризации каждой ветви нижележащего уровня с использованием составляющих соседних уровней. Например, у функции организации науки есть политико-экономическая сфера, научная этика, эстетика.

Эта методика позволяет обеспечить полноту структуризации таких организаций, цели и функции (ЦФ) которых должны охватывать разносторонние условия существования и развития личности.

Например, ее применяют при структуризации функций системы управления городом, регионом, школой, детскими дошкольными учреждениями и т.п. При разработке структуры ЦФ районной или городской администрации полезно сочетать эту методику с другими (см., например, [2, С. 310–312]).

- 1. А ко ф ф Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери. – М: Сов. радио, 1974. 2. Вол ко ва В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. В.Н. Волкова

**МЕТОДЫ ВЫРАБОТКИ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ** – групповые дискуссии, применяющиеся для принятия управленческих решений.

Методы групповых дискуссий являются средством приобщения руководителей к выработке коллективного стиля руководства, повышают мотивацию и вовлеченность участников в решение обсуждаемых проблем. Ситуация групповой дискуссии стимулирует глубинное ассоциативное мышление, заставляет участников высказывать то, что они не формулируют в своих условиях. Этому благоприятствует эмоциональная атмосфера интеллектуального соперничества, складывающегося в ходе дискуссии.

**Метод анализа конкретных ситуаций** (АКС) разработан в 20-х гг. XX в. Гарвардской школе бизнеса (США). Принято выделять три основных типа ситуаций: стандартные, критические, экстремальные. Для обучения руководителей наибольший интерес представляют стандартные (повторяющиеся) ситуации, так как в совокупности именно они отнимают время у руководителя и создают большую проблему руководства, нежели экстремальные ситуации.

Под *конкретной ситуацией* понимается событие, в котором интересы участников противоречивы (конфликт) или вступили в противоречие с окружающей средой.

Как правило, это нежелательные нарушения или отклонения в социальных, экономических, организационных, производственных и технологических процессах. С этой точки зрения ситуация характеризуется увеличением социальной напряженности, проявлением эмоций, изменением режимов, повышением затрат, снижением эффективности деятельности. Наиболее характерные черты ситуации – неопределенность, непредсказуемость ее появления.

АКС проходит в несколько этапов.

1. Введение в изучаемую ситуацию и стоящую за ней проблему.
2. Постановка задачи – разбиение экспертов на группы, получение описания ситуации, время работы и т.д.
3. Групповая работа над поиском вариантов решения.
4. Групповая дискуссия. Представители подгрупп поочередно выступают с сообщением о результатах работы, обосновывают предлагаемый вариант решения. После выступления представителей подгрупп начинается общая дискуссия: обсуждение точек зрения и решений, оценка результатов анализа, формирование единого подхода к решению подобного рода проблем, выбор наилучшего решения в данной ситуации.

**Балинтова сессия.** Часто изложение кому-либо сложной проблемы помогает кристаллизации мыслей и приближает к решению этой проблемы. Когда человек находит нужные слова, чтобы просто изложить проблему, он может найти и простое решение, которое до этого ускользало от него из-за обилия всякого рода деталей. А если собеседник к тому же разбирается в поставленной проблеме и может задавать уточняющие вопросы и предлагать какие-нибудь пути ее решения (пусть даже спорные), то это помогает лучше разобраться в данной проблеме, взглянуть на нее с новой стороны.

Именно на этом принципе основан описываемый метод коллективного принятия решения, в свое время апробированный английскими врачами Балинтами, создавшими постоянный семинар по обсуждению проблем участников.

При проведении балинтовой сессии можно выделить три основных этапа:

- на первом этапе из группы экспертов выбирается человек, у которого есть требующая разрешения проблема. Этот человек коротко, но в то же время достаточно полно излагает суть своей проблемы группе;

- на втором этапе члены группы поочередно задают этому человеку вопросы по рассматриваемой проблеме и получают на них подробные ответы. Данная процедура продолжается по кругу до тех пор, пока не иссякнут все вопросы. Тот, у кого нет вопросов, может пропустить свою очередь, а если вопросы появятся позднее, то он имеет право опять включиться в обсуждение;

- на третьем этапе все члены группы излагают свои варианты и пути решения поставленной проблемы, дают советы и рекомендации.

В заключение тот человек, чья проблема подверглась обсуждению, благодарит всех членов группы, отмечает, что нового и полезного он вынес из этого обсуждения.

При этом необходимо отметить, что здесь не ставилась цель сразу найти оптимальное решение проблемы (как правило, это не удается). Главная цель – помочь человеку глубже вникнуть в эту проблему (как-то по-новому взглянуть на нее), привести в порядок свои мысли. Обсуждение может послужить толчком для решения, которое придет в голову позднее.

Следует также отметить, что данный метод может быть наиболее полезен для решения проблем молодых руководителей, не имеющих еще большого опыта практической работы.

Таким образом, цель балинтовой группы – воссоздать более широкую картину проблемы, найти нетрадиционные пути ее решения.

Сессия балинтовой группы выглядит в целом следующим образом.

1. Каждый из участников в порядке очереди докладывает свою проблему.

2. Выбирается проблема для обсуждения.

3. Поочередно задаются вопросы.

4. Вносятся предложения, рекомендации.

5. Делаются обобщения и выводы.

**Мозговой штурм** (МШ) – один из этапов принятия управленческого решения, являющийся весьма распространенной и эффективной формой при разработке альтернативных вариантов решения обсуждаемой проблемы. Этот метод называют также методом *мозговой атаки*, и в силу его важности и распространенности он характеризуется более подробно в отдельной статье (см. *Мозговая атака*).

**Свободная дискуссия.** В свободной дискуссии вырабатывается умение руководить ее проведением, а также доказывать свое мнение и прислушиваться к мнению других участников.

**Метод «635»** хорошо комбинируется с другими методами, например с методом «*мозговой атаки*» (см.), и используется при конкретизации высказываемых идей или при поиске вариантов решения проблемы. Важным условием применения этого метода является то, что обмен информацией между членами группы разрешается только в письменном виде. Представляемые в письменной форме идеи отличаются большей обоснованностью и четкостью, чем устно высказанные идеи.

На первом этапе каждый из шести членов группы записывает основные идеи для решения поставленной проблемы. Для этой цели, а также во избежание пространного описания идей разработан бланк.

На втором этапе основные идеи ( $6 \times 3 = 18$ ) по очереди поступают к членам коллектива, каждый из которых дополняет их еще тремя мыслями, касающимися решения поставленной проблемы. После прохождения всех этих шести участков бланк содержит 108 идей.

Основные условия применения метода «635» следующие:

- обеспечение неоднородности состава группы;
- формулирование проблемы до начала работы группы, что является задачей руководителя или подготовительной группы «мозговой атаки»;
- сообщение проблемы членам группы за 2–3 дня до начала работы, чтобы в полной мере могли быть использованы возможности «инкубационного» периода;
- запрещение устного обмена информацией между членами группы;
- стимулирование импровизации (активности) членов группы посредством строгого соблюдения намеченных сроков.

На основе практического применения данного метода можно сделать следующие выводы:

- метод «635» хорошо комбинируется с другими методами, например с методом «мозговой атаки», при конкретизации высказываемых идей, поиске вариантов решения проблемы;
- основные и дополнительные идеи в отдельных случаях могут быть представлены в виде рисунков;

- данный метод применим в условиях, когда члены группы территориально разобщены, хотя в этом случае возрастают затраты времени и снижается творческий накал;

- качественная оценка работы группы дается на основе незаполненных рубрик бланка, а не на основе числа ответов и высказанных идей;

- представленные в письменной форме идеи отличаются большей обоснованностью и четкостью, чем устно высказанные идеи, хотя зачастую первые бывают и менее оригинальными;

- обязательность письменного изложения идей не позволяет членам группы даже временно оставаться пассивными.

**Метод «метаплан».** Данный метод соединяет в себе преимущества метода «мозговой атаки», а также положительные черты визуального наблюдения.

Методологические характеристики рассматриваемого метода следующие:

- работа членов группы стимулируется постепенно увеличивающейся и наглядно представленной информацией;

- вследствие визуального наблюдения идей исключается возможность ошибок, которые обычно могут возникать при запоминании слуховой информации, исключается недоучет отдельных идей;

- концепция решения проблемы формируется посредством объединения в систему информации, полученной в процессе выявления проблемы, а также высказанных идей;

- при проведении отдельных операций метода в отношении общего срока его реализации и продолжительности отдельных операций соблюдается строгая программность.

Шаги реализации метода.

1. Дается поручение группе выявить проблему, составить карту потерь. Члены группы, отвечая на вопросы: «В чем состоят потери?», «Что собой представляют мобилизуемые резервы?», заполняют разноцветные карточки.

Преимущества подобной регистрации идей состоят в следующем:

- продолжительность представления идей сокращается вследствие одновременного заполнения всех карточек;

- различные идеи, рекомендации могут быть просто сгруппированы и перегруппированы на обобщенном табло;

- разные цвета карточек и записей позволяют облегчить работу по систематизации;

- сама форма карточек заставляет формулировать ответы в сжатом виде;

- принцип «на одной карточке один ответ» облегчает работу по составлению плана мероприятий по решению проблемы.

Карточки с ответами поступают на обобщенное табло, размер которого составляет примерно 1,6×4 м. На нем свободно размещаются 6–7 карточек каждого из 15 человек группы, т.е. всего 100–120 ответов, что обеспечивает хороший их обзор.

2. Карточки с ответами систематизируются в «банк» информации.

Выявленные потери и резервы классифицируются в группы с короткими и длительными сроками реализации, в рамках групп выделяются подгруппы в зависимости от требуемых материально-технических, трудовых, организационных и иных предпосылок.

**Метод «за – против».** При подготовке метода голосования «за – против» группа определяет варианты решения проблемы и представляет их в схематичном виде так, чтобы основные характеристики могли наблюдаться всеми членами группы одновременно. На заседании жюри каждый его член выбирает из множества вариантов необходимые путем балльной их оценки. К каждому обсуждаемому варианту необходимо прикрепить по два представителя концепции «за» (т.е. «защитников», положительно характеризующих вариант) и столько же представителей концепции «против» (т.е. отвергающих его).

**I этап.** Представители концепции «за» и «против» по очереди получают слово и в сжатом виде приводят свои аргументы, которые ассистентами жюри фиксируются на «табло доводов», с тем чтобы все члены жюри одновременно имели общее представление о всей совокупности доводов. Предположительность первого этапа – 10...15 мин.

**II этап.** Представители концепции «за» и «против» меняются ролями и приводят дополнительные доводы «за» и «против» рассматриваемых вариантов, фиксируемые на табло.

**III этап.** Жюри обсуждает все доводы и при необходимости дополняет их.

**IV этап.** Жюри делится на подгруппы по 4–6 человек, задачей которых являются обработка и совершенствование (независимо друг от друга) принятых вариантов. Подгруппы стремятся дополнить, усовершенствовать один и тот же вариант разными способами (метод «мозговой атаки», «635»).

*Метод Дельбека* включает следующие этапы:

- определение проблемы;
- выявление факторов, способствующих и препятствующих достижению цели, и взаимосвязей между ними;
- разработка вариантов решения проблемы;
- выбор наиболее совершенного варианта.

Для успешного применения рассматриваемого метода необходимо, чтобы были выполнены следующие условия:

- члены группы заинтересованы в решении проблемы;
- решаемая проблема не превосходит возможностей группы и тем самым не способствует пассивности отдельных ее членов, равно как и не сводится к незначительной, или простой, задаче, решение которой не требует творческого подхода;
- идеи, поданные членами группы, оцениваются только на этапе качественной оценки.

В процессе применения метода Дельбека выделяют следующие фазы:

1) члены группы описывают независимо друг от друга короткими предложениями фактическую ситуацию (максимально требуемое время – 15 мин.);

2) члены группы отбирают наиболее характерные предложения, зачитывают их;

3) визуально документируя (на доске, бумаге, экране) предложения, число которых соответствует числу членов группы, фиксируют число идентичных предложений;

4) процедура повторяется до тех пор, пока число отличающихся предложений не будет сведено к нулю или к минимуму;

5) синтезируются предложения, выражающие мнение коллектива, и тем самым определяется фактически сложившаяся ситуация;

6) члены группы описывают желаемое (достижимое) положение вещей, определяют критерии таким образом, как это отмечено в п. 1;

7) после чтения написанного следует дискуссия примерно 20 мин., цель которой заключается в подготовке к выбору предложения, наиболее полно отражающего достижимую ситуацию. Время выступления каждого участника ограничено и равновелико;

8) после дискуссии каждый член группы записывает три предложения, располагая их по степени важности;

9) поставленной цели соответствует предложение, с которым соглашается большинство участников (оно определяется путем составления матрицы предложений или простым голосованием);

10) составляется список факторов, препятствующих достижению цели, в соответствии с п. 7–9, т.е. посредством письменной регистрации идей, коллективного их обсуждения и голосования;

11) определяются факторы, способствующие достижению цели (аналогичным образом);

12) составляется план реализации предложения, содержащий те обязательные меры, которые необходимы для элиминирования негативных факторов и полного проявления действия позитивных факторов. Определяются лица, участвующие в процессе реорганизации. Правила работы при этом не меняются.

Недостатком метода Дельбека следует признать неизменность методов коллективного труда во всех фазах процесса рационализации. Многократное повторение действий (причем в неизменной форме) может снизить активность членов группы.

Рекомендуемые области применения:

- решение задач, требующих знаний в различных областях;
- сбор информации и контроль ее содержания;
- составление прогнозов;
- выявление многосторонности и взаимосвязанности сложных задач.

*Метод ролей.* Этот метод может быть использован:

- для сбора данных, доказывающих правильность выбранной концепции;
- для предварительного ознакомления с контраргументами, которые могут возникнуть в процессе утверждения конкретного варианта решения проблемы и которые необходимо опровергнуть;
- для использования перечисленных данных и аргументов в целях совершенствования избранной концепции.

На подготовительном этапе задачей группы выступает выявление конфликтных ситуаций. Из состава группы выбираются наиболее подходящие партнеры для имитации данной конфликтной ситуации, так как она получила бы, по их мнению, развитие в действительной жизни. Подготовка к роли занимает 20–30 мин. Если возникает необходимость в создании соответствующего фона, то группа делится на подгруппы, выполняющие роль консультантов при подготовке участников «игры» для исполнения той или иной роли.

Время «игры» составляет 15–20 мин. Исполнители ролей обосновывают свои точки зрения объективными данными, доказательствами, опровергают контраргументы противника. В протоколе фиксируются в форме «тезисы – антитезисы» все доводы, доказательства, включая также и такие, которые связаны с эмоциями или являются результатом риторических приемов.

В процессе «игры» как ее участники, так и члены группы получают живое, жизненное представление о создавшейся ситуации и о возникшей проблеме, о ее личностных и материально-вещественных факторах и предпосылках, о тенденциях возможного развития и решения. Накопленный в процессе «игры» опыт формируется в виде конкретных тезисов, которые обсуждаются и оцениваются всеми участниками группы.

При этом ставятся следующие вопросы-тесты.

1. Каковы для контрапартнера наиболее неприятные доводы, вопросы и возражения?
2. Какие доводы, возражения и вопросы остались без ответа или не были опровергнуты?
3. Какие доводы и рекомендации являются наилучшими?
4. Какие принципиально новые доводы, рекомендации требуют повторного осмысления?
5. Какие доводы должны быть соединены, связаны, чтобы они дополняли и усиливали друг друга?
6. Какое особое поведение, отличающееся от обычного, проявили участники в процессе «игры»?

Выбранные в качестве полезных и многообещающих доводы и рекомендации подробно детализируются и развиваются специально созданными подгруппами.

С использованием этого метода можно воспроизводить различные хозяйственные ситуации, которые связаны с выполнением договорных обязательств, соблюдением платежной дисциплины и т.д.

Метод ролей комбинируется с деловыми играми, т.е. групповой имитацией выработки управленческих решений по заданным правилам в искусственно созданной проблемной ситуации.

Эти методы имеют важное значение для обучения специалистов и руководителей навыкам проработки различного рода нестандартных проблем производственной жизни, для решения реальных проблем, накопившихся или вновь возникших в управленческой практике предприятий.

**Блочные методы.** Вариантами данных методов являются *метод блока дискуссий* и *метод блока вопросов*.

В рамках первого из указанных вариантов ведется дискуссия между 2–6 участниками перед аудиторией из 20–25 человек (которые должны быть активизированы в результате споров) по

определенной проблеме, причем однозначное определение проблемы не выдвигается в качестве обязательного условия. Выступающие не придерживаются строгой формы выступления, свои мнения они выражают в сжатой форме и быстро; дополняются предложения таким же образом. Впоследствии подключается дискуссия и вся аудитория.

Метод блока дискуссий может быть рекомендован:

- когда имеются надлежащим образом подготовленные, информированные и имеющие опыт коллективной работы («игры») партнеры-спорщики;

- если задача заключается: а) в сосредоточении внимания аудитории на проблеме осознания ее важности; б) в активизации членов группы для решения проблемы, началом которого в данном случае служит дискуссия; в) в ознакомлении с противоположными мнениями и точками зрения.

Второй вариант (метод блока вопросов) методически похож на первый. Задачей опрашиваемых является получение ответов на такие вопросы, которыми интересуются члены группы. Опрашиваемые обсуждают поставленный вопрос в присутствии группы, определяют список, очередность возможных ответов. По завершении дискуссии группа оценивает важность (реальность, актуальность) заданных вопросов и поступивших ответов при помощи матрицы предпочтений.

*Дискуссия с разделением интеллектуальных функций.* Эта форма выработки и принятия управленческих решений предусматривает разделение функций по генерации, развитию, обсуждению, критике и конкретной разработке идей между различными группами участников.

Группа «генераторов» организует мозговой шторм, стараясь выдвинуть максимальное число идей по решению данной проблемы.

Группа «эрудитов» развивает выдвинутые идеи в духе новейших достижений науки и техники.

Группа «экспертов» подвергает предложенные идеи критическому анализу, может отвергнуть некоторые идеи или вернуть их на доработку «эрудитам» и «генераторам».

В задачу «рабочей группы» входят окончательная редакция выдвинутых предложений, выработка плана мероприятий по их реализации.

- 1. Бабаев А. А. Активные методы обучения / А. А. Бабаев. – М.: Профиздат, 1986.
- 2. Ефимов В. М. Введение в управленческие имитационные игры / В. М. Ефимов, В. Ф. Комаров. – М.: Наука, 1980.
- 3. Шушанская Я. Методология рационализации / Я. Шушанская. – М.: Экономика, 1987.
- 4. Активные методы обучения – основа интенсификации учебного процесса в вузах. – Л.: ЛФЭИ, 1980. В. В. Ходырев

**МЕТОДЫ (МЕТОДИКИ) СТРУКТУРИЗАЦИИ** – принципы и приемы расчленения сложных систем с большой неопределенностью на более обозримые части (подсистемы, компоненты, процессы), лучше поддающиеся исследованию.

Благодаря тому, что в результате расчленения можно получить возможность исследования системы по частям, структурные представления можно рассматривать как некоторые *методы* исследования, именуемые иногда системно-структурными. В наибольшей мере это относится к иерархическим структурным представлениям, в которых на каждом уровне иерархии проявляется эффект *целостности* (см. *Закономерность целостности*).

Расчленение системы может быть различным: *во времени* (сетевые структуры), *в пространстве* (иерархические структуры разного рода, включая древовидные, страты и др., матричные структуры, смешанные структуры).

Для расчленения систем разрабатывают различные приемы, вводят признаки структуризации (декомпозиции). Совокупности упорядоченных признаков и приемов, формируемые на основе целостной концепции, и называют *методиками структуризации*.

Методы структуризации являются основой любой *методики системного анализа* (см.), любого сложного алгоритма организации проектирования или принятия управленческого решения.

В особую группу методов структуризации можно выделить *методы типа «дерева целей»* (см.), *методики структуризации целей и функций* (см.).

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997.
- 2. Денисов А. А. Иерархические системы: учеб. пособие / А. А. Денисов, В. Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989.
- 3. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В. Н. Волкова, А. П. Градов, А. А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990.
- 4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С. А. Валуева, В. Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. В. Н. Волкова

**МЕТОДЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА АКТИВИЗАЦИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТУИЦИИ И ОПЫТА СПЕЦИАЛИСТОВ (МАИС)**, – группа методов, выделенная в *классификации методов моделирования систем*, предложенной в [1] и в дальнейшем развитой в [2–4].

К этой группе методов относятся методы типа «*мозговой атаки*» или *коллективной генерации идей* (КГИ) (см.) и другие *методы выработки коллективных решений* (см.); методы типа «*сценариев*» (см.); «*Дельфи*»-метод (см.); метод «*дерева целей*» (см.); *морфологический подход* (см.); *метод решающих матриц* (см.), предложенный Г.С. Поспеловым, модификации этого метода и другие *методы организации сложных экспертиз* (см.).

- 1. Волкова В. Н. Системный анализ и его применение в АСУ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1983. 2. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С.130–145. 3. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. 4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. В.Н. Волкова

**МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ЭКСПЕРТИЗ** – методы и модели, повышающие объективность получения оценок путем расчленения большой первоначальной неопределенности проблемы, предлагаемой эксперту для оценки, на более мелкие, лучше поддающиеся осмыслению.

В качестве простейшего из этих методов может быть использован метод усложненной экспертной процедуры, предложенный [6] в методике ПАТТЕРН (см.), в которой выделяются группы критериев оценки и рекомендуется ввести весовые коэффициенты критериев. Введение критериев позволяет организовать опрос экспертов более дифференцированно, а весовые коэффициенты повышают объективность результирующих оценок.

Развитием этого метода являются введение коэффициентов компетентности экспертов и различные методы совершенствования обработки оценок, даваемых разными экспертами по различным критериям.

В качестве второго метода организации сложных экспертиз можно использовать *метод решающих матриц и его модификации* (см.).

Идея метода была предложена Г.С. Поспеловым [5, 7] как средство стратифицированного расчленения проблемы с большой неопределенностью на подпроблемы и пошагового получения оценок. В последующем был разработан ряд модификаций метода решающих матриц [1–4].

Третью группу составляют *модели (методы) организации сложных экспертиз, основанные на использовании информационного подхода* (см.).

В числе этих моделей – модели оценки нововведений, методы анализа ситуаций в статике и динамике, в том числе рыночных, методы сравнительного анализа проектов и др. [1–4].

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 130–145. 2. Волкова В.Н. Методы организации сложных экспертиз: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. 3. Волкова В.Н. Применение системного анализа при управлении созданием и развитием предприятий и организаций: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.В. Кукушкин, С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 4. Волкова В.Н. Применение методов и моделей системного анализа при управлении проектами: учеб. пособие. / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 5. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. – М.: Радио и связь. 1982. 6. Лопухин М.М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971. 7. Поспелов Г.С. Программно-целевое планирование и управление. Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. – М.: Сов. радио, 1976. В.Н. Волкова

**МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ЭКСПЕРТИЗ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА**, – группа *методов организации сложных экспертиз* (см.), разработанных для решения ряда прикладных задач [1–4, 7].

Методы и модели этой группы базируются на использовании *методов структуризации* (см.) и *информационного подхода к анализу систем* (см.).

*Структуризация* помогает расчленить большую неопределенность на более обозримые, что способствует повышению объективности и достоверности анализа. *Информационный подход* позволяет оценивать последовательно *степень целесообразности* (см.) анализируемых составляющих, т.е. влияние составляющих нижележащих уровней стратифицированной модели на вышестоящий.

Разработаны три вида методов этой группы:

1) методы оценки степени соответствия анализируемых составляющих исследуемых систем по разнородным качественным критериям, позволяющие получать обобщенную оценку в многокритериальных задачах с разнородными критериями; они применяются для сравнительного анализа нововведений, корпоративных информационных систем (КИС) при выборе КИС для конкретной организации, проектов при формировании «портфеля заказов» в НПО и т.п.;

2) методы сравнительного анализа сложных систем в течение определенного начального периода их проектирования (внедрения, развития) путем сопоставления изменения информационных оценок во времени; они применяются для сравнительного анализа разнородных нововведений, технических комплексов, проектов и т.п., позволяя принимать решения о целесообразности продолжения их внедрения, разработки, дальнейшего инвестирования и т.п.;

3) методы оценки ситуаций, описываемых информационными уравнениями в статике и динамике; они применяются при проведении маркетинговых исследований, анализе рыночных ситуаций с учетом взаимного влияния товаров, сравнительного анализа проектов с учетом взаимовлияния в процессе проектирования и др.

Для пояснения описанных методов приведем ряд примеров.

**Методы управления внедрением нововведений.** Деятельность развивающегося предприятия (организации) связана с непрерывным обновлением действующего оборудования, технологических процессов, применяемых материалов, с совершенствованием процесса организации труда и управления предприятием. Это непрерывное совершенствование средств, предметов и процесса трудовой деятельности достигается посредством разработки и внедрения нововведений (НВВ) в различные сферы деятельности (обновление товаров, техники, технологии, методов управления), которые, как правило, разрабатываются и внедряются не по очереди, а одновременно.

В ходе внедрения НВВ возникает задача определения их приоритетности и очередности внедрения.

При решении задачи следует учитывать особенности НВВ и условия их внедрения.

В оценке эффективности НВВ необходимо учитывать разнородные внешние и собственные факторы, в условиях которых функционирует и развивается конкретное производство. Очевидно, что социальный и даже

экономический эффект не всегда могут быть выражены в денежном исчислении. Используемые косвенные показатели стараются свести в один обобщающий, применяя в качестве универсального измерителя стоимостные единицы. Но такая замена прямых показателей косвенными стоимостными не всегда возможна, особенно в системах непромышленного типа.

Трудности оценки эффективности организационных НВВ (особенно в непромышленной сфере) связаны также с тем, что большинство из них не имеет аналогов и предыстории развития, а следовательно, для них характерно отсутствие статистических данных, необходимых для проведения традиционных расчетов экономической эффективности. Кроме того, нововведения, как правило, вступают в противоречие со стремлением получить как можно больший доход в короткие сроки. В этих условиях особое внимание нужно уделять обоснованию влияния НВВ на реализацию перспективных целей предприятия, сравнительной оценке влияния на цели разных НВВ.

И наконец, следует иметь в виду, что часто НВВ, особенно организационного типа, – не одноразовые мероприятия, а носят длительный характер, причем одновременно может внедряться несколько НВВ. В связи с этим возникает необходимость управления ходом внедрения НВВ, что связано с их промежуточной оценкой и разработкой на этой основе рекомендаций о целесообразности продолжения или прекращения их экспериментального внедрения, о перераспределении выделенных на их реализацию финансовых ресурсов. Это требует не только сопоставления разных оценок между собой, но и оценок одного и того же НВВ на разных этапах его развития, а их, в свою очередь, – с аналогичными оценками других НВВ, внедряемых одновременно.

В ряде ситуаций можно применить *косвенные количественные оценки* (см.), *метод решающих матриц* (см.). Однако эти методы не всегда позволяют разработать модели оценки НВВ, адекватно отображающие реальные ситуации.

Рассмотренные особенности НВВ и трудности оценки их эффективности инициировали разработку новых методов организации сложных экспертиз, в основу которых положен *информационный подход* (см.).

При использовании информационных моделей 1-го вида (рис. 1), основанных на оценке *степени влияния* НВВ на реализацию целей предприятия (организации) в анализируемый период развития, в соответствии с теоретическими основами *информационного подхода* (см.) [1, 5, 6 и др.] для оценки каждого НВВ вводятся оценки *степени целесообразности* (см.), т.е. вероятности  $p_i'$  достижения цели и вероятности  $q_i$  использования НВВ, и вычисляется потенциал (значимость)  $H_i$  нововведения:

$$H_i = -q_i \log(1 - p_i'), \quad (1)$$

где  $p_i'$  – вероятность достижения цели при использовании нововведения;  
 $q_i$  – вероятность использования конкретного НВВ при реализации, *достижении* соответствующей подцели.

Здесь привычная шенноновская вероятность *недостижения* цели (энтропия)  $p_i$  заменяется на сопряженную  $(1 - p_i')$ .

Структура целей

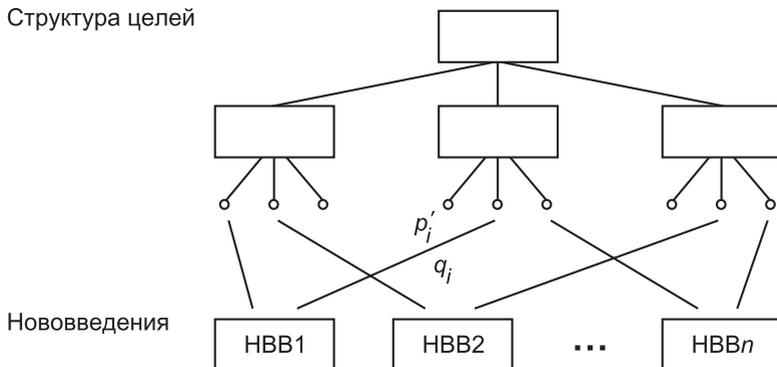


Рис. 1

Совокупное влияние нововведений определенной группы (например, объединяемых общей подцелью)

$$H = -\sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p_i'). \quad (2)$$

Используя характеристики  $p$ ,  $q$  и  $H$ , можно получить сравнительные оценки влияния НВВ и их комплексов на достижение подцелей, этих подцелей – на достижение подцелей вышестоящего уровня и т.д. до глобальной цели и, подобно методу решающих матриц, заменить трудную оценку влияния НВВ на конечную (глобальную) цель пошаговой оценкой более «мелких» неопределенностей.

Вычисление  $H_i$  на основе оценок  $p_i'$  и  $q_i$  обеспечивает предлагаемому подходу некоторые преимущества по сравнению с *методом решающих матриц* (см.) и оценками ПАТТЕРН-методики (см.): упрощается получение обобщенных оценок влияния комплексов НВВ или комплексов подцелей, так как  $H_i$ , измеряемые в битах, можно просто суммировать, а при обработке вероятностных оценок приходится применять

более сложные процедуры; появляется возможность оценивать не только степень (вероятность)  $p_i$  влияния  $i$ -го НВВ на реализацию целей, но и возможность учесть вероятность  $q_i$  использования этого НВВ в конкретных условиях в текущий период (что в ряде ситуаций может быть оценено и на основе статистических исследований).

В то же время рассмотренный способ использования информационных оценок еще не решает всех проблем сравнительной оценки НВВ в процессе их внедрения, и, кроме того, остается необходимость получения экспертных оценок  $p_i$  на текущий момент, что всегда вызывает затруднения у экспертов: им легче давать прогнозные оценки степени влияния НВВ на некоторую перспективу. Поэтому в ряде ситуаций целесообразно дополнить рассмотренный способ оценки НВВ вторым видом метода организации сложной экспертизы.

В случае использования информационных моделей 2-го вида, основанных на сравнительном анализе сложных систем в течение определенного начального периода их проектирования (внедрения, развития) путем сопоставления изменения информационных оценок во времени, можно использовать два способа измерения  $H_i$  (см. *Информационный подход к анализу систем*):

- 1) через вероятность  $p_i$  по соотношению (1);
- 2) посредством детерминированных характеристик воспринимаемой информации:

в статике в какой-то момент внедрения НВВ (принимая среднеарифметическое усреднение, т.е.  $\gamma = 1$ ):

$$H_i = J_i/n_i; \quad (3)$$

с учетом процесса внедрения НВВ и его динамики

$$H_i = J_i/n_i + \tau_i dJ_i/dt + L_i d^2J_i/dt^2, \quad (3a)$$

где применительно к данному приложению при вычислении  $J=A_i/\Delta A_i$  величина  $A_i$  может интерпретироваться как количество изделий или объем реализуемой продукции нового вида, число подразделений, внедряющих новую технику, технологию, число внедряемых единиц новой техники, число подразделений, внедряющих новые формы планирования и т.п.;  $\Delta A_i$  характеризует, с какой степенью точности нужно учитывать  $A_i$  в конкретных условиях (например, с точностью до единиц, десятков или сотен новых изделий, до тысяч или сотен тысяч рублей при оценке объема

реализуемой продукции, до единиц или десятков подразделений, внедряющих НВВ, и т.п.), т.е. с помощью  $\Delta A_i$  задаются единицы измерения, которые могут быть различными;  $n_i$  – объем понятия о НВВ, необходимый для получения потенциала  $H_i$  при выбранном  $\Delta A_i$  ( $n_i$  может интерпретироваться, например, как охват данным НВВ соответствующей подцели);  $dJ_i/dt$  – скорость внедрения НВВ (т.е. количество НВВ данного вида, внедряемое в единицу времени);  $\tau_i$  – минимальное время внедрения НВВ (с учетом выбранного  $\Delta A_i$ );  $d^2J_i/dt^2$  – ускорение, приращение скорости внедрения НВВ;  $L_i$  – характеристика ригидности системы, сопротивляемости внедрению НВВ ( $L_i$  может быть посчитана как величина, обратная отношению разности скоростей внедрения НВВ к промежутку времени между ними, т.е. она интересна в случае процесса массового внедрения НВВ).

Использование двух способов определения  $H_i$  позволяет при известном (вычисленном через  $p_i'$ )  $H_i$  и измеренном  $J_i$  вычислять

$$n_i = J_i/H_i. \quad (4)$$

Тогда, оценив прогнозную  $p_{ik}'$  на конец этапа внедрения НВВ, что специалисту сделать легче, чем давать оценки  $p_{it}$  на текущий момент при контроле хода внедрения НВВ, можно вычислить  $H_{ik}$  и  $n_i$ , а затем по оценкам значений критериев (прямых или косвенных характеристик состояния внедрения НВВ) определить  $J_{it}$  в различные моменты времени и вычислить значения

$$H_{it} = J_{it}/n_i \quad (5)$$

для этих моментов времени по всем сопоставляемым НВВ, которые затем можно суммировать, получать обобщенные оценки комплексов НВВ, вычислять относительную значимость отдельных НВВ этих комплексов, т.е. оперировать  $H$ , выраженными в универсальных относительных единицах или битах, как стоимостными оценками.

При этом если удастся ориентировочно оценить ожидаемую эффективность от внедрения НВВ в стоимостных единицах (что неизбежно делается при выделении средств для их экспериментального внедрения), то оценки  $H_{it}$  помогают распределять средства на отдельные НВВ, принимать решения о перераспределении средств в процессе внедрения НВВ с учетом хода их внедрения.

Укрупненный алгоритм реализации рассматриваемого метода организации сложной экспертизы (без учета динамики становления НВВ) приведен на рис. 2.

При оценке НВВ может быть использовано несколько критериев для каждого из них. В этом случае оценка  $H_{ik}$ , полученная с помощью прогнозной оценки  $p_{ik}'$ , делится между этими критериями пропорционально  $q_j$ , которая в данном случае может характеризовать степень влияния соответствующего критерия (показателя), с помощью которого оценивается ход внедрения НВВ, а далее для каждого из критериев определяются  $n_j$ ,  $H_{i1}$ ,  $H_{i2}$ , ... ,

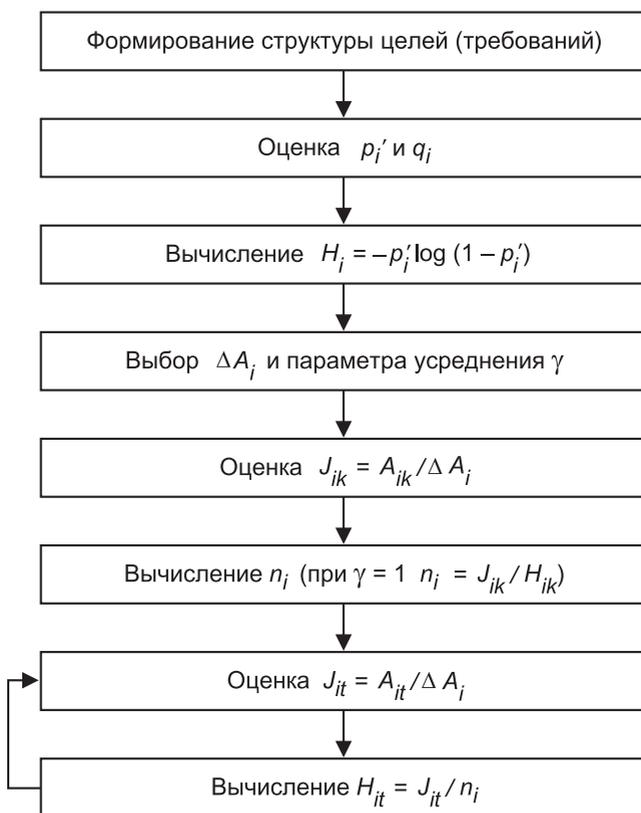


Рис. 2

$H_{ij}$ , ... , как это проиллюстрировано на рис. 3, на котором приведен пример\* оценки двух оргтехмероприятий из плана научно-технического прогресса.

Для оценки второго из них принят один критерий, а для оценки первого – два критерия, в качестве весовых коэффициентов которых использован параметр  $q_l$ , т.е.  $H_k^l = q_l H_k$ .

Из примера видно, что при учете изменения параметров  $J$  в процессе внедрения НВВ изменяются их предпочтения: первоначально относительная значимость 1-го НВВ была выше, а через какой-то период стала ниже, чем 2-го НВВ.

Таким образом, при использовании информационного подхода можно обеспечить возможность управления ходом внедрения НВВ.

В качестве нововведения можно также рассматривать товар как новый вид продукции, производимой предприятием, особенно если продукция представляет собой сложные технические изделия (в том числе вычислительную технику) или комплексы программных продуктов (например, корпоративные информационные системы разного рода). В этом случае задача может быть поставлена как маркетинговая, помогающая заказчику совместно с разработчиком выбрать желаемую конфигурацию технического изделия или комплектацию программного продукта.

Рассмотренный подход может быть также применен при управлении проектами сложной техники (см. примеры в [1–4, 7]).

***Применение методов организации сложных экспертиз при формировании портфеля заказов в НПО\*\*.*** При постановке задачи выбора проектов для заключения договоров и при разработке технического задания необходимо иметь возможность оценивать варианты проектов как в отношении их технических характеристик, так и по экономической эффективности, т.е. возможности реализации с наименьшими затратами, использования результатов выполнения почти каждого проекта. Поэтому задача выбора проектов поставлена с учетом не только требований заказчиков, но и возможностей научно-производственного объединения (НПО), максимального использования результатов НИОКР, проведенных ранее в НПО.

Указанный выбор проектов может рассматриваться как задача формирования портфеля заказов НПО с учетом потребностей

---

\* Пример подготовлен студенткой Е.И. Черник в 1989 г.

\*\* Пример подготовлен аспиранткой Н.С. Ветровой (Сотник) в 2002 г.

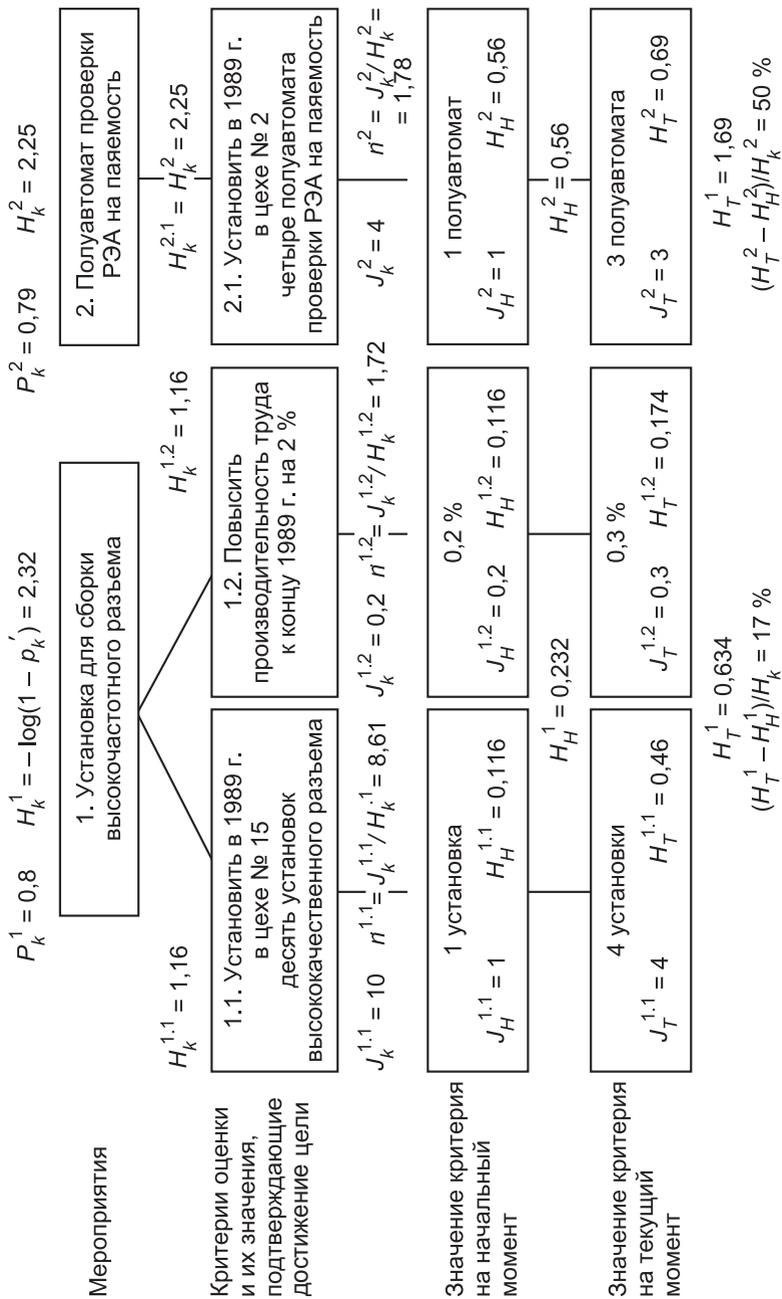


Рис. 3

заказчика и максимизации дохода на основе использования компонент  $K = \{k_{ic}\}$ , на разработке которых ранее специализировалось НПО.

В формализованном виде основную идею постановки задачи можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_{j=1}^n (q_j - \sum_{i=1}^m b_{ij}x_i) \Rightarrow \max, \\
 x_i &= \begin{cases} 0 & \text{при } i \in K \\ 1 & \text{при } i \notin K \end{cases} \\
 \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}x_i &\leq B, \quad i = 2, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m, \\
 0 < j \leq K, \quad q_j > 0, \quad b_{ij} > 0,
 \end{aligned} \tag{6}$$

где  $q_j$  – ожидаемая прибыль в случае успешной реализации проекта;

$b_{ij}$  – затраты на реализацию  $i$ -й компоненты  $j$ -го проекта;

$n$  – число анализируемых проектов;

$m$  – число компонент, входящих в проекты;

$B$  – общие допустимые затраты;

$K$  – компоненты проектов, на разработке которых ранее специализировалось НПО.

Решение задачи в такой постановке строго формальными методами затруднено. Кроме того, даже и здесь не удалось учесть тот факт, что результаты НИОКР или готовые проекты отдельных компонент могут в различной степени использоваться в предлагаемом проекте. Учет вероятности использования готовых компонент или результатов НИОКР в целевой функции в принципе возможен:

$$F = \left[ \sum_{j=1}^n q_j - \sum_{i=1}^m p_j(x_j)b_{ij}x_i \right] \Rightarrow \max.$$

Такая постановка в еще большей мере усложняет решение задачи формальными методами. И, кроме того, степень возможности использования «заделов» следует согласовывать с заказчиком, чего не может обеспечить модель математического программирования.

В то же время для решения рассматриваемой задачи недостаточно применять традиционно используемые в таких случаях экспертные методы, поскольку даже в случае применения нескольких критериев с весовыми коэффициентами трудно гарантировать достоверность экспертной оценки сложных технических комплексов.

Желательно получить такую модель или совокупность моделей, которые позволят обеспечить возможность участия в проведении экспертизы не только лиц, принимающих решение о формировании портфеля заказов, но и подразделений-исполнителей, а также заказчиков.

Поэтому для решения описываемой задачи следует использовать идеи методов организации сложных экспертиз, которые позволяют расчленивать большую начальную неопределенность на более обозримые части, лучше поддающиеся оценке экспертов, и обеспечивают возможность выделения сфер компетентности для специалистов, заказчиков и исполнителей, привлекаемых к проведению экспертизы. Для этого разработана модель организации сложной экспертизы, базирующаяся на информационном подходе.

Часть характеристик можно оценить количественно, но ряд критериев не поддается количественной оценке. Кроме того, количественные критерии оценки, как правило, разнородны, и возникает проблема сопоставимости критериев или получения обобщенной оценки. В результате возникает необходимость создания моделей для организации сложной экспертизы проектов с учетом качественных и количественных оценок.

На рис. 4 показаны возможные варианты реализации проектов из компонент, на разработке которых специализировалось НПО (нижняя часть рисунка), и направления влияния различных проектов на выполнение требований заказчика. Здесь ИП – измерительный прибор; ПП – приемо-передатчик; ГД – гребной двигатель; ИПН – измерительный прибор наземный; ИПБ – измерительный прибор бортовой; МЭП – магнитоэлектрический ИП; ПО – программное обеспечение; ППБ – приемо-передатчик бортовой; ППН – приемо-передатчик наземный; ППО – прикладное ПО; ППП – пакет прикладных программ; СПО – системное ПО; СД – сенсорные датчики; ЭМП – электромеханические приборы; ЭСП – электростатические приборы; ЭДП – электродинамические приборы.

Основу подхода к оценке комплексной эффективности составляет получение соотношения «результаты/затраты» с использованием информационных оценок. Для оценки результатов используются количественные и качественные критерии.

При оценке результатов (полезности выбора проекта для НПО) по качественным критериям определяется влияние  $i$ -й компоненты проекта (или их совокупности) на его реализацию и в

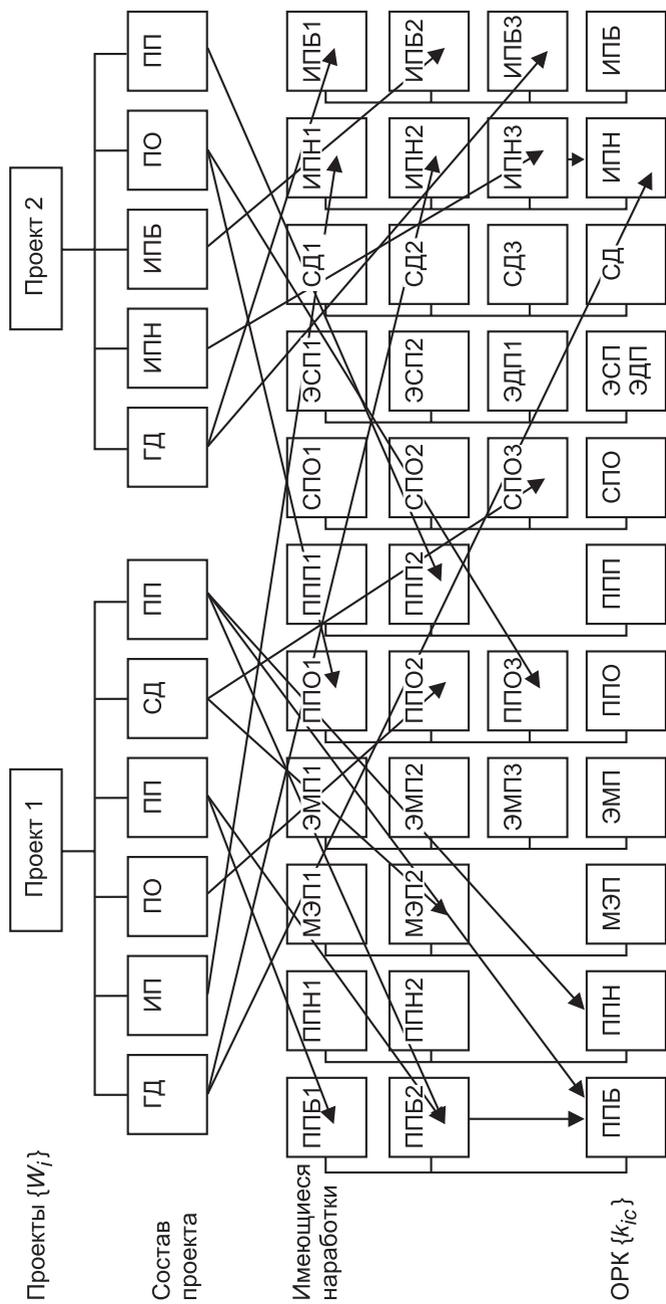


Рис. 4

соответствии с информационным подходом для удобства дальнейшей обработки формируют оценку потенциала  $H_{ri}$  соответствующей компоненты проекта:

$$H_{ri} = -q_i \log(1 - p_i'),$$

где  $p_i'$  – степень влияния  $i$ -й компоненты проекта на достижение целей (требований) заказчика;

$q_i$  – вероятность выбора этой компоненты.

В суммарную оценку результатов  $\Sigma H_{ri}$  включаются: оценки вариант проекта, полученные на основе степени влияния компонент на реализацию проекта (качественные критерии), и оценки компонент, влияющих на технические характеристики проекта, приведенные к информационным посредством вычисления относительных оценок  $p_{ri}$ , а также степень влияния готовых компонент (накопленного опыта проектирования соответствующей компоненты) на реализацию проекта.

Для оценки затрат  $H_{zi}$  наряду со стоимостными единицами измерения могут использоваться натуральные (например, трудоемкость разработки той или иной компоненты проекта, материальные затраты и т.п.). При вычислении суммарной оценки затрат на проект учитывается снижение затрат за счет использования готовых компонент (или опыта их разработки). Эти оценки (как стоимостные, так и выраженные в натуральных единицах) затем переводятся в относительные  $p_{zi}$ , на основе которых определяются  $H_{zi}$ , сопоставимые с суммарными оценками результатов  $\Sigma H_{ri}$ .

Таким образом, эффективность каждого варианта проекта сложного технического изделия или комплекса изделий равна  $\mathcal{E}_{vi} = \Sigma H_{ri} / \Sigma H_{zi}$ .

Можно учесть количество вариантов компонент, входящих в разрабатываемые проекты, что отражается в оценках введением  $J_i$ . Тогда эффективность  $\mathcal{E}_i = C_{ri} / C_{zi}$ , где  $C_{ri} = \Sigma J_i H_{ri}$  есть обобщенная оценка результатов от внедрения компонент  $i$ -й группы  $i$ ,  $C_{zi} = \Sigma J_i H_{zi}$  – оценка затрат на их внедрение.

Для более тщательной экспертизы можно проводить сравнительный анализ с учетом процесса внедрения проектов на начальном этапе их разработки и с учетом взаимного влияния проектов в ходе их выполнения.

**Информационная модель маркетинга изделий сложной техники и оборудования\***. При решении вопроса о целесообразности разработки проектов изделий сложной техники и оборудования (ИСТиО), в том числе таких изделий, как станки с числовым программным управлением (ЧПУ), гибкие автоматические линии (ГАЛ) и т.п., можно провести оценку их значимости и конкурентоспособности на рынке ИСТиО. Для решения этой проблемы нужна методика выбора проекта ИСТиО, в которой наряду с оценкой окупаемости, коммерческой и бюджетной эффективности учитываются интересы предприятия-заказчика, интересы индивидуальных заказчиков, гибкость проекта, предусматривается анализ состояния рынка.

Для анализа сегментов рынка с учетом взаимного влияния изделий сложной техники могут быть использованы информационные модели [1, 5, 6], базирующиеся на оценке значимости  $H$  (ценности, «цены», но не в стоимостном, а в информационном смысле) товара и на более полной оценке, учитывающей количество ИСТиО на рынке – оценке содержания рынка  $C = J \times H$ , где  $J$  – информация о количестве ИСТиО на рынке, измеряемая в относительных единицах, т.е.  $J_i = A_i / \Delta A_i$ , где  $\Delta A_i$  – минимальное количество ИСТиО  $i$ -го вида, интересующее покупателя, которое определяет единицу измерения  $A_i$ ;  $H_i = J_i / n_i$ , где  $n_i$  – объем поставок по  $i$ -му виду ИСТиО.

Рыночная ситуация без учета количества ИСТиО на рынке в конкретный момент может быть описана совокупностью зависимостей типа  $H_i = f(H_{ii}, H_{ij}, \dots)$ , отражающей взаимосвязь и взаимозависимость всех элементов информационной модели:

$$\begin{aligned} H_{n1} &= f(H_{11}, H_{12}, H_{13}), \\ H_{n2} &= f(H_{21}, H_{22}, H_{23}), \\ H_{n3} &= f(H_{31}, H_{32}, H_{33}). \end{aligned} \quad (7)$$

Для данного приложения составляющие модели могут быть интерпретированы следующим образом:  $H_i$  – значимость (сущность)  $i$ -го ИСТиО на рынке (пространстве их возможного сбыта), т.е. ценность («цена») этих проектов;  $H_{ii}$  – собственная значимость (ценность)  $i$ -го ИСТиО при отсутствии на рынке других

---

\* Пример подготовлен аспиранткой М.С. Соколовой в 1997 г. Использован ее термин – ИСТиО, но подход пригоден для любых сложных технических комплексов (СТК).

изделий сложной техники, влияющих на их ценность;  $H_{ij}$  – изменение ценности  $i$ -го изделия сложной техники при наличии на рынке  $j$ -го изделия сложной техники.

В модели можно принимать разные усреднения. Выбрав простейшее из них (см. *Информационный подход к анализу систем*), т.е. при  $\gamma = 1$ , имеем:

$$\begin{aligned} H_1 &= J_1/n_{11} \pm J_2/n_{12} \pm J_3/n_{13} \pm \dots; \\ H_2 &= J_1/n_{21} \pm J_2/n_{22} \pm J_3/n_{23} \pm \dots; \\ H_3 &= J_1/n_{31} \pm J_2/n_{32} \pm J_3/n_{33} \pm \dots \end{aligned} \quad (8)$$

Можно получить и более развернутую информационную модель с учетом кинематики и динамики рынка:

$$\begin{aligned} H_1 &= J_1/n_{11} \pm J_2/n_{12} \pm \dots \pm \tau_{11} dJ_1/dt \pm \tau_{12} dJ_2/dt \pm \\ &\quad \pm L_{11} d^2 J_1/dt^2 \pm L_{12} d^2 J_2/dt^2 \pm \dots, \\ H_2 &= J_1/n_{21} \pm J_2/n_{22} \pm \dots \pm \tau_{21} dJ_1/dt \pm \\ &\quad \pm \tau_{22} dJ_2/dt \pm L_{21} d^2 J_1/dt^2 \pm L_{22} d^2 J_2/dt^2 \pm \dots, \\ H_i &= J_i/n_{ii} \pm J_j/n_{ij} \pm \dots \pm \tau_{ii} dJ_i/dt \pm \tau_{ij} dJ_j/dt \pm \\ &\quad \pm L_{ii} d^2 J_i/dt^2 \pm L_{ij} d^2 J_j/dt^2 \pm \dots, \\ &\dots \\ H_m &= J_1/n_{m1} \pm J_2/n_{m2} \pm \dots \pm J_m/n_{mm} \pm \tau_{m1} dJ_1/dt \pm \\ &\quad \pm \tau_{m2} dJ_2/dt \pm \dots \pm \tau_{mm} dJ_m/dt \pm \\ &\quad \pm L_{m1} d^2 J_1/dt^2 \pm L_{m2} d^2 J_2/dt^2 \pm \dots \pm L_{mm} d^2 J_m/dt^2. \end{aligned} \quad (9)$$

В модели можно учесть и количество изделий на рынке ИСТиО:

$$\begin{aligned} C_1 &= J_1^2/n_{11} \pm J_1 J_2/n_{12} \pm \dots \pm \tau_{11} J_1' dJ_1/dt \pm \\ &\quad \pm \tau_{12} J_1' dJ_2/dt \pm L_{11} J_1'' d^2 J_1/dt^2 \pm L_{12} J_1'' d^2 J_2/dt^2 \pm \dots, \\ C_2 &= J_2 J_1/n_{21} \pm J_2^2/n_{22} \pm \dots \pm \tau_{21} J_2' dJ_1/dt \pm \tau_{22} J_2' dJ_2/dt \pm \\ &\quad \pm L_{21} J_2'' d^2 J_1/dt^2 \pm L_{22} J_2'' d^2 J_2/dt^2 \pm \dots, \\ &\dots \end{aligned}$$

$$C_i = J_i^2 / n_{ii} \pm J_j J_j / n_{ij} \pm \dots \pm \tau_{ii} J_i' dJ_i / dt \pm \tau_{ij} J_i' dJ_j / dt \pm$$

$$\pm L_{ii} J_i'' d^2 J_i / dt^2 \pm L_{ij} J_i'' d^2 J_j / dt^2 \pm, \dots,$$

...

(10)

$$C_m = J_m J_1 / n_{m1} \pm J_m J_2 / n_{m2} \pm \dots \pm J_m^2 / n_{mm} \pm \tau_{m1} J_m' dJ_1 dt \pm$$

$$\pm \tau_{m2} J_m' dJ_2 / dt \pm \dots$$

$$\pm t_{mm} J_m' dJ_m / dt \pm L_{m1} J_m'' d^2 J_1 / dt^2 \pm L_{m2} J_m'' d^2 J_2 / dt^2 \pm$$

$$\dots \pm L_{mm} d^2 J_m / dt^2,$$

где  $J_1, J_2, \dots, J_i, \dots$  – информация об объеме ИСТиО  $i$ -го вида на рынке, измеряемая в относительных единицах с учетом минимально интересующего ЛПР объема ИСТиО  $\Delta A_i$ , т.е.  $J_i = A_i / \Delta A_i$  (это необходимо для совмещения в одной модели ИСТиО различного вида, измеряемых в различных единицах и с разной точностью: до единиц, десятков, сотен, тысяч и т.п.;  $\Delta A_i$  определяет единицу измерения и выбирается ЛПР);

- $n_{ii}$  – объем поставок ИСТиО соответствующего вида;
- $n_{ij}$  – объем поставок ИСТиО  $i$ -го вида при наличии на рынке ИСТиО  $j$ -го вида;
- $J_i', J_i''$  – отражают динамику изменения  $J_i$  для ИСТиО  $i$ -го вида;
- $\tau_{ii}$  – минимальное время реакции рынка на новый вид ИСТиО при отсутствии изменений спроса на иные ИСТиО;
- $\tau_{ij}$  – то же при наличии изменений спроса на единицу продукции  $j$ -го вида;
- $L_{ii}$  – квадрат минимального времени изменения спроса на единицу продукции  $i$ -го вида;
- $L_{ij}$  – то же при наличии изменений спроса на продукцию  $j$ -го вида;
- $dJ_i / dt$  и  $d^2 J_i / dt^2$  – скорость и ускорение изменения соответствующих  $C_\tau$  и  $C_L$ .

Рассмотренная модель позволяет исследовать значимость исследуемого изделия на рынке по сравнению с аналогичными или заменяющими его.

С помощью модели вначале оценивается  $J_i$  с учетом выбора  $\Delta A_i$  и  $n_{ii}$  при выполнении условия  $\Sigma n_{ij}$ . Затем оценивается взаимное влияние посредством расширения объема рынка  $n_{ij}$ ; при этом

$n_{ij}$  добавляется к  $n_{ii}$ , а знак «+» или «-» в (8) – (10) зависит от того, является ли  $j$ -й вид ИСТиО дополнительным к  $j$ -му, т.е. сопутствующим товаром или, напротив, конкурирующим.

**Модель организации сложной экспертизы для управления проектами сложных технических комплексов** \*. При проектировании сложных технических комплексов, таких, например, как информационно-управляющие системы (ИУС), ГАЛ, корпоративные информационные системы (КИС) и т.п., возникают проблемы выбора их конфигурации и комплектации с учетом конкретных условий применения, а также выбора очередности проектирования их компонентов. При разработке и реализации проекта возникают проблемы сравнительного анализа его вариантов, корректировки выбранного из них в процессе его реализации.

Эти проблемы связаны с необходимостью оценки эффективности вариантов реализации ИУС, ГАЛ и других сложных технических комплексов (СТК). При этом поскольку в современных условиях научно-технического прогресса существенно сократился жизненный цикл СТК, желательно предусмотреть возможность оценки не только на этапе разработки технического задания, но и в процессе технического проектирования.

При заключении договора на проектирование и при разработке технического задания необходимо прежде всего предоставить заказчику и разработчику возможность оценивать варианты проекта как исходя из их технических характеристик, так и в отношении экономической эффективности, т.е. возможности реализации с наименьшими затратами.

Часть характеристик СТК можно оценить количественно, но ряд критериев не поддается количественной оценке, т.е. требует качественной экспертной оценки. Кроме того, количественные критерии оценки, как правило, разнородны, и возникает проблема сопоставимости критериев или получения обобщенной оценки.

В результате возникает необходимость создания системы организации сложной экспертизы проектов технических комплексов, основанной на использовании *методов структуризации*, позволяющих расчленив большую начальную неопределенность на более обозримые части, и *информационного подхода*, который позволяет получать оценки степени влияния проекта или его компонент на реализацию требований заказчика и приводить раз-

---

\* Модель разработана в 1997 г. аспиранткой С.В. Широковой [7].

нородные критерии (количественные и качественные) к единым информационным единицам, что помогает сопоставлять их или получать обобщенные оценки для сравнительного анализа.

На рис. 5 приведен пример, иллюстрирующий организацию оценки вариантов ИУС с учетом требований заказчика (верхняя часть рисунка) и возможностей НПО, разрабатывающего ИУС; показаны возможные варианты реализации ИУС из компонент, на разработке которых специализировалось НПО (нижняя часть рисунка), и направления влияния различных конфигураций ИУС на выполнение требований заказчика.

Приняты следующие обозначения: АИП – аналоговый измерительный прибор; ГС – графическая станция; ИП – измерительный прибор; ИПН – измерительный прибор наземный; ИПБ – измерительный прибор бортовой; ИУС – информационно-управляющая система; К – компенсаторы; КОР – коррелометры; МЭЦ – магнитоэлектрический ИП; ПИВИ – прибор для измерения временных интервалов; ПО – программное обеспечение; ППБ – прямо-передатчик бортовой; ППО – прикладное ПО; СПО – системное ПО; СД – сенсорные датчики; УВМ – управляющая вычислительная машина; ЦИП – цифровой измерительный прибор; ЭМП – электромеханические приборы; ЭСП – электростатические приборы; ЭДП – электродинамические приборы.

Основу подхода к оценке комплексной эффективности составляет получение соотношения «результаты/затраты» с использованием *информационных оценок*.

Для оценки могут использоваться такие приведенные в верхней части рис. 5 количественные критерии, как погрешность средств измерений (ИП), вес блока (ВБ), габариты (ГБ), трудоемкость разработки (Тр), стоимость (Ст) и т.п. Но важными являются качественные характеристики, которые могут быть оценены количественно лишь частично (в том числе путем стендовых испытаний), такие, как надежность в изменяющихся условиях (НУ), стабильность характеристик при перегрузках (СП) и т.п. Немаловажными критериями для производителя при выборе заказа являются возможность реализации (ВР) на данный момент, конструктивная однородность компонент изделий (КОИ) и т.п.

При оценке по качественным критериям определяется степень  $p_i'$  влияния  $i$ -го варианта проекта или вхождения  $i$ -й компоненты СТК (или их совокупности) на реализацию ИУС, которые в соответствии с информационным подходом для удобства дальнейшей обработки преобразуются согласно (1) в оценку потенциала соответствующего варианта проекта или соответствующей компоненты СТК:

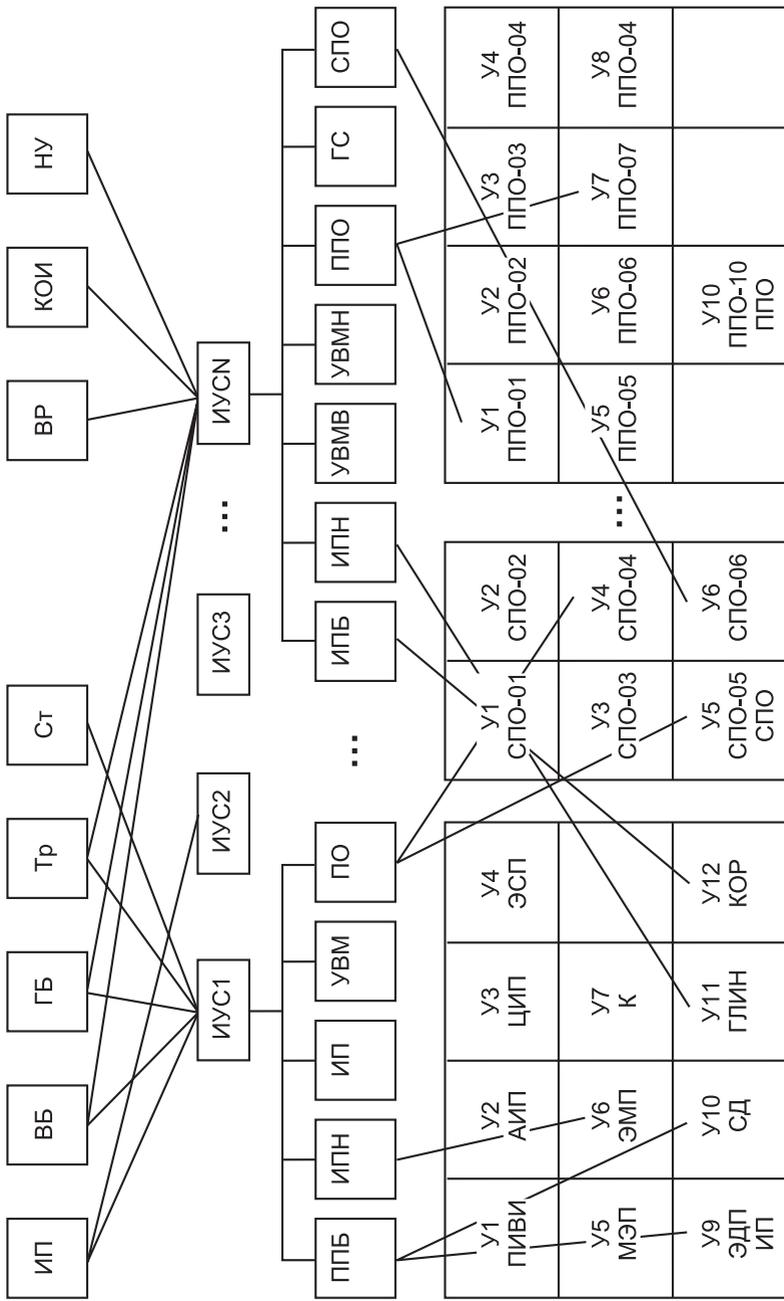


Рис. 5

$$H_{ri} = -q_i \log(1 - p_i'),$$

где  $p_i'$  – степень влияния  $i$ -го варианта ИУС на достижение целей (требований) заказчика;

$q_i$  – вероятность выбора этого варианта.

В суммарную оценку результатов  $\Sigma H_{ri}$  включаются как оценки варианта ИУС, полученные исходя из степени влияния их на реализацию качественных критериев, так и технические характеристики ИУС, приведенные к информационным посредством вычисления относительных оценок  $p_{xi}$ .

Для оценки *затрат* наряду со стоимостными могут использоваться натуральные единицы измерения (например, трудоемкость разработки той или иной компоненты СТК, материальные затраты и т.п.), которые затем переводятся в относительные  $p_{zi}$  и  $H_{zi}$ , сопоставимые с оценками результатов  $\Sigma H_{ri}$ .

Таким образом, эффективность каждого варианта проекта СТК составляет:  $\mathcal{E}_{bi} = \Sigma H_{ri} / \Sigma H_{zi}$ .

Для более полной оценки результатов и затрат может учитываться число вариантов разрабатываемых СТК, число опросов экспертов, число модификаций технических и программных средств СТК, объединенных в оцениваемую группу средств, и т.п., что отражается в оценках введением  $J_i$ , и обобщенная оценка результатов от внедрения  $i$ -й группы средств  $C_{ri} = \Sigma J_i H_{ri}$ , а оценка затрат на их внедрение  $C_{zi} = \Sigma J_i H_{zi}$ . Тогда в структуре СТК эффективность каждой группы программных и технических средств  $\mathcal{E}_i = C_{ri} / C_{zi}$ .

Оценки  $H_{ri}$  могут уточняться с учетом степени влияния  $k$ -го отдельного средства, входящего в состав группы компонент СТК.

Пример алгоритма для определения эффективности СТК с применением рассматриваемого подхода приведен на рис. 6.

Рассмотренный метод организации сложной экспертизы имеет ряд преимуществ по сравнению с методом решающих матриц и процедурами оценки в методике ПАТТЕРН.

Упрощается получение обобщенных оценок влияния СТК или их компонентов на реализацию подцелей, так как  $H_i$ , измеряемые в битах, можно просто суммировать (а при обработке вероятностных оценок в других методах приходится применять более сложные процедуры); можно учесть не только  $p_i'$ , но и  $q_i$ .

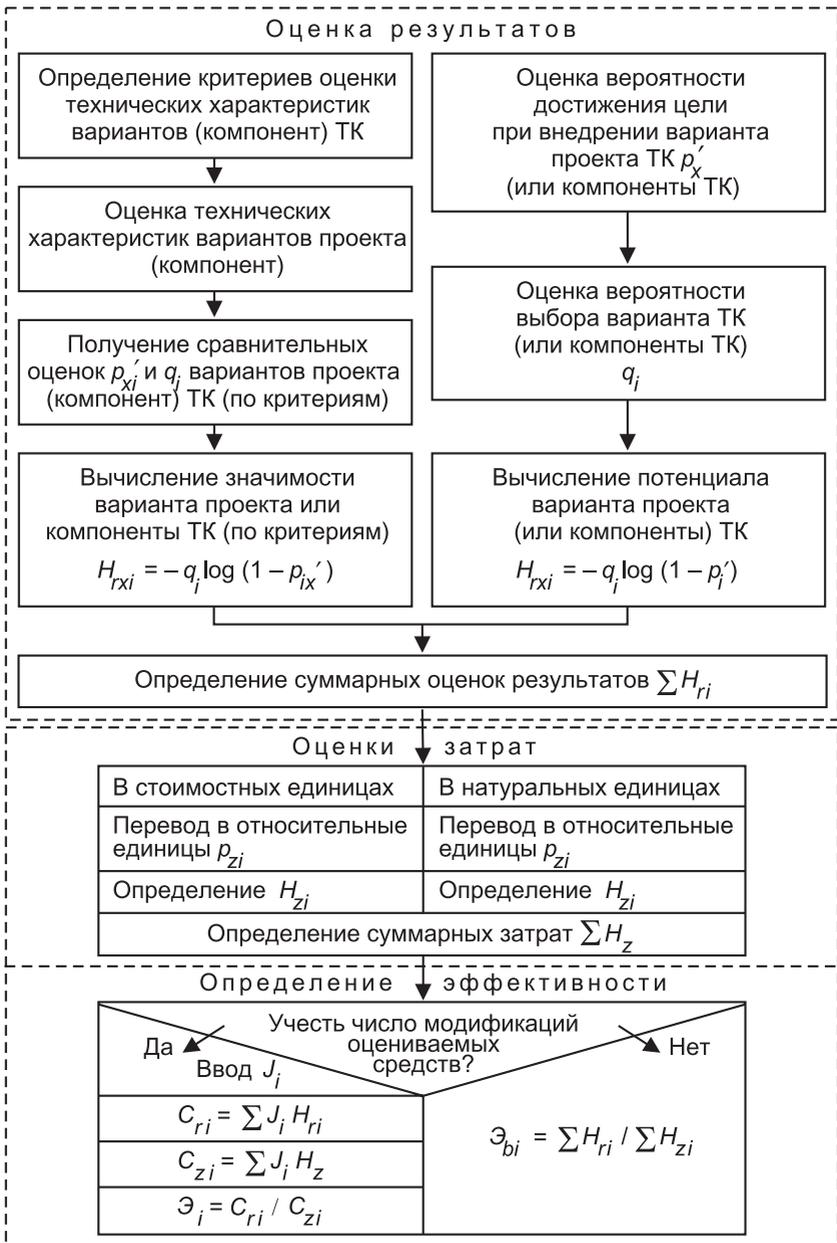


Рис. 6

В то же время такой способ использования информационных оценок еще не решает всех проблем сравнительной оценки СТК в процессе их проектирования и внедрения и, кроме того, остается необходимость получения экспертных оценок  $p_i$  на текущий момент, что всегда вызывает затруднения у экспертов – им легче давать прогнозные оценки степени влияния СТК или их компонентов на некоторую перспективу. Тогда используются два способа измерения  $H_i$  – через вероятность  $p_i'$  (1) и посредством характеристик воспринимаемой информации: а) в статике в какой-то момент проектирования СТК в соответствии с (3)  $H_i = J_i/n_i$ ; б) с учетом процесса внедрения НВВ и его динамики в соответствии с (3а):  $H_i = J_i / n_i + \tau_i dJ_i / dt + L_i d^2J_i / dt^2$ .

Применительно к данному примеру при вычислении  $J = A_i / \Delta A_i$  параметр  $A_i$  может интерпретироваться как значения критериев, приведенных в верхней части рис. 5.

Значения критериев (в том числе и некоторых количественных) могут изменяться в процессе первого этапа выбора конфигурации изделия, комплектаций и т.п., появления новой информации в процессе стендовых испытаний и т.д.

Эти изменения отражаются с помощью параметров информационной модели:

$n_i$  – объем влияния  $i$ -го критерия на оценку потенциала  $H_i$  при выбранном  $\Delta A_i$  (т.е. вклад данного критерия в реализацию требований заказчика);  $n_i$  вычисляется следующим образом: на основе экспертной оценки  $p_i$  степени влияния  $i$ -го критерия на реализацию требований заказчика определяется  $H_i$  и при известном  $J_i$  можно вычислить  $n_i = J_i / H_i$ ;

$dJ_i / dt$  – скорость изменения значения критерия в процессе корректировки  $i$ -го варианта проекта;

$\tau_i$  – минимальное время изменения критерия (с учетом выбранного  $\Delta A_i$ );

$d^2J_i / dt^2$  – ускорение (приращение скорости) изменения критерия;

$L_i$  – ригидность системы (сопротивляемость изменению критерия), характеризующая стабильность значения критерия, что в ряде случаев является важной характеристикой изделия.

Использование двух способов определения  $H_i$  позволяет, оценив прогнозную  $p_{ik}'$  на конец предварительного этапа отработки варианта проекта СТК, вычислить  $H_{ik}$  и  $n_i = J_i / H_i$ , а затем по изменению значений критериев определить  $J_{it}$  в различные моменты времени и вычислить значения  $H_{it} = J_{it} / n_i$  на текущий момент по всем учитываемым критериям, которые затем можно суммировать, получать обобщенные оценки СТК, вычислять относительную значимость вариантов проекта СТК.

В дополнение к рассмотренным оценкам для ранжирования критериев можно применить модели, учитывающие взаимное влияние проектов СТК в процессе их реализации. Тогда методика оценки проектов СТК в процессе их разработки и реализации будет включать несколько моделей организации сложных экспертиз, разработанных на основе информационных оценок.

Рассмотренные модели оценки проектов СТК в процессе их разработки и реализации являются основой создания автоматизированного рабочего места (АРМ) для управления проектированием сложных технических комплексов.

Отметим, что в вероятностной оценке  $p_i'$  отражается только контролируемый эффект, который можно учесть с помощью критериев и которым можно управлять. Если при этом удастся ориентировочно оценить ожидаемую эффективность от внедрения НВВ в стоимостных единицах (что неизбежно при выделении средств для их экспериментального внедрения), то оценки  $H_{ii}$  помогают распределять средства на отдельные компоненты СТК, принимать решения о перераспределении средств в процессе внедрения СТК с учетом хода их внедрения и соответственно о корректировке проекта СТК в целом.

Более подробно рассмотренный подход изложен в [7].

Методы организации сложных экспертиз на основе использования информационных оценок имеют ряд преимуществ по сравнению с методом решающих матриц. Эти методы:

облегчают вычисление обобщенной оценки (при преобразовании оценки  $p_i$  в  $H_i$  она получается простым суммированием);

обеспечивают возможность учесть не только степень (вероятность)  $p_i$  влияния  $i$ -й компоненты проекта, НВВ и т.п. на реализацию целей (требований к проекту), но и вероятности  $q_i$  использования этого компонента или НВВ в конкретных условиях;

требуют от эксперта дать оценку степени целесообразности не на текущий момент, а прогнозную оценку  $p_{jk}'$  (что эксперт может сделать более объективно);

позволяют поставить в соответствие оценке  $p_j$  некоторые привычные для управленческих работников показатели (в форме  $J_{ji}$ ) и оценить с их помощью долю управляемого эффекта;

позволяют организовать управление экспериментальным внедрением одновременно нескольких нововведений, оценивая изменения их вклада в реализацию целей во времени и с учетом динамики внедрения НВВ, хода развития проекта.

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 130–145.
  - 2. Волкова В. Н. Методы организации сложных экспертиз: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998.
  - 3. Волкова В. Н. Применение системного анализа при управлении созданием и развитием предприятий и организаций: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.В. Кукушкин, С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002.
  - 4. Волкова В. Н. Применение методов и моделей системного анализа при управлении проектами: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002.
  - 5. Литвак Б. Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. / Б.Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1982.
  - 6. Лопухин М.М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971.
  - 7. Широкова С.В. Разработка информационных моделей системного анализа проектов сложных технических комплексов: метод. указания / С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998.
- В.Н. Волкова, А.А. Денисов, С.В. Широкова*

**МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМ (МФПС)** – класс методов, выделенный в классификации методов моделирования систем (см.). Термин МФПС предложен в [5].

В математике непрерывно возникают новые области и математические теории, отмирают или вливаются в другие устаревающие разделы. Исследованием структуры (или, как принято говорить, архитектуры) математики занимаются многие ученые (см., например, [2, 7, 8, 10, 11, 12, 14 и др.]).

Несмотря на то, что в практике моделирования широко используются *теория множеств* (см. *Теоретико-множественные представления*), *математическая логика* (см.), *математическая лингвистика* (см.) и другие направления современной математики, до сих пор еще не все ученые-математики склонны включать в число математических некоторые из этих направлений. Благодаря работам французских ученых (опубликовавших свои работы под псевдонимом Н. Бурбаки [3]) теорию множеств и математическую логику стали признавать разделами математики, а математическую лингвистику и семиотику часто еще не относят к математике. Поэтому чтобы не обсуждать различные точки зрения (которые постепенно изменяются, развиваются), вместо термина «математические методы» удобнее применять предложенный в [5] термин «методы формализованного представления систем».

**Классификации методов формализованного представления систем.** В большинстве первоначально применявшихся при исследовании систем классификаций выделяли *детерминированные* и *вероятностные* (статистические) методы или классы моделей, которые сформировались в конце прошлого столетия. Затем появились классификации, в которых в самостоятельные классы выделились *теоретико-множественные представления, графы, математическая логика* и некоторые новые разделы математики. Например, в классификации современного математического аппарата инженера В.П. Сигорского [11] выделены *множества, матрицы, графы, логика, вероятности*.

В одной из первых классификаций, предложенных специально для целей системных исследований академиком А.И. Кухтенко [9], наряду с выделением таких уровней математического абстрагирования, как *общеалгебраический, теоретико-множественный, логико-лингвистический*, предлагается рассматривать *информационный* и *эвристический* уровни изучения сложных систем.

Имеются и другие классификации (см., например, [13]).

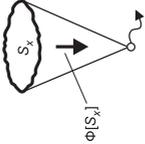
Далее кратко характеризуется классификация Ф.Е. Темникова, предложенная в [5], в которой выделяются следующие обобщенные группы (классы) методов (табл. 1):

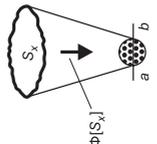
*аналитические* (см.), к которым в рассматриваемой классификации отнесены методы классической математики, включая интегро-дифференциальное исчисление, методы поиска экстремумов функций, вариационное исчисление и т.п.; методы математического программирования; первые работы по теории игр и т.п.;

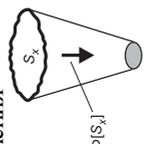
*статистические* (см.), включающие и теоретические разделы математики – теорию вероятностей, математическую статистику и направления прикладной математики, использующие стохастические представления – теорию массового обслуживания, методы статистических испытаний (основанные на методе Монте-Карло), методы выдвижения и проверки статистических гипотез А. Вальда и другие методы статистического имитационного моделирования);

*теоретико-множественные* (см.), *логические* (см. *Математическая логика*), *лингвистические* (см. *Математическая лингвистика*), *семиотические* представления (методы *дискретной математики*), составляющие теоретическую основу разработки языков моделирования, автоматизации проектирования, информационно-поисковых языков;

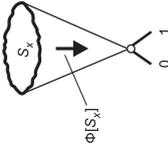
Таблица 1

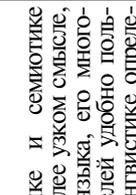
<p>Класс методов и символический образ</p>	<p>Аналитические</p>  <p>The diagram shows an oval labeled <math>S_x</math> with an arrow pointing to a point labeled <math>\phi(S_x)</math>.</p>	<p>Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов</p>	<p><i>Аналитическими</i> здесь названы методы, которые ряд свойств многомерной, многосвязной системы отображают в <math>n</math>-мерном пространстве в виде одной единственной точки (безразмерной в строгих математических доказательствах), совершающей какое-либо перемещение в пространстве (или обладающей каким-то поведением). Это отображение осуществляется посредством оператора (функции, функционала) <math>\Phi[S_x]</math>. Можно также две (или более) системы или их части отобразить точками и рассматривать взаимодействие этих точек. Поведение точек, их взаимное действие описываются строгими соотношениями, имеющими силу закона.</p> <p>Основу понятийного (терминологического) аппарата этих представлений составляют понятия классической математики (<i>величина, формула, функция, уравнение, система уравнений, логарифм, дифференциал, интеграл</i> и т. д.).</p> <p>На базе аналитических представлений возникли и развиваются математические теории различной сложности – от аппарата классического <i>математического анализа</i> (методы исследования функций, их вид, способы представления, поиск экстремумов функций и т. п.) до таких новых разделов современной математики, как <i>математическое программирование</i> (линейное, нелинейное, динамическое и т. п.), <i>теория игр</i> (матричные игры с чистыми стратегиями, дифференциальные игры и т. п.).</p>	<p>Сферы и возможности применения</p>	<p>Применяются в тех случаях, когда свойства системы можно отобразить с помощью детерминирования величин или зависимостей, т.е. когда <i>знание о процессах и событиях в некотором интервале времени позволяют полностью определить поведение их вне данного интервала</i>. Эти методы используются при решении задач движения и деления работ и ресурсов, выбора наилучшего пути, оптимальной стратегии поведения, в том числе в конфликтных ситуациях и т. п.</p> <p>Математические теории, развивающиеся на базе аналитических представлений, стали основой многих прикладных направлений, в том числе теории автоматического управления, теории оптимальных решений и т. д.</p> <p>При практическом применении аналитических представлений для отображения сложных систем следует иметь в виду, что они требуют установления всех детерминированных связей между учаваемыми компонентами и целями системы в виде аналитических зависимостей.</p> <p>Для сложных многокомпонентных, многокритериальных систем получить аналитические зависимости крайне трудно. Более того, даже если это и удается, то практически невозможно доказать правомерность применения таких выражений, т.е. адекватность модели рассматриваемой задаче.</p>
--	--	--	--	---------------------------------------	---

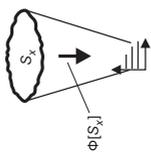
<p>Класс методов и символический образ</p>	<p>Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов</p>	<p>Сферы и возможности применения</p>
<p>Статистические</p> 	<p>Статистическим называют отображение системы с помощью случайных (стохастических) событий, процессов, которые описываются вероятностными характеристиками и статистическими закономерностями.</p> <p>Статистические отображения системы можно представить (см. <i>Символический образ</i>) как бы в виде «размытой» точки (размытой области) в <math>n</math>-мерном пространстве, в которую переводит систему (ее учитываемые в модели свойства) оператор <math>\Phi\{S_x\}</math>. «Размытую» точку следует понимать как некоторую область, характеризующую движение системы (ее поведение); при этом границы области заданы с некоторой вероятностью <math>p</math> (под вероятностью события понимается <math>p(A) = m/n</math>, где <math>m</math> – число появлений события <math>A</math>, <math>n</math> – общее число опытов; если при <math>n \rightarrow \infty</math>, то <math>(m/n) \rightarrow \text{const.}</math>), т.е. как бы «размытая», и движение точки описывается некоторой случайной функцией.</p> <p>Закрепляя все параметры этой области, кроме одного, можно получить срез по линии <math>a</math>-<math>b</math>, смысл которого – воздействие данного параметра на поведение системы, что можно описать статистическим распределением по этому параметру. Аналогично можно получить двумерную, трехмерную и т.п. картины статистического распределения.</p>	<p>На базе статистических представлений возникли и развиваются ряд прикладных областей: <i>статистическая радиотехника, статистическая теория распознавания образов, экономическая статистика, теория массового обслуживания</i>, а также развившиеся из направлений, возникших на базе аналитических представлений, – <i>стохастическое программирование</i>, новые разделы <i>теории игр</i> и т.п.</p> <p>Расширение возможностей отображения сложных систем и процессов по сравнению с аналитическими методами можно объяснить тем, что в случае применения статистических представлений процесс постановки задачи как бы частично заменяется статистическими исследованиями, позволяющими, не выявляя все детерминированные связи между изучаемыми объектами (событиями) или учитываемыми компонентами сложной системы, на основе выборочного исследования (репрезентативной выборки) получить статистические закономерности и распространять их на поведение системы в целом с какой-то вероятностью.</p> <p>Однако не всегда можно получить статистические закономерности, не всегда может быть определена репрезентативная выборка, доказана правомочность применения статистических законо-</p>

<p>На базе статистических представлений развиваются ряд математических теорий: <i>математическая статистика</i>; <i>теория статистических испытаний</i> (основой которой является метод Монте-Карло, а развитием – <i>теория статистического имитационного моделирования</i>); <i>теория выживания</i> и <i>проверки статистических гипотез</i>, базирующаяся на общей <i>теории статистических решающих функций</i> А. Вальда (частным случаем этой теории, важным для теории систем, является <i>байесовский подход</i> к исследованию передачи информации в процессах общения, обучения и других ситуациях); <i>теория позиционных игр</i>; <i>механостойчивости</i> и <i>теория решающих функций</i>; обобщение последних двух направлений – <i>теория статистических решений</i>.</p>	<p>Если же не удается доказать репрезентативность выборки или для этого требуется неприменительно большое время, то применение статистических методов может привести к неверным результатам.</p> <p>В таких случаях целесообразно обратиться к методам <i>объединяемых</i> под общим названием <i>методы дискретной математики</i>, которые помогают разрабатывать языки моделирования, модели и методики постепенной формализации процесса принятия решения.</p> <p>Статистические и теоретико-множественные методы инициировали возникновение теории нечетких, или «размытых», множеств Л. Заде, которая являлась началом развития нового направления – <i>нечетких формализаций</i> (см. <i>Нечеткие, или размытые, множества</i>) и т.д.</p>
<p>Теоретико-множественные представления</p> 	<p>Теоретико-множественные представления базируются на понятиях <i>множество</i>, <i>элементы</i> множества, <i>отношения</i> на множествах, <i>континuum</i>.</p> <p>Множества могут задаваться следующими способами: 1) <i>перечислением (интенционально)</i>: <math>\{a_i\}</math>, где <math>i = 1..n</math> или <math>\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle</math>, где <math>a_i \in A</math>; 2) путем указания некоторого <i>характеристического свойства А</i> (<i>экс тенс ионально</i>).</p> <p>В основе теоретико-множественных преобразований лежит переход от одного способа задания множества к другому.</p> <p>В множестве могут быть выделены <i>подмножества</i>. Из двух или нескольких множеств можно сформировать путем установления отношений между элементами этих множеств новое множество, обладающее принципиально новыми свойствами, и, как правило, новое качество приобретают и элементы.</p>

Класс методов и символический образ	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сферы и возможности применения
	<p>Теоретико-множественные представления допущают введение любых произвольных отношений. При конкретизации отношений и правил их использования можно получить одну из алгебр логики, один из формальных языков математической лингвистики, создать язык моделирования сложной системы, который затем, получив соответствующее название, может развиваться как самостоятельное научное направление.</p> <p>Между теоретико-множественными описаниями разных систем или их частей можно устанавливать соответствия: <i>гоморфизма, изоморфизма, автоморфизма, отношения рефлексивности, симметричности, транзитивности</i>, заимствованные теорией множеств из других разделов математики.</p>	<p>стали создаваться первые <i>информационно-поисковые языки, языки автоматизации моделирования</i>; на теоретико-множественных представлениях базируется вариант <i>математической теории систем</i> М. Месаровича.</p> <p>Система может быть представлена совокупностью множеств или подмножеств разнородных компонентов с произвольно вводимыми элементами и отношениями. Однако свобода введения произвольных отношений приводит к тому, что в формализованном с их помощью описании проблемной ситуации довольно быстро могут обнаружиться неразрешимые противоречия – <i>парадоксы, апории</i> или <i>антиномии</i>, что не позволяет оперировать с получаемыми теоретико-множественными моделями таким же образом, как с классическими математическими (аналитическими, статистическими) соотношениями, гарантируя достоверность получаемых результатов.</p>

<p>Логические методы, или математическая логика</p> 	<p>Логические представления переводят реальную систему и отношения в ней на язык одной из алгебр логики (двузначной, многозначной), основанной на применении алгебраических методов для выражений законов алгебры логики. Наибольшее распространение получила бинарная алгебра логики Буля (булева алгебра).</p> <p>Базовыми понятиями алгебры логики являются: <i>высказывание, предикат, логические функции (операции), кванторы, логический базис, логические законы или теоремы (законы алгебры логики)</i>, применения которые можно преобразовать систему из одного описания в другие с целью ее совершенствования. Например, получить более простую структуру (схему), содержащую меньше число состояний, элементов, но осуществляющую требуемые функции.</p> <p>Теоремы доказываются и используются в рамках формального логического базиса, определяемого совокупностью специальных правил.</p> <p>Логические методы представления систем относятся к детерминистским, хотя возможно их расширение в сторону вероятностных оценок.</p> <p>На базе математической логики созданы и развиваются теории логического анализа и логического синтеза, теории автоматов. На основе логических представлений первоначально начинали развиваться некоторые разделы теории формальных языков.</p> <p>В силу ограниченности смысловыражающих возможностей бинарной алгебры логики в последнее время имеются попытки создания многозначных (тернарной и т.п.) алгебр логики с соответствующими логическими базисами и теоремами.</p>	<p>Применяются при исследовании новых структур и систем разнообразной природы (технических объектов, текстов и др.), в которых характер взаимоотношений между элементами еще не настолько ясен, чтобы было возможно их представление аналитическими методами, а статистические исследования либо затруднены, либо не привели к выявлению устойчивых статистических закономерностей.</p> <p>В то же время следует иметь в виду, что с помощью логических алгоритмов можно описывать не любые отношения, а только те, которые предусматриваются законами алгебры логики и удовлетворяют требованиям логического базиса.</p> <p>Логические представления широко применяются при исследовании и разработке автоматов разного рода, автоматических систем контроля, при решении задач распознавания образов. На их основе развивается самостоятельный раздел теории формальных языков – языки моделирования проблемных ситуаций и текстов.</p> <p>Вместе с тем смысловыражающие возможности логических методов ограничены базисом и не всегда позволяют адекватно отобразить реальную проблемную ситуацию. Поэтому стали предприниматься попытки создания вначале тернарной логики, а затем и многозначных логик, вплоть до непрерывной.</p> <p>Однако попытки создания многозначных логик на практике пока не находят широкого применения из-за сложности обоснования логического базиса и доказательства формальных теорем-законов многозначной алгебры логики, без чего невозможно формально применять логические законы и алгоритмы и получать достоверные результаты.</p>
---	---	---

<p>Класс методов и символический образ</p>	<p>Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов</p>	<p>Сферы и возможности применения</p>
<p>Лингвистические и семиотические представления, или математическая лингвистика и семиотика</p> 	<p>Основными понятиями, на которых базируются лингвистические представления, являются понятия: <i>тезаурус Т</i>, <i>грамматика G</i>, <i>семантика</i>, <i>прагматика</i>. Термин <i>тезаурус</i> (от греч. <i>θησαυρος</i> – сокровищница, богатство, клад, запас и т.п.) в общем случае характеризует «совокупность научных знаний о явлениях и законах внешнего мира и духовной деятельности людей, накопленную всем человеческим обществом».</p> <p>В математической лингвистике и семиотике термин <i>тезаурус</i> используется в более узком смысле, для характеристики конкретного языка, его многоуровневой структуры. Для этих целей удобно пользоваться одним из принятых в лингвистике определений тезауруса как «множества смысловыражающих элементов языка с заданными смысловыми отношениями», которое дал Ю.А. Шрейдер.</p> <p>Для системных приложений интересно сочетание математической лингвистики и <i>семиотики</i>, которая возникла как наука о <i>знаках, знаковых системах</i>.</p> <p>Однако некоторые школы, развивающие семиотические представления, равноправно пользуются в семиотике понятиями математической лингвистики, такими, как <i>тезаурус</i>, <i>грамматика</i>, <i>семантика</i> и т.п. Такие представления иногда называют <i>лингвистической семиотикой</i> или <i>лингвосо семиотикой</i>.</p> <p>С теоретической точки зрения границу между лингвистическими и семиотическими представлениями при разработке языков моделирования можно</p>	<p>Для практических приложений модели лингвистических и семиотических представлений можно рассматривать как один класс методов формализованного представления систем.</p> <p>Лингвистические и семиотические представления возникли и развиваются в связи с потребностями анализа текстов и языков. Однако во второй половине XX в. эти представления стали широко применяться для отображения и анализа процессов в сложных системах в тех случаях, когда не удается применить сразу аналитические, статистические представления или методы формальной логики.</p> <p>В частности, лингвистические и семиотические представления являются удобным аппаратом (особенно в сочетании с графическими) для первого этапа постановки и формализации задач принятия решений в ситуациях с большой начальной неопределенностью, чем и был вызван интерес к этим методам со стороны инженеров и специалистов, занимающихся исследованием и разработкой сложных систем. На их основе разрабатывают языки моделирования и автоматизации проектирования.</p> <p>В случае применения этих методов следует иметь в виду, что при усложнении языка моделирования, применении правил произвольной грамматики или семиотики трудно гарантировать достоверность получаемых результатов, возникают проблемы <i>алгоритмической разрешимости</i>, <i>пара-</i></p>

	<p>определить характер правил грамматики: если правила не охватываются классификацией формальных грамматик Н. Хомского, то модель относят к семантической и применяют произвольные правила взаимоотношений между знаками, отображающими компоненты модели, допустимые семантикой.</p>	<p>доков, которые частично могут быть преодолены с помощью содержательного контроля и корректировки языка на каждом шаге его расширения в диалоговом режиме моделирования. При этом разработчик языка моделирования не всегда может формально объяснить его возможности, происходит как бы «выращивание» языка, у которого появляются новые свойства, повышающие его смысловыражающие возможности.</p>
<p>Графические представления являются удобным средством исследования структур и процессов в сложных системах, средством организации взаимодействия человека и технических устройств (в том числе ЭВМ).</p> <p>На основе сетевых структур возникли прикладные теории: PERT (Program Evaluation and Review Technique – Методика оценки и контроля программ), теория <i>сетевого планирования и управления</i> (СПУ).</p> <p>Первоначально СПУ широко применялись не только в управлении производственными процессами (где достаточно несложно построить сетевой график), но и в <i>системах организационного управления</i>.</p> <p>Однако применение СПУ ограничивается ее недостатками: 1) теория первоначально была ориентирована на анализ только одного класса графов – <i>направленных</i> (не имеющих обратных связей, т.е. циклов, петель) и 2) доля «ручного» труда ЛПР при разработке сетевого графика составляет, по оценкам специалистов, до 95% общих затрат времени на анализ ситуаций и процессов с использованием СПУ.</p> <p>Поэтому разрабатываются методы <i>статистического сетевого моделирования</i> с использованием вероятностных оценок и ненаправленных графов, подходы к автоматизации формирования графов.</p>	<p>К графическим представлениям здесь отнесены любые графики (<i>диаграммы, гистограммы, графики Ганта</i>, т.е. «время-операция» в прямоугольных координатах, и т.д.) и возникшие на основе графических отображений теории: <i>теория графов, теория сетевого планирования и управления</i> и т.п., т.е. все, что позволяет наглядно представить процессы, происходящие в системах, и облегчить таким образом их анализ для человека (лица, принимающего решения).</p> <p>Графики Ганта выполнялись с ручным, а в последующем – и с автоматическим управлением. В дальнейшем на этой основе возникли представления совокупности дискретных операций в дискретном времени как множества событий, упорядоченных в двух измерениях, – <i>сетевые структуры</i>.</p> <p>Есть и возникшие на основе графических представлений методы, которые позволяют ставить и решать вопросы оптимизации процессов организации, управления, проектирования и являются математическими методами в традиционном смысле. Таково <i>геометрия, теория графов</i>.</p> <p>Понятие <i>графа</i> в математическом смысле первоначально было введено Л. Эйлером.</p>	

*графические* (см. *Графические представления*), включающие теорию графов и разного рода графические представления информации типа диаграмм, гистограмм и других графиков.

Разумеется, в табл. 1 приведены лишь укрупненные группы-направления, конкретные методы которых только в начальный период развития характеризуются рассмотренными особенностями. Эти направления непрерывно развиваются, и в их рамках появляются методы с расширенными возможностями по сравнению с исходными.

Кроме того, в математике постоянно возникают новые направления как бы «на пересечении» методов, отнесенных к упомянутым укрупненным группам.

В частности, на пересечении аналитических и теоретико-множественных представлений возникла и развивается *алгебра групп*; параллельно в рамках алгебры групп и теории множеств начала развиваться *комбинаторика* (см.); теоретико-множественные и графические представления стали основой возникновения *топологии*; статистические и теоретико-множественные методы инициировали возникновение теории «размытых» множеств Л. Заде, которая, в свою очередь, явилась началом развития нового направления – *нечетких формализаций* (см. *Нечеткие или размытые множества*) и т.д.

Практически невозможно создать единую классификацию, которая включала бы все разделы современной математики. В то же время перечисленные направления помогают понять особенности конкретных методов, использующих средства того или иного направления или их сочетания, выбрать методы для конкретных приложений.

***Прикладные классификации МФПС.*** Для удобства выбора методов решения конкретных практических задач на базе математических направлений развиваются прикладные и предлагаются их классификации.

Так, существуют различные классификации экономико-математических методов, обобщение которых дано в табл. 2. Эта классификация включает прикладные направления, базирующиеся в основном на использовании аналитических и статистических представлений. Однако некоторые из них (модели объемного и календарного планирования, потоковые модели) используют графические методы (сетевое моделирование), а иногда для предварительного описания задачи – теоретико-множественные представления.

Таблица 2

Прикладные классификации методов моделирования	Классификации методов формализованного представления систем по [5]					
	Аналитические	Статистические	Теоретико-множественные	Логические	Лингвистические	Графические
<i>Экономико-математические методы</i>						
Производственные функции	+	+				
Балансные модели	+					
Модели объемного планирования			+			
Модели календарного планирования (упорядочения во времени, расписания)	+		+			+
Потоковые (транспортные) модели	+					+
Модели распределения и назначения	+					
Модели управления запасами	+	+				
Модели износа и замены оборудования	+	+				
Модели массового обслуживания		+				
Состязательные модели	+	+				
<i>Методы работы с массивами информации</i>						
Методы организации массивов			+	+		+
Методы обработки массивов (сортировки, упорядочения, размещения)			+	+		
Методы поиска информации			+	+	+	

Когда начали широко развиваться автоматизированные системы сбора, хранения и поиска информации разного рода, появилась потребность в разработке классификаций методов работы с информационными массивами. Одна из таких классификаций, предложенная в [1], приведена в табл. 2. Эти классификации, напротив, базируются на использовании методов дискретной математики, в основном графических и теоретико-множественных представлений с элементами математической логики.

Классификации, ориентированные на прикладные направления, можно сопоставить с классификациями математических методов, что сделано в табл. 2. Получаемая двухмерная классификация удобна тем, что в нее можно «входить» через прикладные («слева») и через математические («сверху») направления, что помогает при организации взаимодействия проектировщиков и управленческих работников, использующих прикладные классификации, со специалистами-математиками, которые помогут пояснить принципиальные теоретические возможности выбираемых математических методов.

При выборе метода моделирования для постановки принципиально новых задач с большой начальной неопределенностью удобно связать классификацию методов формализованного представления с классификацией систем. В частности, приведенную в табл. 2 классификацию методов формализованного представления систем можно связать с классификацией систем по степени организованности: если предварительный анализ проблемной ситуации показывает, что она может быть представлена в виде *хорошо организованных систем* (см.), то можно выбрать методы моделирования из классов аналитических и графических методов; если специалисты по теории систем и системному анализу рекомендуют представить ситуацию в виде *плохо организованных*, или *диффузных систем* (см.), то следует обратиться прежде всего к статистическому моделированию, а если не удастся доказать адекватность применения, то искать закономерности в специальных методах (например, в экономике, социологии и т.п.); в случае представления ситуации классом *самоорганизующихся систем* (см.) следует применять методы дискретной математики, разрабатывая на их основе языки моделирования и автоматизации проектирования, и, как правило, формировать модель, сочетая методы из групп МАИС и МФПС.

Следует подчеркнуть, что любая классификация методов всегда может быть подвергнута критике. Однако, понимая условность классификации, ее все же нужно создавать. Желательно, чтобы такую классификацию формировал коллектив, разрабатывающий и применяющий модель или методику системного анализа. Это позволит ему в более сжатые сроки выбрать методы моделирования для выполнения того или иного этапа методики системного анализа.

Все методы современной математики не может глубоко знать ни один специалист, однако при выборе метода важно понимать особенности того или иного направления и возможности его использования, а выбрав метод, пригласить соответствующих специалистов, владеющих им. Выбор метода зависит от предшествующего опыта разработчиков и управленческих работников. Ошибки в выборе методов моделирования на начальных этапах постановки задачи могут существенно повлиять на дальнейший ход работ, затянуть их или привести в тупик, когда решение вообще не будет получено.

- 1. Автоматизированные системы управления предприятиями: учеб. пособие / Под ред. В.Н. Четверикова. – М.: Высш. школа, 1979. 2. Архитектура математики / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Знание, 1972. 3. Бурбаки Н. Теория множеств / Н. Бурбаки. – М.: Мир, 1965. 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 130–145. 5. Волкова В.Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974. 6. Волкова В.Н. Методы формализованного представления систем: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. – СПб.: Из-во СПбГТУ, 1993. 7. Гнеденко Б. В. Математика в современном мире / Б.В. Гнеденко. – М.: Просвещение, 1980. 8. Кудрявцев Л.Д. Современная математика и ее преподавание / Л.Д. Кудрявцев. – М.: Наука, 1985. 9. Кухтенко А.И. Об аксиоматическом построении математической теории систем / А.И. Кухтенко // Кибернетика и вычислительная техника. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 3–25. 10. Рыбников К. А. История математики: учебник / К.А. Рыбников. – М.: Изд-во МГУ, 1994. 11. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский. – Киев: Техніка, 1977. 12. Стройк Д. Я. Краткий очерк истории математики / Д.Я. Стройк. – М.: Наука, 1990. 13. Технология системного моделирования / Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, С.В. Емельянов и др. – М.: Машиностроение; Берлин: Ферлаг Техник, 1988. 14. Фор Р. Современная математика / Р. Фор, А. Коффман, М. Дени-Папен. – М.: Мир, 1966.

*В.Н. Волкова*

## МНОГОУРОВНЕВЫЕ ИЕРАРХИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ.

В теории систем М. Месаровича предложены особые классы иерархических структур типа «страт», «слоев», «эшелонов», отличающиеся различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего.

**Страты.** При отображении сложных систем основная проблема состоит в том, чтобы найти компромисс между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемом или проектируемом объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта. Один из путей решения этой проблемы – задание системы семейством моделей, каждая из которых описывает ее поведение с позиции соответствующего уровня абстрагирования. Для каждого уровня существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывается поведение системы на этом уровне. Такое представление названо М. Месаровичем *стратифицированным*, а уровни абстрагирования – *стратами* (см.).

В качестве простейшего примера стратифицированного описания в [1] приводится отображение ЭВМ в виде двух страт (рис. 1): нижняя – *физические операции* (система описывается на языке физических законов, управляющих работой и взаимодействием ее механических и электронных элементов); верхняя – *математические и логические операции* (программирование и реализация программ, осуществляемые с помощью абстрактных, нефизических понятий, информационные потоки, команды языков программирования и т.п.).

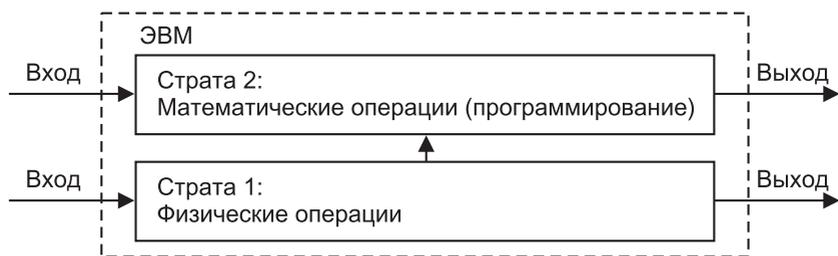


Рис. 1

Отмечается, что может представлять интерес описание системы (ЭВМ) и на других уровнях абстрагирования, помимо названных двух основных. При конструировании электронных компонентов может представить интерес страта *атомной физики*, а при разработке сложного программного обеспечения – *системная страта*.

Страты по Месаровичу могут выделяться по разным принципам, по уровням управления сложным объектом (производственная, организационная и т.п.), по принципу последовательного углубления представления о системе, ее детализации.

Примером стратифицированного описания может также служить предложенное Ю.И. Черняком [5] выделение уровней абстрагирования системы от философского или теоретико-познавательного описания ее замысла до материального воплощения (рис. 2).

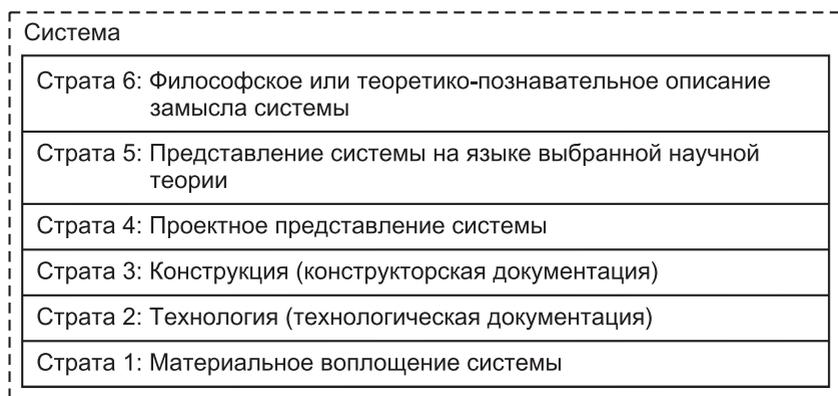


Рис. 2

Такое представление помогает понять, что одну и ту же систему на разных стадиях познания и проектирования можно (и нужно) описывать различными выразительными средствами, т.е. как бы на разных «языках»: *философском* или *теоретико-познавательном* – словесное описание замысла, концепции; *представление системы на языке научно-исследовательском* – в форме моделей разного рода, помогающих глубже понять и раскрыть замысел системы; *проектном* – техническое задание и технический проект, для разработки и представления которого могут понадобиться математические расчеты, принципиальные схемы; *кон-*

*структурском* – конструкторские чертежи, сопровождающая их документация; *технологическом* – технологические карты, стандарты и иная технологическая документация; *материальное воплощение, реализация системы* – детали, блоки, собранное изделие или созданная система, принципы функционирования которой отражены в соответствующей документации (инструкциях, положениях и т.п.).

Идею многоуровневой системы, детализируемой на каждом последующем уровне, в 70-е гг. XX в. предложил Ф.Е. Темников [4], который иллюстрировал идею так, как показано на рис. 3 (хотя термин *страты* в тот период не использовался).

Начинать изучение систем можно с любой страты (в том числе с находящейся в середине стратифицированного представления). В процессе исследования могут добавляться новые страты, изменяться подход к выделению страт. На каждой страте может

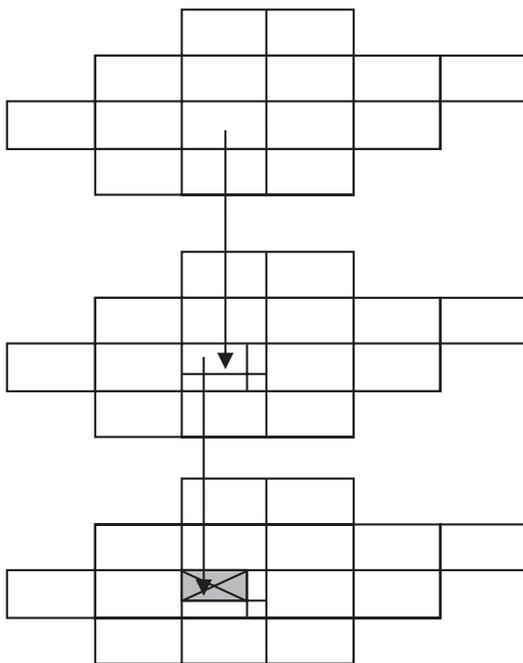


Рис. 3

использовать свое описание, своя модель, но система сохраняется до тех пор, пока не изменяется представление на верхней страте – ее концепция, замысел, который нужно стремиться не исказить при раскрытии на каждой последующей страте.

**С л о и .** Второй вид многоуровневой структуризации предложен М. Месаровичем для организации процессов принятия решений. С целью уменьшения неопределенности ситуации выделяют *уровни сложности* принимаемого решения – *слои* (см.), т.е. определяется совокупность последовательно решаемых проблем. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышестоящей проблемы определяло бы ограничения (допустимую степень упрощения) при моделировании на нижележащем уровне, т.е. снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы.

Многослойные системы принятия решений полезно формировать для решения задач планирования и управления промышленными предприятиями, отраслями, народным хозяйством в целом. При постановке и решении таких проблем нельзя раз и навсегда определить цели, выбрать конкретные действия: экономические и технологические условия производства непрерывно изменяются. Все это можно отразить в многослойной модели принятия решений.

Примером приложения идеи выделения слоев служат многоуровневые экономико-математические модели планирования и управления отраслями, народным хозяйством, разработанные в нашей стране в 70–80-х гг. XX в. [2 и др.], а позднее и промышленными предприятиями (см., например, работы В.А. Дуболазова [3, гл. 5] и др.).

**Э ш е л о н ы .** Понятие *многоэшелонной* иерархической структуры вводится Месаровичем следующим образом: система представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем: часть (или все) подсистемы имеют права принятия решений, а иерархическое расположение подсистем (многоэшелонная структура) определяется тем, что некоторые из них находятся под влиянием или управляются вышестоящими. Уровень такой иерархии называют *эшелоном* (см.).

Основная отличительная особенность многоэшелонной структуры – предоставление подсистемам всех уровней определенной свободы в выборе ими собственных решений, причем эти решения могут быть (но не обязательно) не теми решениями, которые

бы выбрал вышестоящий уровень. Месарович утверждает, что предоставление свободы действий в принятии решений компонентам всех эшелонов иерархической структуры повышает эффективность ее функционирования.

Отношения, подобные принятым в эшелонированных структурах, реализуются в практике управления в форме *холдинговых* структур, или *холдингов*. Правила взаимоотношений между фирмами, банками, торговыми домами и другими организациями, входящими в холдинг, оговариваются в соответствующих договорах и других нормативно-правовых и нормативно-технических документах.

- 1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. 2. Многоуровневые модели перспективного планирования / Под ред. А.М. Алексева. – М.: Экономика, 1979. 3. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 4. Темников Ф.Е. Прикладные программы исследования операций и принятия решений / Ф.Е. Темников, В.Н. Волкова, И.В. Макарова // В сб.: Прикладные проблемы исследования операций и систем. – М.: МДНТП, 1969. – С. 52–61. 5. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. *В.Н. Волкова*

**МОЗГОВАЯ АТАКА**, или метод коллективной генерации идей, – один из *методов активизации интуиции и опыта специалистов* (см.), входящих в группу *методов выработки коллективных решений* (см.).

Концепция *мозговой атаки*, или *мозгового штурма* (brain storming), получила широкое распространение с начала 50-х гг. XX в. как «метод систематической тренировки творческого мышления», направленный на «открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления» [6. – С. 164].

Мозговая атака (МА) основана на гипотезе, что среди большого числа идей есть по меньшей мере несколько хороших, полезных для решения проблемы, которые нужно выявить. Методы этого типа известны также под названием *коллективной генерации идей* (КГИ), *конференций идей*, *метода обмена мнениями*.

Обычно при проведении МА или сессии КГИ стараются выполнить определенные правила, суть которых сводится к тому, чтобы обеспечить как можно большую свободу мышления участникам КГИ и высказывания ими новых идей. Для этого рекомендуется сформулировать проблему в основных терминах,

выделив центральный пункт обсуждения, высказывать и подхватывать любые идеи, даже если они вначале кажутся сомнительными или абсурдными (обсуждение и оценки идей проводятся позднее), не допускать критики, не объявлять ложной и не прекращать обсуждать ни одну идею, высказывать как можно больше идей (желательно нетривиальных), стараться создавать как бы цепные реакции идей, оказывать поддержку и поощрения, необходимые для того, чтобы освободить участников от скованности, т.е. всеми способами поощрять и провоцировать ассоциативное мышление [2]. С примерами конкретных перечней правил можно познакомиться в [3, 6].

Мозговая атака представляет собой один из эффективных приемов продуцирования новых идей. Сущность ее заключается в коллективном поиске нетрадиционных путей решения проблемы.

Как правило, это касается не вечных и глобальных проблем, а так называемых синтетических, сформулированных чаще всего с помощью слова «Как?». Например, «Как я попаду на работу, если автомобиль не заводится?». Аналитические же проблемы, например «Почему не заводится автомобиль?», или проблемы выбора не подходят для мозгового штурма.

Область применения этого метода достаточно широка – от научно-технических и экономических проблем до социальных, психолого-педагогических и даже этических ситуаций. Наилучшие результаты МА достигаются при разработке новой продукции, совершенствовании продукции, способов работы, при улучшении технических конструкций. В наше время метод МА нашел применение и в учебном процессе. Он способствует развитию динамичности мыслительных процессов, способности абстрагироваться от объективных условий и существующих ограничений, формирует умение сосредоточиться на какой-либо узкой актуальной цели и т.д.

В МА упор делается на количество высказываемых идей, а не на их качество. Во время МА записывается любая идея независимо от того, насколько нелепой она может показаться на первый взгляд. На стадии генерирования идей критика полностью запрещена, поскольку, как правило, каждая идея полезна уже потому, что она стимулирует другие. Такая работа продолжается до тех пор, пока участники не исчерпают все свои идеи по рассматриваемому вопросу. В ходе МА члены группы работают как мощные генераторы идей, ибо они не обременены необходимостью обосновывать свои предложения.

После того как МА закончилась, высказанные идеи подвергаются оценке специалистов по решаемой проблеме (экспертов). Большинство из предложенных идей будет отвергнуто на основе здравого смысла и логики. Может оказаться так, что ни одна из высказанных идей не содержит приемлемого решения. Однако творческое мышление разработчиков систем, возможно, будет способно развить одну или несколько из этих идей, чтобы получить приемлемое решение рассматриваемой проблемы. Свежий и непредвзятый взгляд человека, в голове которого рождаются свободные, ничем не ограниченные ассоциации, способен помочь решению проблемы в тех случаях, когда предлагаемое решение отлично от существующего, традиционного.

В зависимости от принятых правил и жесткости их выполнения различают *прямую мозговую атаку*, *метод обмена мнениями*, *методы типа комиссий*, *судов* (в последнем случае создаются две группы: одна группа вносит как можно больше предложений, а другая старается максимально их раскритиковать). Мозговую атаку можно проводить в форме *деловой игры*, с применением тренировочной методики «*стимулирования наблюдения*», в соответствии с которой группа формирует представление о проблемной ситуации, а эксперту предлагается найти наиболее логичные способы решения проблемы.

На практике подобием сессий КГИ являются совещательные органы разного рода – конструктораты, директораты, заседания ученых и научных советов, специально создаваемые временные комиссии, комитеты, «мозговые тресты», не опирающиеся на постоянный персонал, и т.п.

В реальных условиях достаточно трудно обеспечить жесткое выполнение требуемых правил, создать атмосферу МА: на конструкторатах, директоратах, заседаниях советов мешает влияние должностной структуры организации; собрать специалистов на межведомственные комиссии трудно.

Методы МА применялись при разработке и реализации программ долгосрочных научных исследований НАТО, в военном прогнозировании [5, 6]. Однако уже в 60-е гг. XX в. из первостепенного метода источника идей и поиска кратчайшего пути решения проблемы МА превратилась во вспомогательное средство в методиках, использующих и другие методы анализа, и в настоящее время эти методы обычно используются в качестве одного из элементов методик системного анализа в форме проведения

обсуждений предложений или промежуточных результатов анализа, полученных с применением различных методов, на коллективных совещаниях типа МА.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 130–132.
- 2. Ефимов В.М. Введение в управленческие имитационные игры / В.М. Ефимов, В.Ф. Комаров. – М.: Наука, 1980.
- 3. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ: учеб. пособие / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высш. школа, 1989.
- 4. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высш. школа, 1977.
- 5. Холл А. Опыт методологии для системотехники / А. Холл. – М.: Сов. радио, 1975.
- 6. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1974. В.В. Ходырев

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД.** Термином *морфология* в биологии и языкознании определяется учение о внутренней структуре исследуемых систем (организмов, языков) или сама внутренняя структура этих систем.

Идея морфологического способа мышления восходит к Аристотелю и Платону, к известной средневековой модели Р. Луллия (с историей развития морфологического подхода можно познакомиться в [2, 3]). Однако в систематизированном виде методы морфологического анализа сложных проблем были разработаны астрономом Ф. Цвикки [5, 6], и долгое время морфологический подход к исследованию и проектированию сложных систем был известен под названием метода Цвикки.

Основная идея морфологического подхода – систематически находить наибольшее число, а в пределе – все возможные варианты решения поставленной проблемы или реализации системы комбинированием основных (выделенных исследователем) структурных элементов системы или их признаков. При этом система или проблема может разбиваться на части разными способами и рассматриваться в различных аспектах.

Отправными точками системного исследования Ф. Цвикки считает: 1) равный интерес ко всем объектам морфологического моделирования; 2) ликвидацию всех оценок и ограничений до тех пор, пока не будет получена полная структура исследуемой области; 3) максимально точную формулировку поставленной проблемы.

Кроме этих общих положений Ф. Цвикки предложил ряд отдельных способов (методов) морфологического моделирования: метод систематического покрытия поля (МСПП), метод отрица-

ния и конструирования (МОК), метод морфологического ящика (ММЯ), метод экстремальных ситуаций (МЭС), метод сопоставления совершенного с дефектным (МССД), метод обобщения (МО). Наибольшую известность получили три первых метода.

**Метод систематического покрытия поля** предполагает, что существует некоторое число «опорных пунктов» знания в любой исследуемой области. Этими пунктами могут быть теоретические положения, эмпирические факты, известные на данный момент компоненты сложной системы, открытые законы, в соответствии с которыми протекают различные процессы, и т.п. Исходя из ограниченного числа опорных пунктов знания и достаточного числа принципов мышления (в том числе различных мер близости), с помощью МСПП ищут возможные варианты решения поставленной проблемы.

**Метод отрицания и конструирования** основывается на соображениях, которые Ф. Цвикки сформулировал следующим образом: «На пути конструктивного прогресса лежат догмы и компромиссные или диктаторские ограничения. Следовательно, есть смысл их отрицать. Однако одного этого недостаточно. То, что получается из отрицания, необходимо конструктивно переработать» [3]. В соответствии с этим МОК реализуется с помощью трех этапов: 1) формирование ряда высказываний (положений, утверждений, аксиом и т.п.), соответствующих современному уровню развития исследуемой области знаний; 2) замена одного, нескольких или всех сформулированных высказываний на противоположные; 3) построение всевозможных следствий, вытекающих из такого отрицания, и проверка непротиворечивости вновь полученных и оставшихся неизменными высказываний. МОК может быть реализован в форме одного из методов МА – метода «судов».

**Метод морфологического ящика** основан на формировании и анализе морфологической таблицы – морфологического ящика (МЯ). Построение и исследование МЯ по Цвикки проводится в пять этапов [2, 3, 5, 6]:

- 1) формулировка поставленной проблемы;
- 2) определение параметров (классификационных признаков)  $P_n$ , от которых зависит решение проблемы (процедура анализа может быть итеративной, с изменением набора  $P_n$  по мере уточнения представлений об исследуемом объекте или процессе принятия решений);

3) деление параметров  $P_n$  на их значения  $p_n^{ki}$  (формирование классификаторов по выбранным признакам  $P_n$ ) и представление их в виде матриц-строк:

$$\begin{array}{l}
 [ \boxed{p_1^1}, p_1^2, \dots, p_1^{k1} ] \\
 [ p_2^1, \boxed{p_2^2}, \dots, p_2^{k2} ] \\
 [ p_n^1, \boxed{p_n^2}, \dots, p_n^{km} ]
 \end{array} \quad (1)$$

Набор значений (по одному из каждой строки) различных параметров представляет собой возможный вариант решения моделируемой задачи: например, вариант  $\langle p_1^1, p_2^2, \dots, p_n^2 \rangle$ ; общее число вариантов, содержащихся в МЯ,  $R = k_1 \times k_2 \times \dots \times k_i \times \dots \times k_m$ , где  $k_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) – число значений  $i$ -го параметра;

4) оценка всех имеющихся в МЯ вариантов;

5) выбор наилучшего варианта решения задачи (у Цвикки – *оптимального*, что, как будет пояснено далее, неверно для данного метода).

С математической точки зрения идея морфологического перебора базируется на получении размещений с повторениями из  $k$  по  $n$ , число которых в общем случае подсчитывается, как уже показано, а в частном случае при одинаковом числе значений каждого из параметров (т.е. при  $k_1 = k_2 = \dots = k_i = \dots = k_m = k$ ) определяется с помощью известной теоремы комбинаторики

$$R_k^n = k^n, \quad (2)$$

где  $n$  – число строк МЯ;

$k$  – число элементов в каждой строке.

Для сокращения перебора этапы 3 и 4 могут быть совмещены, а явно неприемлемые варианты можно сразу исключить из рассмотрения в п. 5.

Следует отметить, что, строго говоря, речь об оптимизации идти не может. Идею поиска наилучшего варианта (вариантов) решения лучше квалифицировать как постепенно ограничиваемый перебор, который с самого начала сокращается благодаря формированию МЯ, поскольку число размещений с повторениями

меньше числа сочетаний, по мере увеличения объемов МЯ разрыв увеличивается и ограничение перебора сказывается в большей степени. Затем область выбора решения ограничивается в результате исключения явно неприемлемых вариантов, а дальнейшее ограничение области возможных решений можно организовать путем введения и учета *количественных*, а затем (при прочих равных условиях) и *качественных критериев*, подобно тому, как это предлагается далее в модификации ММЯ применительно к задачам планирования при позаказной системе производства.

Возможны следующие пути выбора решений из МЯ (рис. 1): применение одного критерия, полностью исключающего все варианты решений, кроме одного (рис. 1, а);

последовательное применение нескольких критериев *A, B, C*, постепенно исключающих все варианты, кроме одного (рис. 1, б);

расчленение проблемы на подпроблемы (или задачи – на подзадачи) и последовательное применение нескольких критериев для выбора по одному варианту решения по каждой из подпроблем (подзадач), которые, вместе взятые, и составляют искомое решение (рис. 1, в).

В последнем случае может быть получено не одно решение, составленное из решений подпроблем, а несколько таких решений, и тогда для уменьшения числа этих вариантов дальнейшее сужение области допустимых решений может осуществляться введением дополнительных критериев (как правило, качественных), как это делается, например, в [1].

Следует также оговорить, что решения по подпроблемам, из которых формируется общий вариант решения, могут быть взаимозависимыми (в частности, при размещении по линиям сборки один и тот же заказ не может в соответствующем плановом периоде помещаться на разные взаимозаменяемые линии сборки [1]).

Ф. Цвикки и его последователи разрабатывали и исследовали МЯ различного вида. Например, известен вариант МЯ, в котором значения одного и того же параметра откладывались и по горизонтальной, и по вертикальной оси двухмерной матрицы «ящика», и варианты решений получались на пересечении различных значений параметров, т.е. как элементы этой матрицы.

МЯ могут быть также не только двухмерными. Трехмерные МЯ и МЯ большей размерности находят, например, применение при разработке прогнозов и при макропроектировании вариантов новой техники.

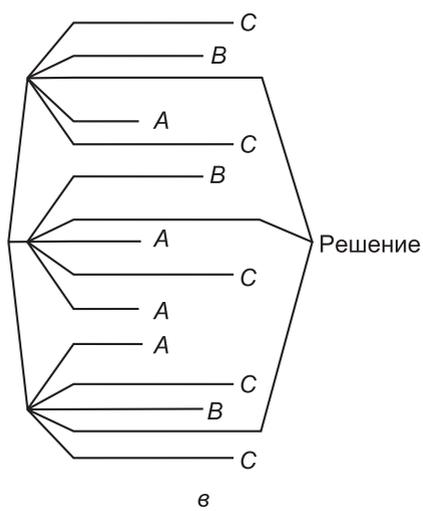
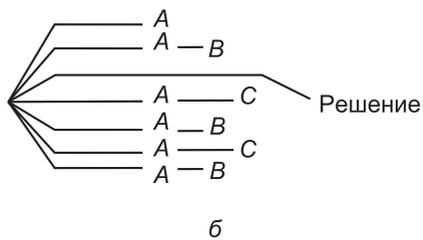
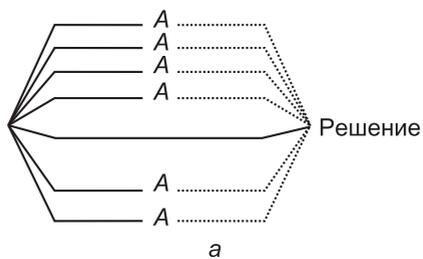


Рис. 1

Однако при формировании и анализе многомерных МЯ, особенно при анализе проблем организационного управления, возникают существенные трудности в их представлении лицам, принимающим решения, и в интерпретации результатов. Поэтому

удобнее, используя идею морфологического подхода, разрабатывать языки моделирования (автоматизации моделирования, автоматизации проектирования и т.п.), которые применяются для «порождения» возможных ситуаций в системе, возможных вариантов решения и часто как вспомогательное средство формирования нижних уровней иерархической структуры целей и функций или организационных структур систем управления. В этом случае термин «морфологический подход» применяется в более широком смысле.

Предложенные Ф. Цвикки методы нашли широкое применение как средство активизации изобретательской деятельности. А при моделировании задач автоматизации проектирования, задач планирования, например распределения заказов по плановым периодам, размещения их по производствам, линиям сборки и т.п., удобным средством оказался ММЯ, который охарактеризуем несколько подробнее.

Обратим внимание на тот факт, что при формировании морфологической таблицы (морфологического ящика) другие методы морфологического моделирования могут использоваться как вспомогательные.

***Модификации морфологического моделирования для задач планирования при позаказной системе производства однотипной продукции.*** В практике объемно-календарного планирования оказалось удобным как бы перевернуть двухмерный МЯ и комбинировать не элементы строк, а элементы столбцов (такие таблицы привычнее для работников плановых подразделений).

Рассмотрим модификацию метода морфологического ящика на упрощенном примере.

Предположим, что цех получает задание на производство продукции не в штуках, а в виде заказов, включающих изделия, одинаковые по трудоемкости изготовления, но имеющие определенные отличительные особенности (например, различную окраску, комплектацию и т.п.). Так может планироваться производство прибором разного рода, специального оборудования, автомобилей для экспорта, специализированных интегральных элементов электронных устройств и т.д.

Для простоты допустим, что речь пойдет о сборочном цехе и о производстве достаточно крупных изделий, объемы заказов которых исчисляются в штуках.

Пусть требуется выполнить следующие заказы:  $Z_1 = 10$ ,  $Z_2 = 20$ ,  $Z_3 = 30$ ,  $Z_4 = 40$ ,  $Z_5 = 50$ ,  $Z_6 = 60$  (объемы заказов даны в условных единицах; это могут быть либо изделия большого размера, либо объемы в

тысячах штук и т.п.). Для их выполнения в цехе имеются три взаимозаменяемые сборочные линии, по которым заказы нужно распределить по возможности более равномерно, но в то же время не дробить заказы на части, так как это усложняет ведение документации и учет поставок продукции заказчику.

Эта задача может быть отнесена к классу задач загрузки оборудования.

При постановке данной задачи с применением математического программирования целевая функция может, например, иметь следующий вид:

$$F = \sum_j \left( \Phi_j - \sum_i a_{ij} x_i \right) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $\Phi_j$  – общий фонд времени работы  $j$ -го вида оборудования (в данном случае линий сборки) в плановом периоде;

$x_i$  – количество изготавливаемых изделий  $i$ -го вида;

$a_{ij}$  – трудоемкость изготовления одного изделия  $i$ -го вида на  $j$ -м виде оборудования.

Таким образом, даже если не выполнять одно из требований задачи – не делить заказы на изделия, то и в этом случае задача не может быть представлена в форме наиболее исследованной и имеющей стандартное программное обеспечение задачи линейного программирования, разность в выражении (3) может менять знак (возможна либо недогрузка, либо перегрузка оборудования), т.е. целевая функция немонотонна и ее минимизация не имеет смысла. Разумеется, существуют подходы к решению задач в такой постановке. Однако применяемые приемы затрудняют понимание моделей и интерпретацию результатов на практике.

Известны эвристические алгоритмы решения этой задачи. Например, задаваясь  $\Phi_j$  и  $x_i$  и зная (из нормативно-справочной информации)  $a_{ij}$ , вычисляют фактическую трудоемкость изготовления всех изделий  $T_j$ , коэффициенты загрузки оборудования  $h$ , его пропускной способности  $\eta$ , перегрузку и недогрузку оборудования  $\Delta x_i$  и  $-\Delta x_i$ , по значениям которых судят о необходимости изменения  $x_i$ . Процедура повторяется до тех пор, пока не получены приемлемые значения  $+\Delta x_i$  и  $-\Delta x_i$  (рис. 2).

В таком эвристическом алгоритме можно учесть больше факторов производственного процесса; например, при вычислении можно учесть коэффициенты сменности, износа и переналадки оборудования и т.п.

Однако и этот алгоритм не позволяет выполнить одно из требований, содержащихся в условиях данной задачи, – не дробить заказы. Это требование можно выполнить, поставив задачу целочисленного программирования с булевыми переменными. Однако такая постановка в еще большей мере усложнит практическое использование модели.

Можно предложить и другие эвристические алгоритмы: расположить заказы в порядке возрастания и соединять крайние или просуммировать объемы заказов и разделить на число линий сборки, а затем пытаться подобрать усредненный объем.

Ввод $x_i, \Phi_j, a_{ij}$	
$T_j = \sum_i a_{ij} x_i$	
$h = T_j / \Phi_j$	
$\eta = \Phi_j / T_j$	
$x_{\Phi_j} = x_i h$	
$\eta < 1$	
Дефицит $-\Delta x_i = x_i - x_{\Phi_j}$	Резерв $+\Delta x_i = x_{\Phi_j} - x_i$
Вывод $\eta, h, -\Delta x_i, +\Delta x_i$	

**Рис. 2**

Однако, во-первых, при большом числе заказов эти алгоритмы также нереализуемы, а во-вторых, если в приводимом примере первый заказ имеет объем не 10, а 20 единиц, то сумма не делится на 3 без дробления не только заказов, но и изделий.

Рассмотрим возможность применения для решения этой задачи метода морфологического ящика\*.

Сформируем из заказов морфологическую матрицу – МЯ (табл. 1). Формировать МЯ будем не из векторов-строк, как в исходном варианте Ф. Цвикки, а из векторов-столбцов, что удобнее для работников плановых подразделений (похоже на привычные для них таблицы планов загрузки производств, кварталов и т.п.).

При формировании столбцов можно предложить какой-либо принцип объединения заказов в группы.

Например, в одном из вариантов применения этого метода при формировании МЯ для распределения заказов по кварталам было предложено объединить заказы в группы с учетом заказчиков

---

\* Впервые задача была исследована и программно реализована студентами И.Н. Фаенсон (на примере распределения заказов по кварталам) и Г.И. Корсуновой (на примере распределения заданий на выполнение проектов в НПО).

и приоритетности выполнения их заказов, и получены следующие группы: *экспортные* заказы, заказы *для других отраслей* и *внутриотраслевые* заказы.

В рассматриваемой задаче заказы вначале объединим подряд в 2 группы:  $A = \langle Z1, Z2, Z3 \rangle$  и  $B = \langle Z4, Z5, Z6 \rangle$  (табл. 1, а). Если приемлемое решение не будет получено, то МЯ можно переформировать, объединив заказы по-другому.

На основе полученной матрицы-«ящика» можно, комбинируя элементы столбцов (по одному из каждого столбца), образовать возможные размещения заказов по линиям сборки (обозначенным в МЯ  $L = \langle Л1, Л2, Л3 \rangle$ ), из которых далее нужно сформировать требуемое решение или варианты решения по принципу, приведенному на рис. 1, в, т.е. решение должно состоять из трех размещений, отражающих загрузку всех трех линий сборки; при этом один и тот же заказ не может планироваться для выполнения более чем на одной линии, и все заказы должны быть выполнены и войти в решение. Идея исключения заказов выбранных вариантов иллюстрируется табл. 1, в.

Таблица 1

а

L	A	B
Л1	Z1 = 20	Z4 = 40
Л2	Z2 = 20	Z5 = 50
Л3	Z3 = 30	Z6 = 60

б

L(I)	ZA(I)	OZA(I)	ZB(J)	OZB(J)
Л1	Z1	20	Z4	40
Л2	Z2	20	Z5	50
Л3	Z3	30	Z6	60

в

L(I)	ZA(I)	ZB(J)	S	Вариант решения								
				1			2			3		
Л1	1	4	60	-			-			-		
Л1	1	5	70	+			+			-		
Л1	1	6	80	-			-			+		
Л2	2	4	60		+							
Л2	2	5	70	-			-				+	
Л2	2	6	80		-			+			-	
Л3	3	4	70			-			+			+
Л3	3	5	80								-	
Л3	3	6	90	-		+	-			-		

Для автоматизации перебора вариантов размещений с повторениями нужно образовать разные массивы для символьной и числовой информации, т.е. отделить массивы наименований заказов  $ZA$  и  $ZB$ , которые нужно хранить и представлять ЛПП в символ-

ном виде, и объемы заказов  $OZA$  и  $OZB$  (числа), и связать массивы  $ZA - OZA$  и  $ZB - OZB$  общими переменными (табл. 1, б). Для сокращения перебора можно также связать общей переменной с массивом  $L$  один из массивов заказов.

Принципиальный алгоритм получения размещений с повторениями приведен на рис. 3, а. Пользуясь этим алгоритмом, можно получить область допустимых решений, т.е. возможных размещений заказов по линиям.

Если эта область получается очень большой, то в алгоритм можно ввести ограничения по суммарному объему  $S$  заказов, выполняемых на одной линии  $SMIN$  и  $SMAX$  (рис. 3, б), варьируя которыми, можно расширять и сужать область допустимых решений.

Далее применяют алгоритмы для исключения выбранных вариантов на каждом очередном шаге (первоначально эти алгоритмы были названы алгоритмами «вычеркивания»), которые приведены на рис. 3, в и г.

На практике крайне редко бывают ситуации, когда удается получить абсолютно одинаковую загрузку линий (или станков, кварталов и т.п.). Поэтому задача ставится как задача минимизации перегрузки или недогрузки оборудования, плановых периодов.

При этом, как видно из табл. 1, в, может получиться несколько вариантов решения, которые в отношении первоначального количественного критерия (числа изделий) равноценны.

Для уточнения решения можно ввести дополнительные критерии – трудоемкость, объем реализуемой продукции или прибыль от ее реализации и т.п., с помощью которых можно ограничивать область допустимых решений аналогично рассмотренному.

Кроме того, можно далее ввести качественные критерии. Например, из двух равноценных вариантов с перегрузкой одной из линий можно выбрать вариант с перегрузкой линии, на которой производятся хорошо отработанные конструкции изделия, и, напротив, недогрузить линию, на которой производится вновь осваиваемое изделие.

Аналогично при решении задачи загрузки плановых периодов можно выбрать вариант, в котором недогружен летний квартал, на который приходится наибольшее число отпусков, или учесть критерий пожелания приоритетного заказчика выполнить его заказ пораньше.

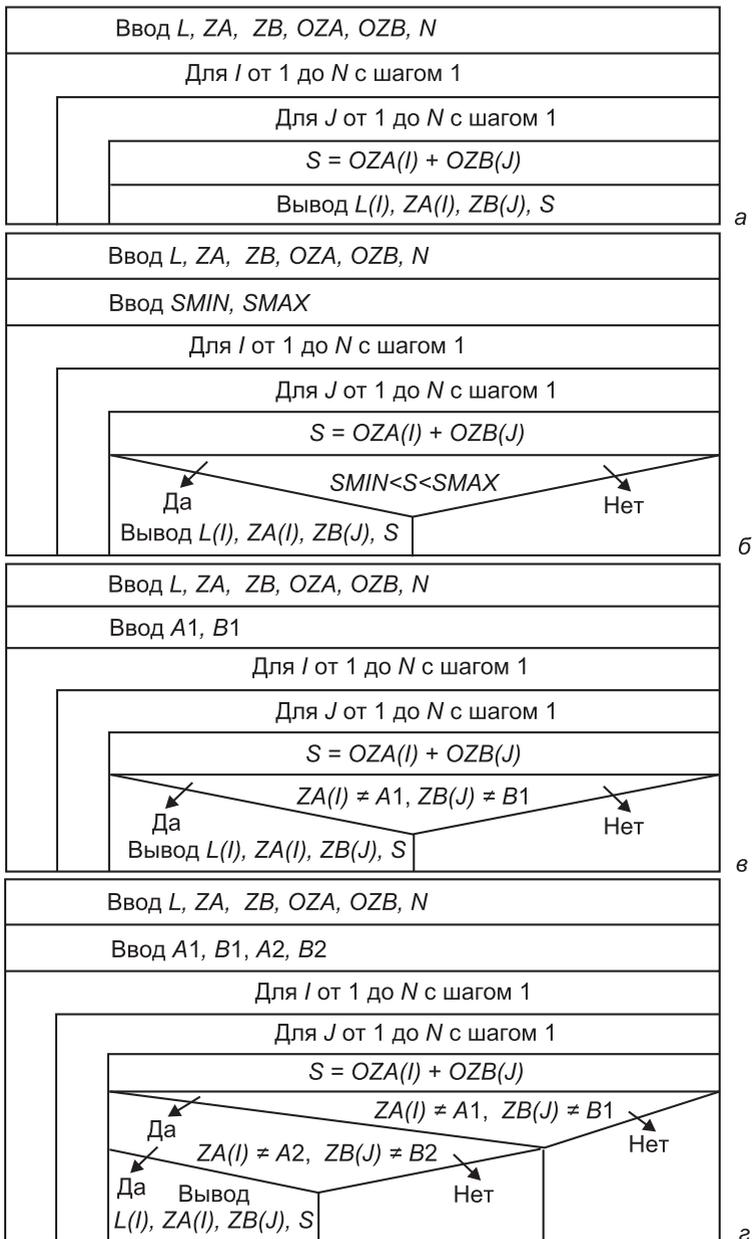


Рис. 3

Таким образом, применяя морфологический подход, получаем человеко-машинную процедуру принятия решений, которая позволяет в интерактивном режиме выбирать варианты решения, последовательно уточнять критерии, а при необходимости – возвратиться и переформировать МЯ.

Отметим, что с помощью морфологического подхода фактически получена методика постепенного ограничения области допустимых решений. Иными словами, морфологический подход оказался методом активизации, который помогает ЛПР в постановке задачи и организации поиска ее решения, т.е. в постепенной формализации задачи.

В математическом отношении рассмотренная процедура не является процедурой оптимизации. Ее можно квалифицировать как *постепенно ограничиваемый перебор*.

В реальных условиях принципы постановки задачи и разработки алгоритмов сохраняются, но конкретизируются с учетом особенностей задач и условий производства. Особая необходимость в использовании морфологического подхода возникает в условиях разнотипного производства.

***Планирование загрузки оборудования в условиях позаказного производства разнотипной продукции\****. Предположим, что при распределении годовой производственной программы разнотипного производства по кварталам нужно учесть следующие производственно-экономические факторы: наличие изделий с длительностью производственных циклов, превышающей плановый период (квартал); незавершенное производство на начало и конец года (переходящие заказы или партии изделий); сроки и количество изделий, в том числе заказами и партиями; возможность варьирования размерами партий изделий; концентрацию выпуска одноименных и конструктивно однородных изделий в одном или смежных плановых периодах (в качестве показателей конструктивной однородности можно ввести коэффициент конструктивной преемственности изделий) и т.п.

Основным критерием, как и в предыдущей задаче, будем считать требование равномерной загрузки оборудования (по разным производствам или в разных плановых периодах, в нашем случае – кварталах), которую формально можно выразить в виде допусти-

---

\* Пример подготовлен студенткой СПбГТУ И.В. Корнеевой.

мых отклонений от среднеквартальной загрузки, уменьшением которой можно сузить область допустимых решений, а увеличением – расширить ее.

Ограничение перебора возможных вариантов размещения заказов или партий изделий по плановым периодам определяется прежде всего принципами формирования МЯ. В частности, в рассматриваемой задаче координаты МЯ определяются следующим образом: число строк в МЯ равно числу плановых периодов, т.е. по 4 кварталам ( $K_i$ ), число столбцов зависит от числа заказов и партий и от конкретных производственно-экономических условий производства.

Например, для учета производственно-экономических факторов, рассмотренных в начале постановки задачи, в МЯ можно выделить следующие столбцы (табл. 2):

1) специальные заказы  $CЗ_j$ , сроки выпуска которых жестко заданы и привязаны к соответствующему кварталу (в МЯ это отражается общим индексом у кварталов и заказов, т.е. общей переменной); 2) заказы  $Д_j$ , изделия которых имеют длительность производственного цикла больше квартала; 3) изделия серийного и массового выпуска  $P_j$ , распределяемые равномерно (пропорционально числу рабочих дней); 4) распределяемые заказы и партии изделий  $PЗ_j$ , сроки которых жестко не заданы; 5) распределяемый заказ  $PЗ5_j$ , изделия которого имеют длительность производственного цикла три квартала и в связи с этим разделены на три условных заказа  $PЗ_{51}'$ ,  $PЗ_{52}'$ ,  $PЗ_{53}'$  (для сокращения перебора эти заказы связаны общим индексом с заказами группы  $PЗ_j$ , но могли бы иметь и независимый индекс); 6) заказы и партии конструктивно однородных (с

Таблица 2

Квартал $K_i$	I. Регламентированная часть ГППЗ			II. Конструктивно-однородные изделия	III. Распределяемые заказы		IV. Прочие заказы и партии изделий		
	1	2	3		4	5	6	7	8
	$CЗ_j$ $OCЗ_j$	$Д_j$ $ODЗ_j$	$P_j$ $ONP_j$		$KO_j$ $OKO_j$	$PЗ_j$ $OPЗ_j$	$PЗ5_j$ $OPЗ5_j$	$PЗ_{11}'$ $OPЗ_{11}'$	$PЗ_{51}'$ $OPЗ_{51}'$
$K_1$	$A_1 = 5$	$Д_1' = 5$	$B_1 = 250$	$KO_1 = 3$	$PЗ_1 = 10$	$PЗ_{51}' = 4$	$PЗ_{11}' = 5$	$PЗ_{31} = 4$	
$K_2$	$C_2 = 25$	$Д_2' = 5$	$B_2 = 250$	$KO_2 = 10$	$PЗ_2 = 2$	$PЗ_{52}' = 4$	$PЗ_{12}' = 15$	$PЗ_{32} = 4$	
$K_3$	$E_3 = 2$	–	$B_3 = 250$	$KO_3 = 2$	$PЗ_3 = 5$	$PЗ_{53}' = 4$	$PЗ_{21}' = 10$	$PЗ_{41} = 2$	
$K_4$	$C_4 = 25$	–	$B_4 = 250$	–	$PЗ_4 = 8$	–	$PЗ_{22}' = 20$	$PЗ_{42} = 2$	

изделиями заказов  $C_3$ ) изделий  $KO_i$ , которые целесообразно изготавливать в том же квартале, что и специальные заказы  $C_3$ , имеющие конструктивную однородность с ними (что и отражено общим индексом  $i$ ); 7) и 8) – прочие заказы и партии изделий  $PZA_i$  и  $PZB_i$ , количество изделий в которых может меняться (что отражается в модели путем формирования МЯ). Например, в приведенном МЯ заказ  $PZ_1$  разделен на партии, содержащие 5 и 15 изделий; заказ  $PZ_2$  – на партии из 10 и 20 изделий; изделия заказа  $PZB$  имеют производственный цикл два квартала, и заказы  $PZ_3$  и  $PZ_4$  разделены на партии, состоящие из четырех и двух изделий. Столбцы 7 и 8 в общем случае могут быть не связаны индексом (переменной). В этом случае при выборе вариантов решения нужно учитывать, что  $PZ'_{32}$  выполняется после  $PZ'_{31}$  (т.е. в следующем квартале), а  $PZ'_{42}$  – после  $PZ'_{41}$  (чтобы это не учитывать в алгоритме выбора решения, нужно столбец 8 в МЯ связать с кварталами общей переменной).

Кроме того, в МЯ, приведенном в качестве примера в табл. 2, учтено, что  $A_1$  – заказ, переходящий с предыдущего года, поэтому он помещен в первую строку (первый квартал) и в первый столбец заказов, связанный общим индексом со столбцом кварталов; заказ  $E_3$  обязательно должен быть выпущен в третьем квартале, заказ  $C$  выпускается двумя партиями по 25 штук во втором ( $C_2$ ) и четвертом ( $C_4$ ) кварталах (они тоже помещены в первый столбец, связанный переменной с кварталами); заказ  $D_i$  с длительностью цикла два квартала должен быть завершен во втором квартале (для этого  $D_i$  разделен на части  $D_1'$  и  $D_2'$ , которые помещены в первый и второй кварталы также путем образования столбца, связанного общей переменной со столбцом кварталов). Оценка каждого заказа обозначена индексом этого заказа с буквой «О» перед ним.

В целом правила формирования МЯ определяются конкретными производственно-экономическими условиями и эвристическими правилами, которыми руководствуются работники плановых подразделений предприятия. Эти правила полезно сформулировать, создать автоматизированную диалоговую процедуру формирования МЯ в виде экспертной системы, постепенно накапливающей новые правила, возникающие в реальных условиях производства, и на основе этого опыта совершенствовать и ускорять процессы планирования.

Обратим внимание, что в приведенном примере число размещений заказов и партий по кварталам  $R = 4^4 = 256$ , а если бы не было столбцов, связанных переменными, то область допустимых решений была бы существенно больше.

Дальнейшее сокращение числа вариантов размещения достигается за счет критериев, ограничивающих область принятия решений последовательным их введением. Прежде всего (как и в уже рассмотренном упрощенном примере) следует учесть крите-

рий равномерной загрузки (или минимальной перегрузки либо недогрузки кварталов).

При этом следует иметь в виду, что если в случае однотипного производства можно было в качестве исходного критерия использовать количество изделий, то при разнотипном производстве необходимо сразу в качестве критерия выбирать трудоемкость.

В реальных условиях не всегда удается определить усредненную трудоемкость для всего технологического цикла сложного изделия, и тогда общая оценка трудоемкости может быть заменена несколькими оценками трудоемкости изготовления изделия на разных производствах или с использованием разных видов оборудования. В последнем случае можно первоначально разделить общую задачу планирования на ряд подзадач загрузки отдельных участков или видов оборудования (например, сборка, окраска, регулировка и т.д.), получить для этих участков варианты равномерной загрузки, а затем сформировать сетевые модели вариантов технологического цикла изделия.

В качестве дополнительного критерия можно использовать ограничение по фондам материально-технического снабжения, т.е. учесть предварительно составленный план получения предприятием соответствующих материалов, покупных полуфабрикатов, комплектующих изделий и т.п., и повлиять на изменение этого плана. В числе дополнительных критериев могут быть использованы такие, как объем реализуемой продукции, себестоимость, прибыль, расход заработной платы, а также уже рассмотренные качественные критерии.

Расширению практического применения МЯ существенно способствует автоматизация морфологического моделирования. При этом важно автоматизировать не только получение вариантов решения, т.е. собственно перебор, но и получение оценок этих вариантов, и даже формирование МЯ.

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С.142–145, 394–404. 2. Одрин В. М. Метод морфологического анализа технических систем / В.М. Одрин. – М.: ВНИПИ, 1989. 3. Одрин В. М. Морфологический анализ систем / В.М. Одрин, С.С. Картавов. – Киев: Наукова думка, 1977. 4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 91–95, 231–244. 5. Zwicky F. Morphological astronomy / F. Zwicky: Berlin: Springer-Verlag, 1957. 6. Zwicky F. Morphology of justice in the space age and the Boundaries at Outer space / F. Zwicky // Automatica Acta. – 1969. – № 14. – P. 615–626. *В.Н. Волкова, В.А. Дуболазов*

**МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ** – термин, применяющийся для названия систем, предназначенных для организации взаимодействия с разнородными источниками информации.

Развитие мультиагентных систем (МС) явилось следствием интенсивного развития гетерогенных сетей. *Гетерогенными* считаются сети, построенные на основе использования неоднородных вычислительных, коммуникационных, информационных ресурсов и технологий.

МС применяются в целях ускорения сбора и обработки информации.

В работах по тематике агентно-ориентированных систем *агент* определяется как вычислительная система, которая реализуется на основе концепций, наиболее применимых к людям [1]. На практике понятие агента отождествляется с определением вычислительной системы, обладающей набором свойств, совокупность которых обеспечивает относительно интеллектуальное поведение. Основными свойствами агентов являются: реактивность, активность, коммуникативность, автономность, рассудительность, обучаемость.

Под *реактивностью* понимается способность к выполнению определенных действий при поддержке взаимосвязи с окружающей средой (окружением, внешним миром). В зависимости от характера процессов сопряжения определенных действий различают три варианта их объединения:

- жесткая схема сопряжения действий по заранее подготовленному плану, который не изменяется в процессе функционирования агента, например, системы TSIMMIS [2], Infomaster [3, 4], Information Manifold [5];
- гибкая схема сопряжения действий по заранее подготовленному плану, который может изменяться в процессе функционирования агента, например, системы Ossam [6, 7], Sage [8], XII [9, 10];
- априорно неопределенная схема действий по причине отсутствия модели среды, например, TRIAL [11].

*Активность* трактуется как способность к целенаправленному поведению для достижения заданной цели, устанавливаемой самостоятельно или извне. Сложно организованный агент может обладать инициативностью определенного характера, например, BDI-агенты [12].

*Коммуникативность* рассматривается как способность агентов взаимодействовать между собой и с людьми в целях обмена

информацией [13]. На более высоком уровне в мультиагентной системе может проявляться способность к сотрудничеству (кооперации) для совместного решения задач [14].

*Автономность* подразумевает способность функционировать независимо от внешних управляющих воздействий при решении целевых задач. Высокой автономности агентов способствуют адаптивность алгоритмов работы [15], обучаемость [16], поддержка действий при неполной информации [10, 6], способность работать в стохастических средах [17]. Высокой степенью автономности обладают мобильные агенты, основной задачей которых является перемещение (миграция) между объектами вычислительной сети с целью сбора информации. Примером такой реализации является система мобильных агентов MOLE [18].

*Рассудительность* связывается со способностью действовать в соответствии с имеющимися в распоряжении агента знаниями.

*Обучаемость* сводится к способности приобретения и использования новых знаний.

Разнообразные функции, выполняемые агентами, объединяются по группам в соответствии с характером их спецификаций. При объединении выделяются основные группы функций. Среди них группа функций по организации взаимодействия с пользователем, группа функций по организации взаимодействия с информационными системами и группа специализированных функций [1].

При организации взаимодействия с пользователем решаются следующие типичные задачи:

- обеспечение интуитивно понятного интерфейса;
- представление информации в удобном виде (формирование графиков с автомасштабированием, озвучивание, анимация);
- предоставление возможностей по гибкой автоматической и ручной адаптации интерфейса под нужды конкретного пользователя.

Агенты, выполняющие функции по организации взаимодействия с пользователем, относятся к категории интерфейсных.

При организации взаимодействия с информационными системами осуществляется разделение функций по уровням. К первому уровню относятся действия, связанные с совместным решением задач несколькими интеллектуальными агентами. Второму уровню ставятся в соответствие действия по обмену информацией с различными неинтеллектуальными информационными источниками.

Агенты, реализующие функции по организации взаимодействия с информационными системами, называются информационными. При организации взаимодействия с информационными системами решаются такие типичные задачи, как:

- извлечение информации из внешних информационных источников в ответ на однократные и периодические запросы;
- мониторинг информационных источников;
- планирование запросов;
- диспетчеризация запросов.

Агенты, выполняющие специализированные функции, представляются как агенты заданий.

В общепринятой классификации выделяют следующие виды информационных агентов:

- базовые, которые отвечают за взаимодействие с одним информационным источником;
- агенты-диспетчеры, которые обеспечивают планирование и диспетчеризацию запросов ко многим информационным источникам.

Для создания унифицированной системы сбора и обработки информации в гетерогенной сети важнейшей группой функций является организация взаимодействия с информационными системами. Эта группа включает в себя как функции обеспечения обмена информацией или совместного решения задач с другими агентами, которые автономны, обладают гибкой логикой работы и поддерживают высокоуровневое взаимодействие, так и функции обеспечения обмена информацией с различными неинтеллектуальными информационными источниками, которые, как правило, пассивны и имеют жесткую логику работы. Агенты, ориентированные на решение подобных задач, называются интеллектуальными информационными агентами.

Динамически меняющееся окружение, присущее взаимодействию пользователей гетерогенных сетей с информационными источниками, обусловило необходимость введения систем планирования в архитектуру интеллектуальных информационных агентов.

Функциональная схема интеллектуального информационного агента (ИИА) приведена на рис.1.

ИИА различаются по модели поведения. Среди известных реализаций выделяются три разновидности: реактивная, проактивная и гибридная. Реактивная модель поведения ориентирова-

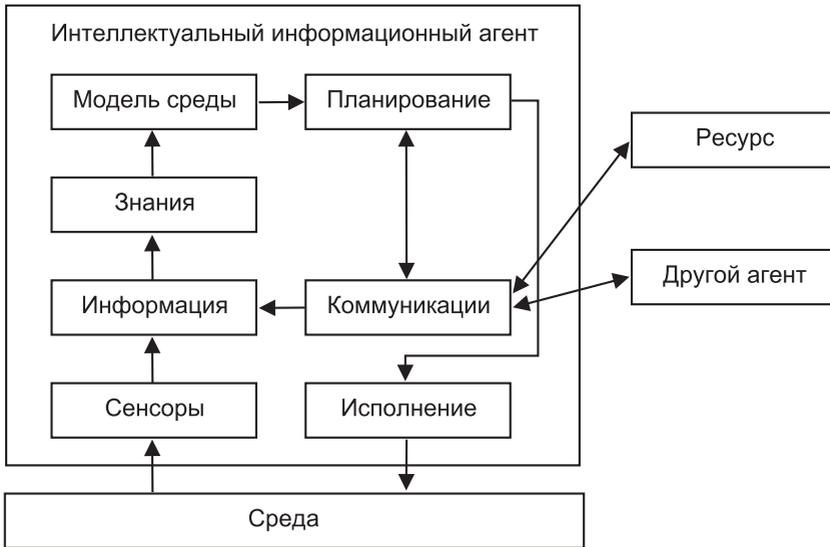


Рис. 1

на на выполнение predetermined набора действий в зависимости от текущего состояния среды. При проактивной модели поведения генерация и исполнение плана действий осуществляются на основе имеющихся в распоряжении агента знаний и поставленной цели. Ведущими факторами, влияющими на функциональность проактивных агентов, являются качество модели среды, корректность выбора целей и способность генерировать и исполнять план действий, обеспечивающий достижение поставленной (выбранной) цели. При гибридной модели агенты в разные моменты времени демонстрируют как реактивное, так и проактивное поведение.

Адекватное использование теории планирования действий агентов повышает эффективность работы МС и существенно расширяет круг решаемых ими задач.

МС с большим числом агентов, функционирующим в однородных средах с надежными коммуникациями, присущи следующие особенности:

- выделение нескольких уровней субагентов, каждому из которых ставится в соответствие определенная задача, связанная с исполнением, управлением знаниями или планированием действий;

- централизация ресурсоемких подсистем, ориентированная на эффективное использование вычислительных ресурсов;
- расширение множества агентов-исполнителей с простой реализацией и невысокими требованиями к ресурсам;
- обеспечение высокой надежности коммуникаций между различными уровнями;
- введение и применение резервной стратегии поведения на случай изоляции агента-исполнителя.

МС, обладающие подобными особенностями, имеют распределенную субагентную архитектуру, основные элементы которой представлены на рис. 2.

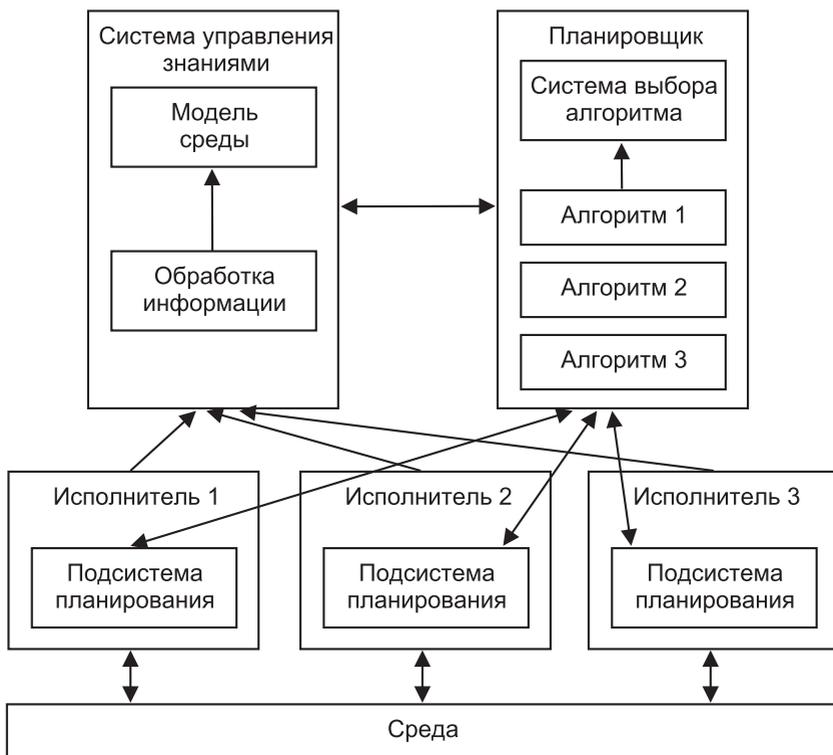


Рис. 2

Такие системы, функционирующие в разнородных средах большой размерности и требующие генерации сложных планов при ограниченных ресурсах, характеризуются следующими особенностями:

- организация и использование агентами централизованной универсальной системы выбора алгоритма планирования;
- обеспечение относительной простоты реализации за счет исключения множественных копий системы выбора алгоритма планирования;
- предоставление агентами системе выбора информации о среде, о задаче планирования и возможных вариантах предпочтения;
- обеспечение высокой надежности коммуникаций между агентами и системой выбора алгоритма планирования;
- активизация алгоритма планирования по умолчанию в случае недоступности системы выбора.

Специфика МС с внешней системой выбора отражена на рис. 3.

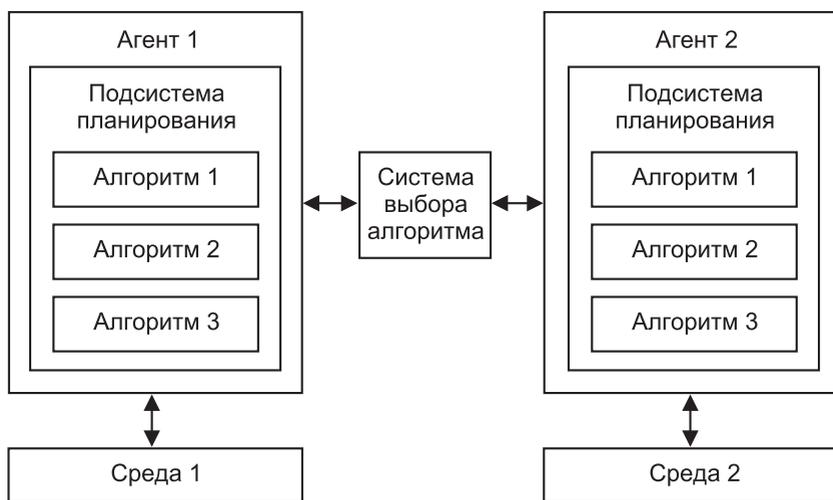


Рис. 3

МС проектируются на основе интеграции информационных и коммуникационных технологий, развивая их наукоемкую сущность и расширяя представительность эффективных средств индустрии информации.

- 1. Wooldridge M. Intelligent Agents: theory and Practice / M. Wooldridge, N.R. Jennings // The Knowledge Engineering Review. Vol.10, 1995, № 2. P. 115–152.
- 2. Garcia Molina H. Integrating and Accessing Heterogeneous

Information Sources in TSIMMIS. / H. Garcia-Molina, J. Hammer, K. Ireland, Y. Papakonstantinou, J. Ullman, J. Widom. // Proceedings of the AAAI Symposium on Information Gathering. Menlo Park (California): AAAI Press, 1995, P. 61–64.

3. D u s c h k a O. Query Optimization Using Local Completeness / O. Duschka. // Proceedings of the Fourteenth AAAI National Conference on Artificial Intelligence and The Ninth Annual Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence. Cambridge (Miami): MIT Press, 1997, P. 249–255.

4. D u s c h k a O. Query Planning and Optimization in Information Integration. Dissertation. / O. Duschka. Stanford: Stanford University, 1997, P. 1–20.

5. L e v y A. Query-Answering Algorithms for Information Agents. / A. Levy, A. Rajaraman, J. Ordille // Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence and The Eighth Annual Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence. Cambridge (Miami): MIT Press, 1996, Vol. 1, P. 40–47.

6. K w o k C. Planning to Gather Information / C. Kwok, D. Weld. // Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence and The Eighth Annual Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence. Cambridge (Miami): MIT Press, 1996, Vol. 1, P. 32–39.

7. E t z i o n i O. Efficient Information Gathering on the Internet / O. Etzioni, S. Hanks et al. // Proceedings of the 37<sup>th</sup> Annual Symposium on Foundations of Computer Science. IEEE, 1996, P. 234–243.

8. K n o b l o c k C. Planning, Executing, Sensing and Replanning for Information Gathering. / C. Knoblock // Proceedings of Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann Publishers, 1995, P. 1686–1693.

9. G o l d e n K. Sound and Efficient Closed-World Reasoning for Planning / K. Golden, O. Etzioni, D. Weld. // Artificial Intelligence, 1997, Vol.89, P. 113–148

10. E t z i o n i O. Tractable closed-world reasoning with updates / O. Etzioni, K. Golden, D. Weld // Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Morgan Kaufmann Publishers, 1994, P. 178–189.

11. B e n s o n S. Learning Action Models for Reactive Autonomous Agents. Dissertation / S. Benson. Stanford: Stanford University, 1996, P. 1–6.

12. B r a z i e r F. Intentions and DESIRE / F. Brazier, B. Dunin-Keplicz et al. // Proceedings of the 10<sup>th</sup> Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-based Systems Workshop. Calgary (Alberta): SRDG Publications, University of Calgary, 1996, P. 22/1–22/15.

13. G a i n e s B. The Emergence of Knowledge through Modelling and Management Process in Societies of Adaptive Agents / B. Gaines. // Proceedings of the 10<sup>th</sup> Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-based Systems Workshop. Calgary (Alberta): SRDG Publications, University of Calgary, 1996, P. 24/1–24/13.

14. L a n d e r S. Sharing Meta-Information to Guide Cooperative Search among Heterogeneous reusable Agents / S. Lander, V. Lesser. // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1997. Vol. 9. № 2, P. 193–208.

15. A l t e r m a n R. Issues in adaptive planning / R. Alterman. Berkley (California): University of California, 1986, P. 39.

16. S u t t o n R. Reinforcement Learning: An Introduction / R. Sutton, A. Barto. // Cambridge (Miami): MIT Press, 1998, P.432.

17. K o e n i g S. Optimal Probabilistic and Decision-Theoretic Planning using Markovian Decision Theory / S. Koenig. // Berkley (California): University of California, 1991, P. 6–28.

18. S t r a b e r M. Mole – A Java Based Mobile Agent System / M. Straber, J. Baumann, F. Hohl. // In M. Muhlhauser: (ed.), Special Issues in Object Oriented Programming. Dpunkt Verlag, 1997, P.301–308.

*Л.К. Птицына*

«НАБЛЮДАТЕЛЬ» – обобщающее название исследователя, проектировщика, конструктора, лица, принимающего решения (ЛПР), коллектива ЛПР и других аналогичных субъектов, изучающих, создающих систему или управляющих ею.

Впервые на необходимость учета взаимодействия между исследователем и системой обратил внимание У.Р. Эшби [2, 3]. А начиная с 60-х гг. XX в., на необходимость учета в моделях лица, осуществляющего моделирование или проводящего эксперимент, не только в теории познания, но и физике стали обращать все большее внимание.

В определение *системы* (см.) понятие *наблюдателя* ( $N$ ) ввел Ю.И. Черняк [1], который включает этап «Определение наблюдателя» в качестве одного из первых этапов системного анализа и предлагает при выполнении этого этапа прежде всего определить позицию наблюдателя по отношению к объекту.

Возможны две основные позиции наблюдателя:

- $N$  может быть отделен от объекта и осуществлять его исследование как бы со стороны;
- $N$  может сливаться с объектом, составляя его неотъемлемую часть, что обычно имеет место в системах управления и часто не принимается во внимание, а это может оказать существенное влияние на результаты исследования и принятия решений.

Выбор положения  $N$  зависит от того, каким видом системы отображается объект: в случае *закрытой системы* (см.) она представляет собой пару «наблюдатель – объект», в случае *открытой системы* (см.) устанавливается взаимоотношение трех категорий «наблюдатель – объект – среда».

С учетом среды возможны три состояния наблюдателя:

- $N$  отделен от объекта и среды;
- $N$  сливается с объектом;
- $N$  сливается со средой.

От выбора положения наблюдателя существенно зависят результаты *диагностики* предприятия (организации).

В случае, когда на начальном этапе положение наблюдателя (ЛПР) не определено, может быть создана нереализуемая, не способная принимать решения система управления, поскольку решения могут выходить за пределы компетенции ее руководите-

лей, а обладающие правом принимать решения лица находятся вне системы (например, в вышестоящих органах управления).

- 1. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. 2. Э ш б и У. Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Изд-во Иностран. лит., 1959. 3. Э ш б и У. Р. Конструкция мозга: происхождение адаптивного поведения / У.Р. Эшби. – М.: Мир, 1962. В.Н. Волкова

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ (НТИ)** – информация о достижениях научно-технического прогресса, зафиксированная в документальных источниках. НТИ играет важную роль в прогнозировании и управлении, в проведении системного анализа проблемы.

Носители научно-технической информации принято делить на два больших класса: *первичные* и *вторичные*.

В табл. 1 приведены примеры документов и изданий, регламентируемых соответствующими нормативными документами в начале создания системы НТИ в стране. Основные виды этих документов сохраняются и в настоящее время, но несколько видо-

Таблица 1

Класс	Наименование документов и изданий
Первичные документы и издания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• опубликованные документы: книги (монографии, сборники, учебные издания и т.п.), официальные издания, периодические и продолжающиеся издания;</li> <li>• специальные виды технических изданий: нормативно-методическая и нормативно-техническая документация (стандарты, технические условия, положения о подразделениях и т.п.), патентно-лицензионная документация и информация об изобретениях и открытиях, промышленные каталоги, информационные листки;</li> <li>• неопубликованные документы: депонированные рукописи, отчеты о выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, чертежно-конструкторская документация, диссертации и т.п.</li> </ul>
Вторичные документы и издания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• реферативные журналы (РЖ);</li> <li>• экспресс-информации органов НТИ;</li> <li>• обзорные информации: реферативные и аналитические обзоры (разовые и периодические);</li> <li>• информационные издания по патентам, стандартам и промышленным каталогам</li> </ul>

изменяются, дополняются, особенно по мере развития средств автоматизации информационных процессов и машинных носителей хранения информации.

Существуют различные виды научно-информационного обслуживания. Основными можно считать следующие:

- *регламентное обслуживание* в форме подготовки и издания обзорных и реферативных информаций, библиографических указателей и т.п., или обслуживание по стандартным запросам;
- оповещение отдельных специалистов (абонентов) о текущих публикациях, представляющих для них потенциальный интерес, путем *избирательного* (адресного) *распределения информации* (ИРИ) по «профилям интересов», сформулированных потребителями, или *дифференцированного обслуживания руководителей* (ДОР) по мере поступления информации, необходимой для принятия управленческих решений;
- *ретроспективный поиск*, т.е. отыскание документов, в которых находятся сведения по конкретным запросам, в массиве всех накопленных источников информации, что может осуществляться либо в форме подготовки тематических подборок, либо в оперативном режиме.

В дальнейшем предлагались различные классификации видов обслуживания. В частности, в [2, С. 247] приводится обобщенная классификация по нескольким признакам (табл. 2).

Способы реализации видов и форм обслуживания зависят от вида, назначения и способа реализации конкретной системы НТИ.

В современных условиях распространены режимы обслуживания в форме он-лайнного доступа к базам данных автоматизированных ИПС и предоставления информации на CD-ROM.

Для эффективного информационного обслуживания необходимо выявлять информационные потребности. Поэтому изучение запросов потребителей информации является первоочередной задачей научно-информационной деятельности. Задача эта является весьма сложной, поскольку потребители, как правило, не умеют четко сформулировать свои потребности, и они уточняются по мере работы с получаемой информацией.

Проблема изучения информационных потребностей и запросов потребителей информации может решаться на основе статистических исследований информационных потоков, изучения их закономерностей, таких, как экспериментально открытый закон рангового распределения Ципфа [4, 8], теоретически уточняющий

Признак классификации	Вид обслуживания
По источнику инициативы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• принудительное</li> <li>• по запросам потребителей</li> </ul>
По типам документов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• обслуживание опубликованными документами и/или их копиями</li> <li>• обслуживание копиями неопубликованных документов (отчетов по НИР, диссертаций, переводов и т.п.)</li> </ul>
По направленности или адресности	<ul style="list-style-type: none"> <li>• информационные издания (много адресов)</li> <li>• избирательное распределение информации (один адрес)</li> </ul>
По периодичности или срочности	<ul style="list-style-type: none"> <li>• текущее оповещение</li> <li>• ретроспективный поиск</li> </ul>
По способу доведения документов до потребителей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• непосредственная передача документов или их копий потребителям</li> <li>• двухступенчатое обслуживание (вначале информационное издание-сигнал, а затем – копии заинтересовавших потребителя документов)</li> </ul>
По назначению, цели	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ознакомление</li> <li>• для практического использования</li> </ul>

его закон Мальденброта, закономерности упорядочения параметров документальных информационных потоков Брэдфорда, Векери, закономерность концентрации-рассеяния, исследованная В.И. Горьковой [4, 5, 7 и др.] применительно к проблемам определения информационных потребностей и т.п.

Перспективным представляется определение запросов потребителей на основе структуризации целей и функций деятельности руководителей (при обслуживании в режиме ДОР) или специалистов (обслуживаемых в режиме ИРИ).

- 1. Михайлов А.И. Основы информатики / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский – М.: Наука, 1968.
- 2. Михайлов А.И. Научные коммуникации и информатика / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1976.
- 3. Информационные системы: учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998.
- 4. Горькова В.И. Ранговое распределение на множествах научно-технической информации / В.И. Горькова // НТИ, сер. 2. – № 7. – 1969.
- 5. Горькова В.И. Научно-техническая информация и автоматизированные системы управления / В.И. Горькова, В.Н. Волкова // Проблемы экономической информации. – М.: Наука, 1975. – С. 74–82.
- 6. Горькова В.И. Анализ документальных информационных потоков и запросов потребителей информации: лекции / В.И. Горькова, Т.И. Гусева. – М.: ИПКИР, 1974.
- 7. Горь-

кова В.И. Совершенствование системы информационного обеспечения на основе статистического анализа информационных потребностей специалистов / В.И. Горькова, Б.В. Петренко. – Минск: БелНИИНТИ, 1973. 8. Шрейдер Ю.А. О возможности теоретического вывода статистических закономерностей текста (к обоснованию закона Ципфа) / Ю.А. Шрейдер // Проблемы передачи информации, 1967, т.3, вып. 1. – С. 5–11, 57–63. *В.Н. Волкова*

**НЕЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ** – раздел теории оптимизации (теории экстремальных задач), посвященный исследованию и решению задач минимизации (максимизации), в которых целевая функция и ограничения не являются линейными. К нелинейному программированию (НЛП) относят *квадратичное* (см.), *дробное*, *выпуклое* (см.), *дискретное* (см.), *целочисленное* и *геометрическое программирование*.

В общем виде задачу НЛП можно сформулировать так:

$$F(x) \rightarrow \min (\max)$$

при условиях

$$g(x) \leq 0,$$

где  $x$  – вектор искомых переменных;

$F(x)$  – целевая числовая функция;

$g(x)$  – вектор-функция системы ограничений.

При этом могут быть разные случаи: целевая функция нелинейная, а ограничения линейные; целевая функция линейная, а ограничения (хотя бы одно из них) нелинейные; целевая функция и ограничения нелинейные.

Решение задачи НЛП (поиск глобального минимума или максимума) состоит в отыскании таких значений переменных, подчиненных системе ограничений, при которых достигает минимума или максимума данная целевая функция.

При решении некоторых нелинейных задач иногда удается использовать линейную теорию. Для этого вводят допущение, что на том или ином участке целевая функция возрастает или убывает пропорционально изменению переменных. Такой подход называется *методом кусочно-линейных приближений*.

Нелинейные задачи с ограничениями в форме равенств нередко решаются с помощью введения *функции Лагранжа*. Среди большого числа вычислительных алгоритмов НЛП значительное место занимают различные варианты градиентных методов (*ме-*

тод проекции градиента, метод условного градиента и т.п.), методы штрафных функций, методы барьерных функций, метод модифицированных функций Лагранжа и др.

Универсального метода, позволяющего находить наиболее эффективным способом решение любой нелинейной задачи, не существует. Поэтому для каждой конкретной задачи, учитывая ее специфику, подбирают тот или иной наиболее подходящий метод (и алгоритм) решения.

- 1. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф.П. Васильев. – М.: Наука, 1988. 2. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, Н. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. 3. Зангвилл У. И. Нелинейное программирование. Единый подход / У.И. Зангвилл. – М.: Наука, 1973. 4. Иоффе А. Д. Теория экстремальных задач / А.Д. Иоффе, В.М. Тихомиров. – М.: Наука, 1974. 5. Кюнцци Г. П. Нелинейное программирование / Г.П. Кюнцци, В. Крелле. – М.: Мир, 1965. 6. Ляшенко И.Н. Линейное и нелинейное программирование / И.Н. Ляшенко, Е.А. Карагодова и др. – Киев: Вища школа, 1975. 7. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 375–376. 8. Моисеев Н. Н. Методы оптимизации / Н.Н. Моисеев, Ю.П. Иванюков, Е.М. Столярова. – М.: Наука, 1978. 9. Ногин В. Д. Основы теории оптимизации: учеб. пособие / В.Д. Ногин, И.О. Протодяконов, И.И. Евлампиев – М.: Высшая школа, 1986. 10. Полак Э. Численные методы оптимизации. Единый подход / Э. Полак. – М.: Мир, 1974. 11. Пшеничный Б. Н. Численные методы в экстремальных задачах. / Б.Н. Пшеничный, Ю.М. Данилин. – М.: Наука, 1975. 12. Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование / Дж. Хедли. – М.: Мир, 1967. В.Д. Ногин, В.Н. Юрьев

**НЕЧЕТКИЕ, ИЛИ РАЗМЫТЫЕ, МНОЖЕСТВА** – понятие, предложенное американским специалистом в области теории управления Л.А. Заде в 1965 г. [1, 2 и др.] для описания и исследования сложных систем, когда применение точного количественного анализа оказывается малоэффективным. К настоящему времени уже можно говорить об обширном разделе «*нечеткая математика*», который активно используется при рассмотрении задач экономического, социального, политического характера, в психологии, распознавании и классификации образов, в лингвистике и теории языков и т.д.

Пусть имеется некоторое (так называемое *универсальное*) множество  $A$ . *Нечеткое множество*  $X$  в  $A$  задается своей *функцией принадлежности*  $\mu_X$ , ставящей в соответствие каждому элементу  $x$  множества  $A$  определенное число  $\mu_X(x)$  из отрезка  $[0, 1]$ , которое

интерпретируется как степень принадлежности элемента  $x$  нечеткому множеству  $X$ . Пустому нечеткому множеству соответствует функция принадлежности, тождественно равная нулю на множестве  $A$ .

Нечеткие множества  $X$  и  $Y$  считают *равными*, и при этом пишут  $X=Y$ , если совпадают их функции принадлежности. Нечеткое множество  $X$  называется *подмножеством* нечеткого множества  $Y$ , если их функции принадлежности связаны неравенством  $\mu_X(x) \leq \mu_Y(x)$  для всех  $x$  из множества  $A$ .

Примерами нечетких могут служить множества «чисел, близких к нулю», «очень больших чисел», «новых предприятий», «больших городов», «знаков, похожих на букву  $A$ » и т.д.

В прикладных задачах конкретный вид функции принадлежности определяется с учетом специфики задачи, и иногда это может оказаться непростым делом.

В теории нечетких множеств по аналогии с обычной теорией множеств вводятся операции объединения, пересечения, дополнения и др., которые чаще всего определяются как нечеткие множества с функциями принадлежности соответственно:

$$\begin{aligned}\mu_{X \cup Y}(x) &= \max \{ \mu_X(x), \mu_Y(x) \}, \\ \mu_{X \cap Y}(x) &= \min \{ \mu_X(x), \mu_Y(x) \}, \\ \mu_{-X}(x) &= 1 - \mu_X(x)\end{aligned}$$

для каждого  $x$  из множества  $A$ . Многие известные свойства теоретико-множественных операций справедливы и для нечетких множеств. Но существуют и отличия. Например, объединение дополнения данного множества с самим этим множеством не обязательно совпадает с универсальным множеством  $A$ .

Обычные множества представляют собой частный случай нечетких множеств, когда функция принадлежности принимает лишь два значения: 0 либо 1. При этом уже указанные операции над нечеткими множествами в случае такой функции принадлежности превращаются в известные теоретико-множественные операции над обычными множествами.

*Нечеткое число* определяется как нечеткое подмножество множества вещественных чисел, т.е. как функция, заданная на множестве чисел и принимающая значения в пределах от 0 до 1.

*Нечеткая функция* из  $X$  в  $Y$  определяется как нечеткое множество на (четком) декартовом произведении  $X \times Y$ . Иными словами,

нечеткая функция указывает каждой паре  $x, y$  из соответствующих множеств некоторое число в пределах от 0 до 1, которое можно интерпретировать как степень соответствия.

В настоящее время существуют такие понятия, как *нечеткая производная*, *нечеткий интеграл*, и многие другие обобщения широко известных понятий математики.

Активно разрабатывается раздел *нечеткая логика*. Это направление имеет многочисленные применения в практике. Например, уже сравнительно давно на мировом рынке компьютеров продаются модели, основанные на нечеткой логике. При решении определенных задач они оказываются эффективнее обычных компьютеров.

- 1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. 2. Заде Л. Теория линейных систем / Л. Заде, Г. Дзоер. – М.: Наука, 1970. 3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. 4. М а т е м а т и к а и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 462–464. 5. О б р а б о т к а нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. 6. П р и к л а д н ы е нечеткие системы: пер. с яп. под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. 7. N o g i n V. D . Upper estimate for a fuzzy set of nondominated solutions / V.D. Nogin // Fuzzy sets and systems, 1994, v. 67, P. 303–315.

В.Д. Ногин

**НОРМАТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД** – подход к проектированию *организационной структуры* (см.) предприятий, направленный на унификацию организационных форм управления в рамках отрасли. Разработка и внедрение типовых организационных структур явились первым шагом на пути внедрения принципов их научно обоснованного построения.

Подход разработан под руководством Г.Э. Слезингера [1] и был положен в основу методических рекомендаций НИИТруда [2]. В этом подходе использован метод аналогий, позволяющий обобщать и систематизировать опыт управления передовых предприятий.

Для определения характеристик оргструктуры (численности управленческого персонала, числа уровней иерархии и др.) приводятся корреляционные зависимости этих характеристик от ряда факторов. Однако рассчитываемые на их основе нормативы численности работников по функциям управления ориентируют на некоторый сложившийся уровень организации управления в от-

расли. Фактическая же численность управленческих работников на конкретном предприятии в силу его специфики может существенно отличаться от нормативной.

Кроме того, в [2] предлагается «жесткая» система классификации функций управления, в рамках которой трудно учесть особенности конкретного предприятия и которая сдерживает развитие системы управления предприятием.

Ориентация на типовую номенклатуру функций управления и структурных управленческих подразделений не позволяет учесть особенности конкретных предприятий и условия их деятельности, оценить влияние этих особенностей и условий на функционирование предприятия и на характеристики оргструктуры.

- 1. Слезингер Г.Э. Совершенствование процессов управления предприятием / Г.Э. Слезингер. – М.: Машиностроение, 1975. 2. Методические указания по разработке укрупненных нормативов численности и типовых структур аппарата управления промышленным предприятием. – М.: НИИТруда, 1967. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 318–319. 4. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. 5. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 264–265.

*В.Н. Волкова, М.И. Старовойтова, Г.П. Чудесова*

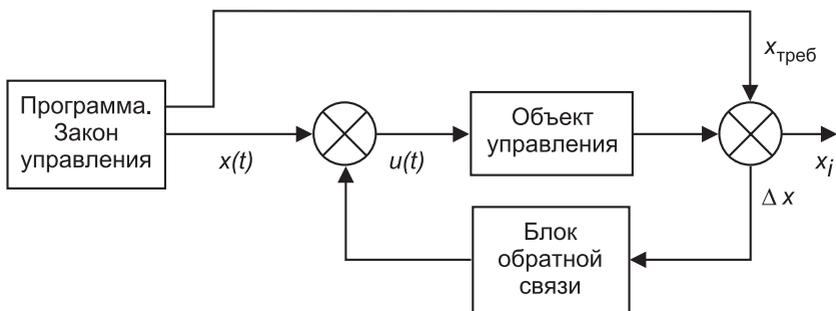


**ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ** – одно из фундаментальных понятий *теории систем* (см.). Первоначально это понятие было исследовано в *теории автоматического управления* [2].

Обратную связь обычно иллюстрируют схемами, подобными приведенной на рисунке, где  $x(t)$  – закон или алгоритм (программа) управления,  $x_{\text{треб}}$  – требуемое значение регулируемого параметра («уставка»),  $x_i$  – фактическое значение регулируемого параметра,  $\Delta x$  – рассогласование между  $x_{\text{треб}}$  и  $x_i$ .

Это понятие хорошо объясняется на примерах технических и электронных устройств, но не всегда легко интерпретируется в системах организационного управления. При использовании этого понятия часто ограничиваются только фиксацией рассогласования  $\Delta x$  между требуемым  $x_{\text{треб}}$  и фактическим  $x_i$  значени-

ем регулируемого параметра, а необходимо учитывать и реализовывать все элементы, не забывая замкнуть контур обратной связи, выработав в блоке обратной связи соответствующие управляющие воздействия, которые скорректируют закон управления  $x(t)$ .



Обратная связь может быть:

*отрицательной* – противодействующей тенденциям изменения выходного параметра, т.е. направленной на сохранение, стабилизацию требуемого значения параметра (например, стабилизацию количества выпускаемой продукции и т.п.);

*положительной* – сохраняющей тенденции происходящих в системе изменений того или иного выходного параметра (что используется при моделировании развивающихся систем).

Обратная связь является основой саморегулирования, развития систем, приспособления их к изменяющимся условиям существования.

При разработке моделей функционирования сложных саморегулирующихся, самоорганизующихся систем в них, как правило, одновременно присутствуют и отрицательные, и положительные обратные связи. На использовании этих понятий базируется, в частности, *имитационное динамическое моделирование* (см.)

- 1. В и н е р Н. Кибернетика: или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – М.: Наука, 1983. 2. В о р о н о в А. А. Основы теории автоматического управления / А.А. Воронов. – М.: Энергия, 1980. Т. 1. 3. С и с т е м н ы й анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.

В.Н. Волкова

**ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА (ОРГСТРУКТУРА)**, или структура организационного управления предприятием, представляет собой состав и взаимосвязь структурных управленческих звеньев.

*Звеном* может быть как отдельное подразделение (отдел, бюро, сектор и др.), так и отдельный руководитель (директор, его заместители и т.д.).

Эффективность работы предприятия существенно зависит от организационной формы, выбранной для управления им. Этот выбор влияет на число уровней управления предприятием, число звеньев управления на каждом уровне, трудоемкость выполнения функций управления, затраты на управление.

Проблема совершенствования организационных структур – одна из самых сложных. При ее решении необходимо обеспечить соответствие проблемы конкретному объекту управления (предприятия, учреждения и т.д.) и его целям, а также условиям, в которых осуществляются управленческие функции.

Исследованиям форм и методов проектирования оргструктур посвящено много работ. При представлении оргструктур для предприятий различных объемов, использующих разные принципы управления, могут быть применены любые из форм структур (см. *Структура*). В теории и практике оргструктур для характеристики этих форм и их комбинаций введена специальная терминология.

**Виды организационных структур.** Исходными организационными формами управления являются [1, 3–5 и др.] *линейная* (см.) и *функциональная* (см.), которые соответствуют *древовидной иерархической структуре* и предельному случаю *иерархии со «слабыми» связями* (см. *Иерархические системы*).

В настоящее время в чистом виде эти исходные формы оргструктур не применяются. Однако принципы линейного и функционального управления используются в любой организационной структуре.

*Линейная структура* – исторически первый и самый простой вид организационной структуры предприятия (рис. 1).

Такая организационная структура представляет собой *древовидную иерархическую структуру*, т.е. такую, в которой любой элемент нижележащего уровня подчинен только одному элементу

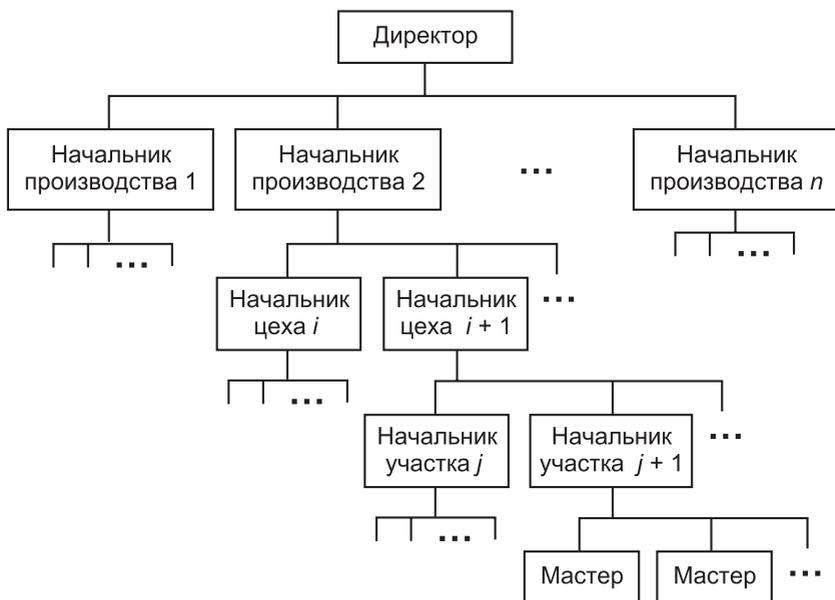


Рис. 1

вышестоящего, что позволяет реализовать в системе управления только отношения «руководство – подчинение».

В линейной структуре руководитель выполняет все функции по управлению подразделениями – от управления собственно производственным процессом до управления всеми видами обеспечивающей деятельности (материально-техническое снабжение, распределение финансов, учет труда и заработной платы сотрудников, вплоть до подбора кадров). Поэтому он должен обладать разнообразными знаниями и опытом управления, а структура создает реальные условия для *единоначалия*, обеспечивает *единство распорядительства* в системе управления. Такие свойства линейной структуры ориентируют руководителей в основном на решение оперативных задач.

Линейное управление строится на основе производственной структуры предприятия и используется для управления организацией в целом (предприятие – цех – участок), а также его подразделениями (начальник цеха – начальник участка – мастер).

Отношение «руководство – подчинение» строится на основе линейной структуры и в управленческих подразделениях (начальник отдела – начальник бюро – начальник сектора – руководитель группы).

Линейные структуры были распространены в конце XIX – начале XX в., а в настоящее время в нашей стране встречаются на малых предприятиях.

На крупных предприятиях линейная организационная форма управления в чистом виде не применяется. Однако такое свойство линейной структуры, как принцип единоначалия и отношений «руководство – подчинение», являются обязательным элементом всех видов организационных структур.

*Функциональная структура* появилась в результате деления управленческого труда по принципу его функциональной специализации, введенному Альфредом Слоуном по аналогии с разделением труда в производстве, предложенным Адамом Смитом.

При такой структуре управление предприятием осуществляется по каждой функции в отдельности. Для этого в системе создаются специализированные подразделения, деятельность которых направлена на решение специфического круга своих задач. При этом каждое из функциональных подразделений имеет одинаковые права, и ему подчинены все производственные подразделения (рис. 2).

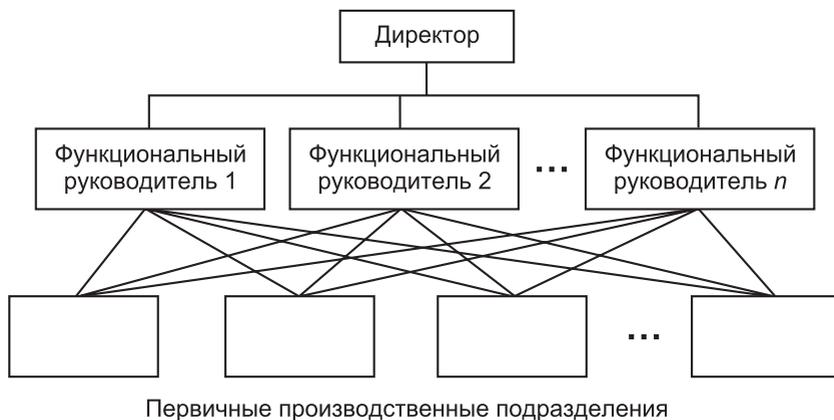


Рис. 2

Функциональные подразделения обеспечивают единую политику и централизацию управления по основным укрупненным функциям организации производственного процесса (техническая и технологическая подготовка производства, материально-техническое обеспечение процесса производства, финансовое, кадровое и другие виды обеспечения предприятия).

Функциональная структура создает условия для повышения профессиональной квалификации работников аппарата управления.

Однако такая схема управления приводит к тому, что для каждого управленческого звена на первый план выступают его специфические интересы. В этих условиях руководители нередко переоценивают значение своих подразделений, которые приобретают тенденцию к самосохранению и самосовершенствованию даже тогда, когда надобность в этих подразделениях отпадает, что может быть в ущерб интересам предприятия в целом.

Строго функциональная схема управления требует от руководителя предприятия большой работы по координации деятельности всех управленческих подразделений. Это приводит к тому, что решение задач стратегического характера отодвигается на второй план. Следовательно, ухудшаются адаптивные свойства предприятия к изменяющимся внешним условиям.

Кроме того, есть еще один сильный недостаток функциональной организационной структуры – производственные подразделения получают распоряжения от разных управленческих звеньев, причем без учета загруженности подразделений, а иногда и противоречивые. В результате они не справляются со всеми этими распоряжениями, нарушается принцип единоначалия, порождается безответственность как производственных, так и управленческих работников.

Функциональная структура в чистом виде практически не получила распространения на производственных предприятиях. Иногда такая форма управления применяется в научно-исследовательских организациях в сфере проведения собственно научных исследований по проектам, и в этом случае такую структуру называют *проектной*.

*Проектные* структуры бывают разными.

Возможна организация всей работы НИИ по проектам, возглавляемым соответствующими научными руководителями, обычно в ранге заместителя директора. При этом опытно-конструкторские подразделения получают заказы от этих проектных

групп и выполняют их в соответствии с составляемыми ими планами по согласованию с проектными подразделениями. Такая форма подобна функциональной структуре.

Другая форма проектной структуры предполагает создание проектных групп, состоящих из специалистов разных подразделений предприятия и возглавляемых руководителями проектов. Такие группы создаются и наделяются необходимыми для этого полномочиями на период выполнения проектов, т.е. фактически являются временными коллективами. Такой вид проектных структур относят к виду *программно-целевых организационных структур* (см. *Организационная структура*).

*Линейно-функциональная структура* (рис. 3) сочетает принципы линейной и функциональной формы управления.

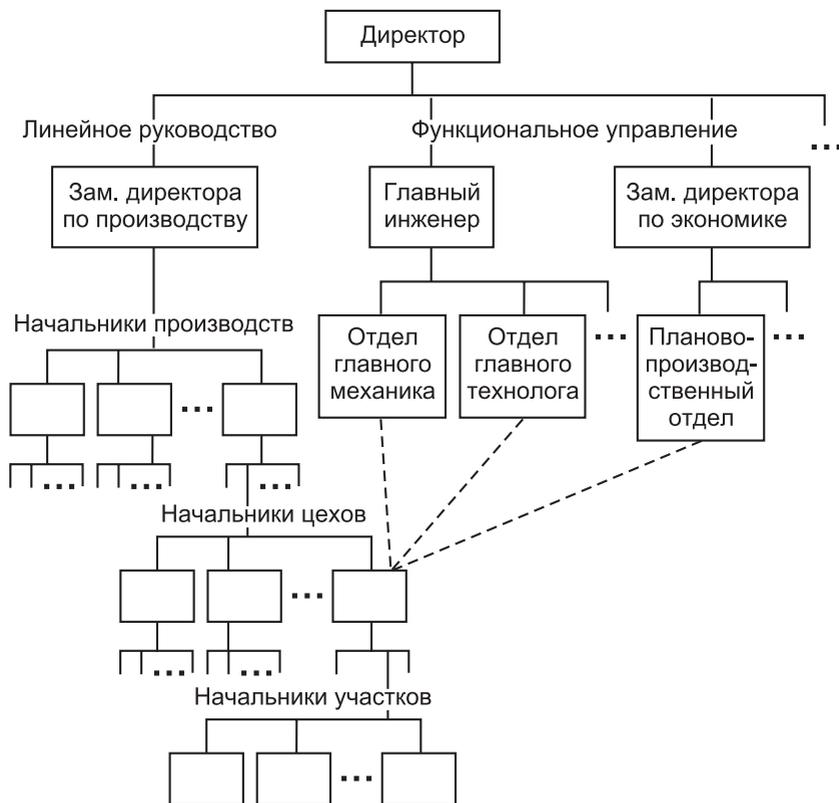


Рис. 3

*Линейное управление* строится на основе производственной структуры предприятия (организации). Функциональные подразделения обеспечивают единую политику и централизацию управления по основным укрупненным функциям организации производственного процесса. В то же время отношения внутри функциональных подразделений также строятся по линейному принципу (заместитель директора по соответствующему виду деятельности – отдел – бюро).

В линейно-функциональной структуре принято такое разделение труда, при котором линейные звенья управления наделены принципами единоначалия и выполняют функции распорядительства, а функциональные оказывают помощь линейным, но свое непосредственное воздействие на нижележащие звенья осуществляют только после согласования технического, экономического и других видов политики и планов ремонта помещений, техники, распределения ресурсов (финансовых, кадровых, ЭВМ и т.д.) на директорате (или научно-техническом совете) предприятия либо организации, что отражено на рис. 3 пунктирной линией, т.е. ослабленной связью, откуда и произошел термин «иерархия со «слабыми» связями».

Однако повышение динамичности изменений внешних и внутренних условий деятельности предприятия (организации) выявило недостатки линейно-функциональных структур, которые являются основной организационной формой управления на большинстве предприятий и в организациях непромышленной сферы. Такая структура обеспечивает эффективное управление в стабильных условиях. Когда же перед предприятием (организацией) возникают не обычные, связанные с выполнением плана, задачи, а новые, крупные, в том числе единовременные проблемы, эта структура оказывается недостаточной. Причем чем лучше отлажена линейно-функциональная структура, тем больше она будет противостоять нововведениям (техническому перевооружению, реконструкции предприятия, введению новых методов управления и т.п.). Поэтому возникла новая организационная форма – *программно-целевая структура*.

Программно-целевые структуры возникли для преодоления недостатков линейно-функциональных структур, которые являются основной организационной формой управления на большинстве предприятий и в организациях непромышленной сферы. Такая структура обеспечивает эффективное управление в

стабильных условиях. Когда же перед предприятием (организацией) возникают не обычные, связанные с выполнением плана задачи, а новые, крупные, единовременные проблемы, эта структура оказывается недостаточной.

Существуют различные программно-целевые структуры [например 2–4, 5].

Вначале на предприятиях возникла форма *функциональной координации*, при которой в оргструктуру вводится дополнительная структурная единица (обычно в ранге заместителя главного инженера, со слабыми правами распорядительства и без выделения дополнительных штатов), осуществляющая координацию функциональных и линейных подразделений для решения новой научно-технической задачи.

Элементами слабой формы программно-целевого управления можно считать также конструкторские бюро (КБ), создаваемые на предприятиях для разработки новых видов продукции, обновления технологий.

Форма жесткой программно-целевой структуры возникла в космической отрасли, в которой в качестве особого подразделения создавались *специальные конструкторские бюро*.

При этом пока КБ работало над проектом, производственное предприятие (или объединение из нескольких предприятий) продолжало функционировать, выпуская какую-либо продукцию, соответствующую его профилю. После разработки и утверждения проекта его руководитель (главный конструктор) наделялся всеми необходимыми полномочиями для выполнения проекта и приобретал статус более приоритетного распорядительства по сравнению с генеральным директором предприятия (объединения).

Такую форму организационной структуры, которая первоначально считалась собственно программно-целевой структурой, в последующем стали называть *проектной*, или *программной*.

Между крайними формами – функциональная координация и программная оргструктура – постепенно сформировался спектр организационно-правовых форм с различной степенью влияния программно-целевых принципов на организацию производства и управления.

Промежуточные формы отличаются различной степенью приоритетности линейных, функциональных и программно-целевых сфер управления.

Распространенной организационной формой программно-целевого управления в 80-е гг. XX в. были разработка и реализация *целевых и комплексных программ*.

Статус программ определялся Государственным комитетом по науке и технике при Совете Министров СССР. Наиболее значимым программам придавался статус целевых государственных программ, а программы отраслевые и инициативные назывались комплексными.

В последующем наиболее распространенной формой на предприятиях стала форма, при которой программно-целевые подразделения создаются для внедрения нововведений в различных областях: в технике, технологии, управлении. При этом обычно вводится должность заместителя директора по развитию предприятия, создается служба перспективного развития и т.п.

Пример программно-целевой организационной структуры такого вида приведен на рис. 4.

На малых и средних предприятиях функция программно-целевого управления обычно реализуется в форме введения должности заместителя директора по развитию или по информации.

Программно-целевые органы могут создаваться на время выполнения комплексных программ или на какой-то период деятельности предприятия (организации), могут быть созданы постоянно действующие или временные программно-целевые группы, изменяющие тематику исследований или разработок в рамках какой-то специализации (например, для создания гибких производственных комплексов и других нововведений в технике, технологии и т.п.).

В случае создания программно-целевых органов в оргструктуре предприятия (организации) возможны ситуации, когда им не предоставляется особый приоритет, а осуществляется распределение ресурсов, прав и ответственности между программно-целевой и линейно-функциональными сферами управления с учетом конкретных программ и ситуаций. Решения принимаются на научно-техническом совете предприятия.

Такие оргструктуры с сочетанием как равноправных трех сфер – линейной, функциональной и программно-целевой – представляют собой наиболее гибкую форму управления, и в практике управления предприятиями они получили название *трехмерных матричных структур* (см.).

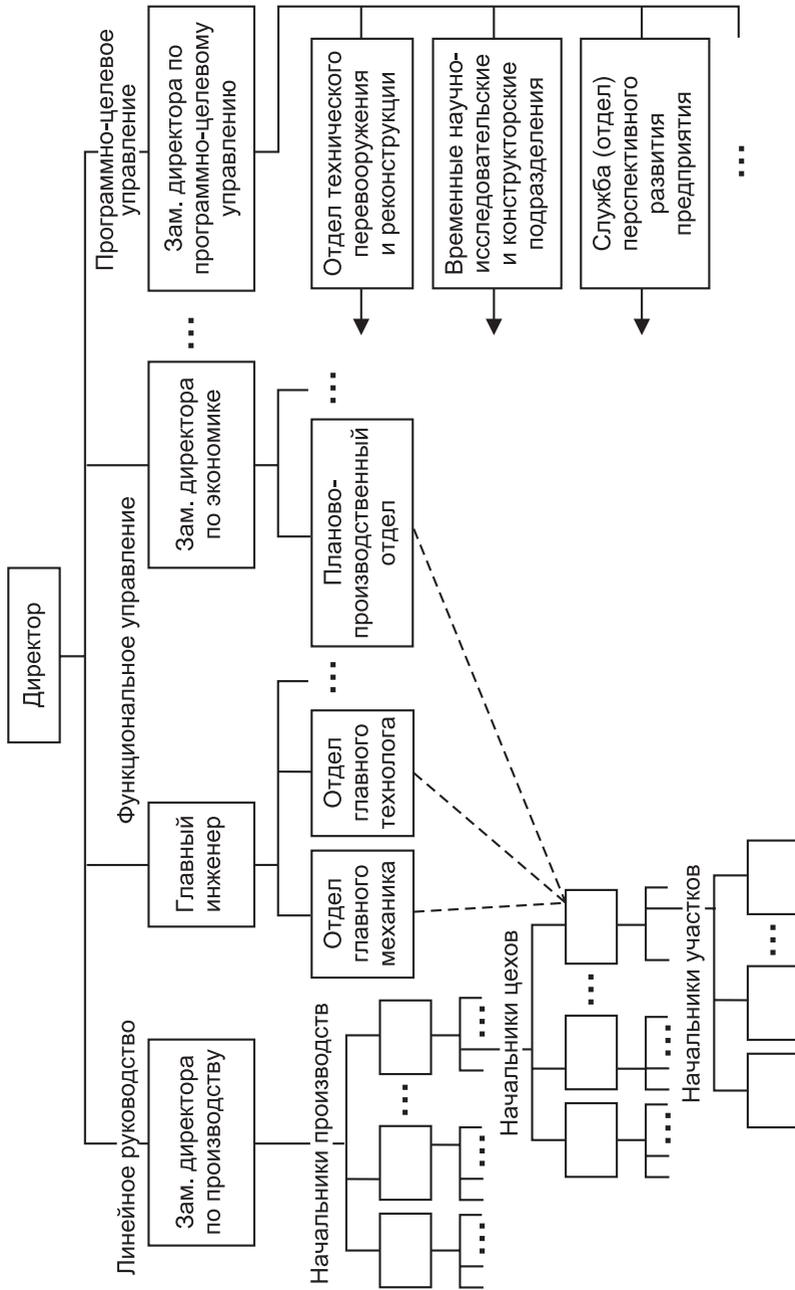


Рис. 4

По мере развития предприятий и научно-производственных объединений и выделения в них, наряду с основными рассмотренными сферами, в качестве самостоятельных таких сфер, как информационная, социальная и т.п., возникают *многомерные матричные структуры* [например, 3, 5–7], которые иногда называют *тензорными* [10].

Пример четырехмерной матричной структуры приведен на рис. 5, где приняты следующие обозначения подразделений организационной структуры:

в сфере функционального управления главному инженеру подчинены отделы (службы) технической подготовки производства (ТПП), включая конструкторскую, технологическую, инструментальную подготовку производства и управление технической подготовкой производства; отдел технико-экономического планирования (ТЭП); оперативного управления основным производством (ОУОП) (иногда этот отдел включают в сферу линейного управления); отдел труда и заработной платы (ТиЗП); отдел управления техническим уровнем и качеством продукции (УТУиКП); заместителю директора по обеспечению производства подчинены отдел технического обеспечения, включая техническое обслуживание и ремонт оборудования (ТОиРО), отдел, выполняющий погрузочно-разгрузочные транспортно-складские операции (ПРТСО), отделы материально-технического обеспечения (МТО); сбыта продукции (СБП), координации и кооперирования (КиК) и энергоснабжения (ЭНС); заместителю директора по административно-хозяйственным вопросам подчинены отдел финансового обеспечения и бухгалтерского учета (ФиБУ) (этот отдел обычно параллельно подчинен непосредственно директору предприятия), службы административно-хозяйственного обеспечения (АХО), включая обеспечение текущих административно-хозяйственных работ разного рода; отделы обеспечения капитального строительства (ОКС), обеспечения кадрами (ОК), отделы юридического обеспечения (ЮрО), бюро охраны окружающей среды (БООС);

в сфере программно-целевого управления выделены: отдел управления производственной специализацией и производственными мощностями (ПСиПМ) (включая определение перспективной специализации предприятия); отдел технического перевооружения и реконструкции предприятия (ТПиРП) (включая управление техническим перевооружением и реконструкцией предприятия, разработку проектов технического перевооружения и реконструкции предприятия); отдел проектирования (совершенствования, преобразования) производственной и организационной структуры предприятия (ППСиОС) (включая анализ целей и функций АЦФ); отдел научной организации производства и производственной структуры (НОПиПС); служба разработки целевых и комплексных программ (ЦИКП) (включая управление выполнением целевых программ,

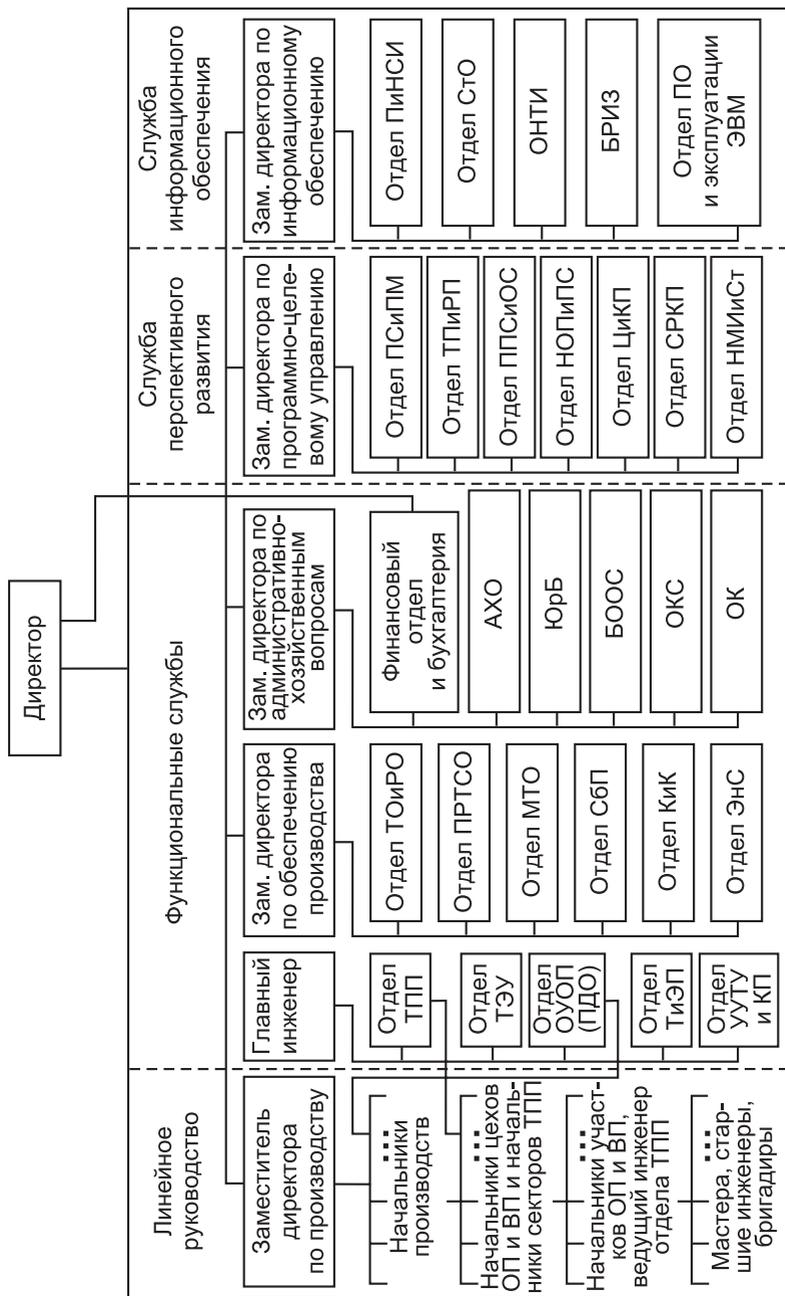


Рис. 5

формирование целевых групп или других временных подразделений, управление участием предприятия в выполнении отраслевых, межотраслевых и тому подобных комплексных программ); отдел социального развития коллектива предприятия (СРКП); отдел нормативно-методического обеспечения управления и стандартизации (НМОиСТ) (включая обеспечение предприятия стандартами, необходимыми для организации производства, и нормативно-методическое обеспечение системы организационного управления предприятием).

В качестве четвертой сферы на рис. 5 приведена возможная структура сферы информационного обеспечения: отдел производственной и нормативно-справочной информации (ПиНСИ), отдел статистической отчетности (СтО), отдел научно-технической информации (ОНТИ), бюро (или отдел) рационализаторской и изобретательской деятельности (БРИЗ), отдел программного обеспечения (ПО) и эксплуатации ЭВМ.

Сфера информационного обеспечения предприятием должна взаимодействовать со всеми другими сферами, организуя сбор, хранение, обработку и представление соответствующей производственной, нормативно-справочной, научно-технической информации в документальной и фактографической формах. Поэтому для удобства иллюстрации взаимодействия сфер иногда информационную сферу помещают под изображением оргструктуры.

В крупных объединениях, включающих несколько предприятий и организаций и делегирующих значительную самостоятельность этим предприятиям, а иногда и отдельным производствам, используется стратифицированное представление оргструктур (см. *Страты*).

В условиях рыночной экономики используются эшелонированные оргструктуры (см. «*Эшелоны*»), в которых входящим в объединение структурным единицам предоставляется различная степень самостоятельности и имеют место различная степень координируемости предприятий и организаций, входящих в концерн, акционерное общество и т.п., и различная степень вмешательства в деятельность структурных единиц, находящихся на нижележащих уровнях иерархии такого вида. Этот вид оргструктур используется, например, в холдингах.

В теории человеческих отношений принято, что идеальная организация должна состоять из пересекающихся рабочих групп, в которых определенные специалисты играют роль соединительных звеньев – «булавочная цепь».

Структура такого вида (рис. 6) состоит из пересекающихся рабочих групп. Здесь каждый руководитель принадлежит к группам двух различных уровней: к группе, состоящей из его подчиненных, и к группе, которая включает его начальника.

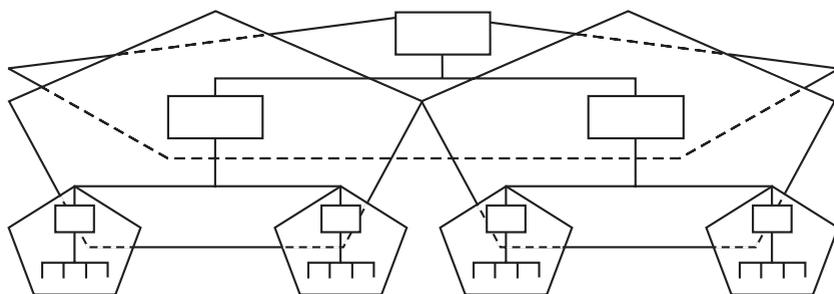


Рис. 6

Эта система управления принимает типичную форму постоянных комитетов, составленных из представителей подразделений, временных целевых коллективов, периодических совещаний представителей «заинтересованных» подразделений. Однако такая организация может оказаться расточительной и медлительной. При этом возникают противоречия между глобальной целью организации и локальными целями рабочих групп. Основным механизмом согласования целей подразделений (рабочих групп) с целями компаний является участие рабочих в управлении.

**Подходы к проектированию оргструктур.** Сложность проблемы проектирования (совершенствования) оргструктуры конкретного предприятия потребовала применения при ее решении методов и моделей системного анализа.

Накопленный опыт проектирования организационных структур позволяет выделить три подхода к решению этой проблемы: *нормативно-функциональный* (см.), *функционально-технологический* (см.) и *системно-целевой* (см.) [2, 4]. Они не являются взаимоисключающими, но имеют ряд принципиальных особенностей.

В [2, 4] предлагается также выделять ряд основных методов: метод аналогий, основанный на использовании опыта в организации управления различными предприятиями; экспертный метод, слабой стороной которого является правомерность сомнений в надежности и объективности экспертных оценок (повысить ее могут методы организации сложных экспертиз); метод структуризации целей, для реализации которого в настоящее время есть методики, позволяющие обеспечивать полноту анализа целей и функций, необходимую для конкретных условий; метод задач,

который, в отличие от метода структуризации («сверху»), предполагает определение задач с помощью обследования системы управления и объединение их в более крупные комплексы на основе вводимых мер близости (подход «снизу»), вследствие чего он является более трудоемким и сложным в реализации (что связано с проблемой введения «мер близости»); метод организационного моделирования, основу которого составляет использование математических моделей, позволяющих учитывать большее число различных факторов и взаимосвязей между ними.

В [1, 3] дана классификация математических моделей оргструктур, в которой выделены две группы: модели, в которых критерий эффективности оргструктуры отражает конечные результаты деятельности предприятия, и модели, основанные на использовании косвенных критериев эффективности.

Разработанные разными авторами методики совершенствования оргструктур отличаются принятыми подходами и используемыми методами.

Из трех названных подходов к проектированию оргструктур наибольшее распространение в условиях централизованной системы управления страной, на основе типизации организационных структур предприятий получил *нормативно-функциональный подход*, разработанный под руководством Г.Э. Слезингера [8]. Подход был положен в основу методических рекомендаций НИИТруда. Однако данный подход не содержит метода проектирования собственно оргструктуры (ее вариантов) для новых условий деятельности предприятия и не связывает решение задачи формирования оргструктуры с целями предприятия (организации).

*Функционально-технологический подход*, основанный на применении метода структуризации задач и исследовании процедур их решения, удобен в условиях действующего предприятия, позволяет лучше других сохранить конкретные особенности функционирования системы управления, но из-за трудоемкости считался неприемлемым для проектирования новых предприятий.

Преимущества функционально-технологического и системно-целевого подходов объединены в работах С.А. Валуева и В.И. Самофалова [7 и др.].

Применительно к проектированию принципиально новых предприятий при существенном изменении требований среды в новых экономических условиях и появлении новых прав и функций управления (таких, например, как маркетинг, мониторинг, функции

преобразования оргструктуры и т.п.) *системно-целевой подход*, разработанный под руководством Б.З. Мильнера [2, 3, 5 и др.], предпочтительнее нормативно-функционального и функционально-технологического. Этот подход был положен в основу общепромышленных научно-методических рекомендаций по формированию оргструктур, действовавших в нашей стране в 70–80-е гг. XX в.

Для проектирования (корректировки) оргструктуры разрабатывают *методику системного анализа* (см.).

**Сравнительный анализ оргструктур.** При формировании оргструктуры – линейной, функциональной, программно-целевой – в любой сфере присутствует иерархическая подчиненность древовидного типа. Поэтому особой задачей при проектировании оргструктур является задача выбора формы древовидной иерархии.

В теории организационного проектирования различают «*плоские*» и «*высокие*» организационные структуры управления.

В «плоской» относительно немного уровней, поэтому у каждого руководителя меньше координаторов и больше подчиненных (рис. 7). Плоские структуры обладают рядом достоинств: децентрализация; более простые коммуникации; менее формализованные взаимосвязи между руководителями и подчиненными. К недостатку данной структуры следует отнести перегрузку руководителей.

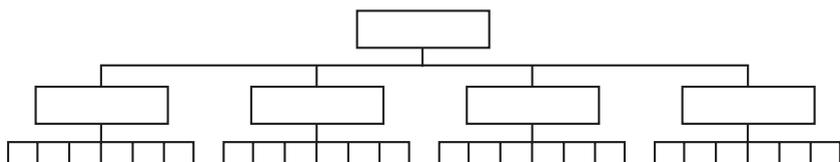


Рис. 7

«Высокая» структура отличается большим числом уровней (координаторов) по отношению к числу работников (рис. 8).

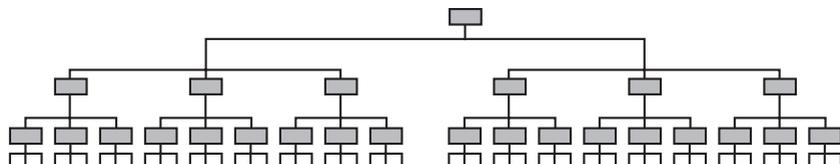


Рис. 8

«Высокие» структуры обладают следующими недостатками: с дополнительным увеличением уровня становится труднее добиваться единства руководства и взаимопонимания; каждый дополнительный уровень искажает цели и направленность внимания; каждое звено в цепи создает дополнительное организационное напряжение и становится еще одним источником инерции, трений и бездействия. Однако в этих структурах на каждого руководителя приходится меньше подчиненных, что и определяет их достоинство.

Считается, что в компаниях с числом служащих до 5 тыс. человек работа в условиях плоской структуры приносит управляющим больше удовлетворения, а с числом более 5 тыс. работников высокие структуры обеспечивают более высокий уровень безопасности и удовлетворения социальных потребностей.

Важным является принцип распределения подразделений по подчиненности вышестоящим руководителям.

Чрезмерная специализация (рис. 9, а) ограничивает возможности не только одного человека, но и подразделений. Здесь цели подразделения или группы могут войти в противоречие с целями компании. Для эффективного функционирования такой структуры необходимо тщательно координировать деятельность всех ее структурных подразделений. Альтернативное построение организационной структуры показано на рис. 9, б.

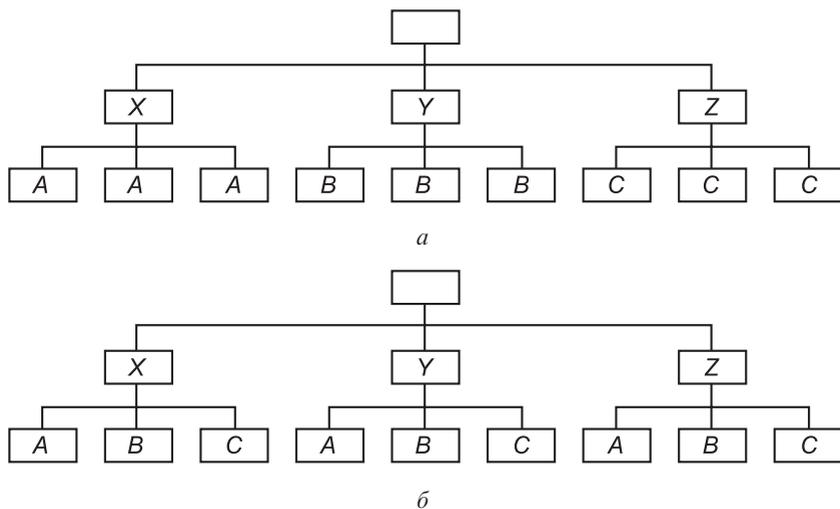


Рис. 9

С помощью такой организации можно добиться лучшей интеграции различных видов деятельности, но она может привести также и к потерям, возникающим из-за уменьшения специализации и небольших объемов деятельности.

В некоторых организациях используется ромбовидная структура, которая характеризуется небольшим числом рабочих в производстве и является смешением обоих видов структур.

При выборе формы структуры следует также иметь в виду, что форма влияет на реализацию принципов целостности и свободы структурных подразделений.

Основная проблема повышения эффективности управления в условиях многоукладной экономики – поиск путей достижения компромисса между саморегулирующимися рыночными механизмами и централизованным регулированием – имеет место на любом уровне управления (общегосударственном, региональном). Аналогичная проблема централизации-децентрализации управления усложняет управление любым предприятием, любой научно-исследовательской или иной организацией. Поэтому при формировании оргструктуры полезно предусмотреть информационные оценки степени целостности  $\alpha$  и коэффициента использования компонентов системы  $\beta$  (см. *Информационный подход к анализу систем*), которые могут интерпретироваться как оценки устойчивости оргструктуры при предоставлении свободы субъектам деятельности или как оценки степени централизации-децентрализации управления.

Эти оценки получены из соотношения, определяющего взаимосвязь системной  $C_c$ , собственной  $C_o$  и взаимной  $C_v$  сложности системы:

$$C_c = C_o + C_v. \quad (1)$$

*Собственная сложность*  $C_c$  характеризует суммарную сложность (содержание) элементов системы вне связи их между собой (в случае прагматической информации – суммарную сложность элементов, влияющих на достижение цели). *Системная сложность*  $C_o$  отражает содержание системы как целого (например, сложность ее использования). *Взаимная сложность*  $C_v$  есть степень взаимосвязи элементов в системе (т.е. сложность ее устройства, схемы, структуры).

Разделив члены выражения (1) на  $C_o$ , получим две важные сопряженные оценки:

$$\alpha = -C_g/C_o, \quad (2)$$

$$\beta = C_c/C_o, \quad (3)$$

причем  $\beta = 1 - \alpha$ , т.е.  $\beta + \alpha = 1$ .

Первая (2) из них характеризует степень целостности, связности, взаимозависимости элементов системы; для организационных систем оценка  $\alpha$  может быть интерпретирована как характеристика устойчивости, управляемости, степени централизации управления. Вторая (3) есть самостоятельность, автономность частей в целом, степень использования возможностей элементов. Для организационных систем оценку  $\beta$  удобно называть коэффициентом использования элементов в системе.

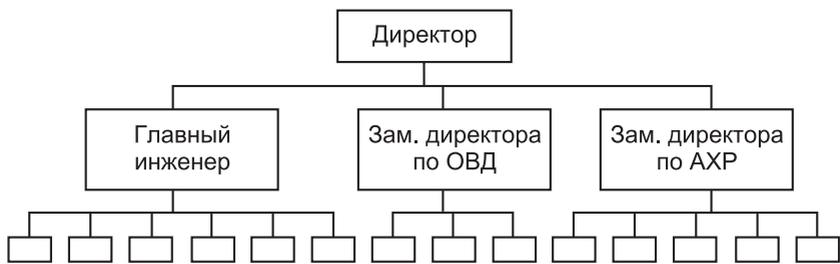
Знак минус в выражении (2) введен для того, чтобы  $\alpha$  было положительным, поскольку  $C_g$  в устойчивых системах, для которых характерно  $C_o > C_c$ , формально имеет отрицательный знак. Связанное (остающееся как бы внутри системы) содержание  $C_g$  характеризует работу системы на себя, а не на выполнение стоящей перед ней цели (чем и объясняется отрицательный знак  $C_g$ ), что важно учитывать при формировании оргструктур предприятий.

Для пояснения принципов оценки структур приведем упрощенный пример сравнительного анализа структур (рис. 10), которые отображают варианты организационной структуры системы управления, включающие разное число заместителей директора (второй сверху уровень иерархии) и подчиненных им управленческих подразделений.

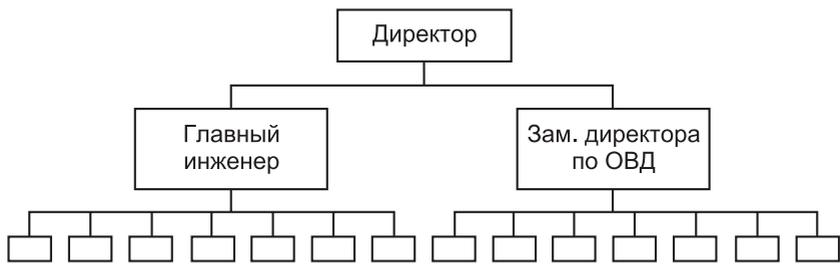
Предположим, что целью всех этих структур является управление деятельностью элементов самого нижнего уровня структуры, т.е. решение задач выбора, какому из 14 элементов нижнего уровня структур поручить новую работу или какое из этих подразделений нуждается в дополнительном финансировании и т.п.

В изображении иерархических структур способ вычленения элементов не определен, и их «читать» можно неодинаково:

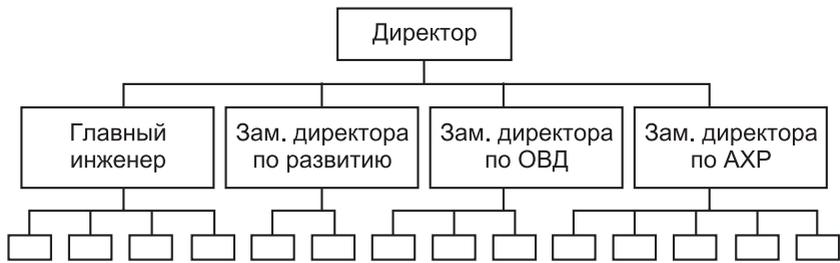
а) элементами можно считать каждую ветвь иерархической структуры (каждое положение ключа или каждое структурное подразделение), полагая, что ветвь имеет два возможных состояния («участвует» – «не участвует» в принятии решения по выбору), т.е.  $\Delta A = 1$  ветвь, а минимальная единица информации  $J = 1$  бит;



а



б



в

Рис. 10

б) можно разделить структуру на элементы с учетом того, что основной функциональный элемент, осуществляющий выбор, – узел, и тогда элементами будут наборы узлов, т.е.  $\Delta A = 1$  узел, а каждый такой элемент также будет оцениваться минимальным значением  $J = 1$  бит, но с разными «способностями», которые оцениваются числом ветвей, подчиненных узлу и отражаемых в оценке  $H$ .

Примем второй способ выделения элементов. Тогда при равновероятном выборе для узлов с двумя состояниями  $H = \log_2 2 = 1$  бит, для узлов с 4 состояниями  $H = \log_2 4 = 2$  бита и т.д.

Сравнивая варианты, приведенные на рис. 10, получим следующие результаты. При одинаковом числе подразделений нижнего уровня для всех вариантов системная сложность одинакова:  $C_c = \log_2 14 = 3,82$ . Оценки собственной и взаимной сложности и степени целостности и свободы элементов приведены в таблице.

Вариант оргструктуры	Собственная ложность	Взаимная сложность	Степень целостности и свободы
рис. 10, а	$C_o^a = 2 \log_2 3 + \log_2 6 + \log_2 5 = 8,14$	$C_b^a = -4,32$	$\alpha^a = 4,32/8,14 = 0,53, \beta^a = 0,47$
рис. 10, б	$C_o^b = \log_2 2 + 2 \log_2 7 = 6,6$	$C_b^b = -2,78$	$\alpha^b = 2,78/6,6 = 0,42, \beta^b = 0,58$
рис. 10, в	$C_o^c = 2 \log_2 4 + \log_2 2 + \log_2 3 + \log_2 5 = 8,94$	$C_b^c = -5,12$	$\alpha^c = 5,12/8,94 = 0,57, \beta^c = 0,43$

Количественные различия коэффициентов целостности  $\alpha$  и степени использования элементов  $\beta$  в данном примере небольшие, поскольку обе структуры двухуровневые и мало отличаются одна от другой. Однако оценки  $\alpha$  и  $\beta$  являются основой для *сравнительного* анализа, и даже небольшие различия со временем могут существенно повлиять на результаты деятельности предприятия. Поэтому можно сделать вывод, что третья структура (рис. 10, в) обеспечивает по сравнению с остальными большую централизацию управления, а преобразованная структура (см. рис. 10, б) предоставляет большую свободу структурным подразделениям.

Соответственно в ситуации, когда руководитель хочет ввести более демократичные принципы управления, следует выбрать вторую структуру (см. рис. 10, б). Напротив, если начался распад предприятия и необходимо повысить его устойчивость, то следует выбрать исходную структуру (см. рис. 10, в), хотя она и требует введения должности еще одного заместителя директора.

Исследования структур с различным числом уровней иерархии показали, что по мере их увеличения степень целостности существенно возрастает: в двухуровневых структурах  $\alpha$  колеблется вокруг значения 0,5, а в структурах с числом уровней 5–6 и более  $\alpha$  приближается к 0,9, т.е. существенно возрастает связанное, остающееся как бы внутри системы  $C_b$ , характеризующее работу системы «на себя», что важно учитывать при формировании оргструктур систем.

Чем более сложной и многоуровневой становится организационная структура предприятия, тем в большей мере она будет работать «сама на себя». В конце 80-х гг. XX в. для характеристики этого свойства, которое проявилось к тому времени на практике, использовался термин «вязкая прослойка».

Возрастает степень целостности  $\alpha$  и при увеличении числа составляющих второго сверху уровня иерархической структуры.

Например, возрастание  $\alpha$  имеет место в организационных структурах при увеличении числа заместителей директора, что также подтверждается практикой.

Наименьшая централизация характерна для неравномерных структур. Однако у подобных структур, когда одной из вершин подчинено существенно большее число составляющих, чем другой, есть важный недостаток: малая разница в оценках  $H$ , которые в данном случае удобно трактовать как потенциал, значимость, характеризующие влияние соответствующей вершины на принятие решений.

Так, если одному из заместителей директора предприятия, обычно главному инженеру, подчинено слишком большое число подразделений, то это приводит к тому, что главный инженер начинает действовать практически независимо от директора. Этот недостаток довольно часто проявлялся на практике, но его пытались объяснить квалификацией и авторитетом соответствующих руководителей, в то время как информационный анализ структур показывает, что это характеристика структуры, а не конкретного лица.

Наряду с рассмотренными оценками, характеризующими структурные особенности систем, взаимоотношения частей и целого, часто бывает полезно оценить систему и ее структуру в отношении затрат труда на принятие решения в процессе функционирования системы. В частности, большинство управленческих решений связано с выбором исполнителя или адресата соответствующей научно-технической информации из числа структурных единиц, подчиненных той или иной вершине оргструктуры.

Так, определяя, до сведения каких из подразделений или отдельных сотрудников нужно довести соответствующую директивную или отчетную информацию, ЛПП затрачивает труд на прочтение заголовков распределяемых документов, на сопоставление их с наименованиями подчиненных подразделений (или с тема-

тикой работы подчиненных ему сотрудников), т.е. на переработку определенной информации (которую можно оценить в символах, словах, абзацах).

Таким образом, реальные затраты управленческого труда, т.е. фактический смысл (сложность) задачи  $C_\phi$  превосходят ее структурный смысл во столько раз, во сколько ее фактически перерабатываемая для принятия решения информация  $J_\phi$  превосходит структурную  $J$ :

$$C_\phi = \sum_{i=1}^J J_\phi H_i, \quad (4)$$

где  $H_i$  – сущность (потенциал)  $i$ -го элемента структуры;

$J_\phi$  – информация, перерабатываемая тем же элементом; при этом  $J_\phi$  определяется с учетом числа состояний элемента, т.е. числа подчиненных ему составляющих и числа выполняемых заданий.

Для оценки оргструктур можно ввести коэффициент полезного действия  $\eta$  структуры, определяя его с учетом полных возможностей структуры  $C_\Sigma$  и используемых ее возможностей  $C$  в отношении конкретной цели:

$$\eta = C/C_\Sigma. \quad (5)$$

Дело в том, что с помощью приведенных на рис. 10 структур можно осуществлять выбор не только из элементов самого нижнего уровня иерархии, но и из элементов любого другого уровня, тогда  $C_\Sigma$  будет больше уже приведенных оценок, и можно определять  $\eta$  соответствующей структуры.

Заметим, что оценки  $C_c$ ,  $C_o$ ,  $C_v$  и другие информационные оценки применимы лишь для сравнительного, а не нормативного анализа структур. Следует также отметить, что оценки  $H$ ,  $C$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  зависят не только от вариантов структуры системы, но и от индивидуальных особенностей руководителя, принятых им принципов «вмешательства» в дела нижележащих уровней управления.

Если директор распределяет задания только между своими заместителями, не вникая в то, имеют ли они в своем подчинении подразделения, способные выполнить эти задания, то его вклад в принятие управленческих решений следует оценивать исходя не из 14 элементов нижнего уровня, а из числа подчиненных ему

непосредственно заместителей. Соответственно изменятся и оценки  $C$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ .

От выбранного подхода к управлению зависит также относительный вклад верхнего узла в затраты труда на принятие решений (на «один проход» по структуре сверху вниз), который может использоваться как еще одна характеристика для сравнительной оценки структур.

Так, при влиянии только на непосредственных подчиненных вклад руководителя (директора, президента компании и т.п.) во всех вариантах будет меньше по сравнению с первоначальным подходом к оценке структуры, при котором предполагалось, что директор хорошо знает возможности всех контролируемых им подразделений (или даже всех подчиненных сотрудников), т.е. возможности элементов самого нижнего уровня структур, и использует эти знания при принятии решений.

Анализ проблемы проектирования оргструктур, подходов и методов, предлагаемых разными авторами для ее решения, позволяет сделать вывод о том, что задача проектирования (совершенствования) оргструктуры не может быть полностью формализована. Это качественно-количественная проблема, для решения которой следует сочетать *методы формализованного представления систем* (см.) и *методы активизации интуиции и опыта специалистов* (см.), что обусловлено сложностью задачи, необходимостью учета большого числа разнородных факторов, в числе которых много трудноформализуемых.

Для полноты учета этих факторов целесообразно сочетать методы структуризации целей и методы организационного моделирования, взаимно дополняющие друг друга, обеспечивая возможность анализа качественных и количественных характеристик: метод структуризации целей позволяет определить состав и содержание функций управления с учетом внешних и внутренних условий деятельности предприятия, а также обеспечить полноту анализа факторов, характеризующих эти условия и влияющих на объем работ по управлению; с помощью метода организационного моделирования можно количественно оценить степень этого влияния и перейти от структуры целей и функций к структуре органов управления.

Анализ большого числа факторов, влияющих на оргструктуру, и изменение этого влияния во времени позволяют осуществить метод *имитационного динамического моделирования* (см.).

Возможности применения имитационного динамического моделирования при проектировании оргструктур исследовались в работах [6, 7].

В случае преобразования оргструктур действующих предприятий полезно использовать подход, предложенный в [11], основу которого составляет представление первоначального варианта преобразуемой структуры в тензорной (многомерной) форме, с выделением в качестве самостоятельных сфер новых областей деятельности предприятия, которые определяются на основе предварительного анализа структуры его целей и выявления наиболее значимых новых функций.

При этом (особенно в случае увеличения числа таких сфер) в [10] предлагается после проведения тщательного анализа функций по выделенным сферам сопоставить эти функции с функциями подразделений действующей оргструктуры с целью выявления близости и возможности переориентации подразделений линейно-функциональной структуры на выполнение новых функций и по результатам такого анализа корректировать функции действующих подразделений, а новые создавать только по функциям, принципиально отличающимся от существовавших. При проведении этого сопоставления полезно использовать моделирование *организационно-технологических процедур (ОТП) подготовки и реализации управленческих решений* (см.). Такой подход позволяет сочетать достоинства системно-целевого и функционально-технологического подходов, не разрушая действующую оргструктуру, а обеспечивая ее корректировку с учетом новых условий функционирования предприятия, что особенно актуально в условиях постоянно изменяющейся рыночной среды.

- 1. Лейбкин д А. Р. Математические методы и модели формирования организационных структур управления / А.Р. Лейбкин д, Б.Л. Рудник, А.А. Тихомиров. – М.: МГУ, 1982. 2. Мильнер Б. З. Системный подход к организации управления / Б.З. Мильнер, Л.И. Евенко, В.С. Рапопорт. – М.: Экономика, 1983. 3. Методы и модели совершенствования организационных структур / Б.А. Лагоша, В.Г. Шаркович, Т.Г. Дегтярева. – М.: Наука, 1986. 4. Овсиевич Б. Л. Формирование организационных структур / Б.Л. Овсиевич. – Л.: Наука, 1979. 5. Организационные структуры управления предприятием / Под ред. Б.З. Мильнера. – М.: Экономика, 1975. 6. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. 7. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 8. Слезингер Г. Э. Совершенствование процессов управления предприятием / Г.Э. Слезингер. – М.: Машиностроение, 1975. 9. Соколов Д. В. Теоретические и методические предпосылки моделирования организационно-экономических структур хозяйственных систем / Д.В. Соколов. – Л.: ЛГУ, 1986. 10. Сыроужин И. М.

Методы структурной настройки системы управления производством / И.М. Сыроежин. – М.: Статистика, 1976. 11. Чудесова Г. П. Преобразование организационной структуры при изменении формы собственности предприятия / Г.П. Чудесова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1995.

*В.Н. Волкова, Б.И. Кузин, М.И. Старовойтова, Г.П. Чудесова*

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕДУРЫ ПОДГОТОВКИ И РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ (ОРГТЕХПРОЦЕДУРЫ, ОТП)** – последовательность операций для реализации функции управления с указанием подразделений, выполняющих эти операции.

Совокупность оргтехпроцедур отображает потоки управленческой информации на предприятии и характеризует организационную технологию управления предприятием [5].

Формирование и анализ ОТП является основой *функционально-технологического подхода* (см.) к проектированию организационных структур [1, 2, 4] и представляет собой крайне трудоемкий процесс, ограничивающий применение этого подхода.

Проводить такой анализ в более сжатые сроки без утраты полноты анализа помогает автоматизация процесса формирования вариантов оргтехпроцедур, для чего разрабатывают языки автоматизации моделирования ОТП [3].

- 1. В а л у е в С. А. Механизм управления хозяйственной организацией: текст лекций / С.А. Валуев. – М.: МЭСИ, 1981. 2. В а л у е в С. А. Организационное обеспечение систем управления научными исследованиями ВУЗа. / С.А. Валуев. – М.: Высш. школа, 1983. 3. В о л к о в а В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 4. С и с т е м н ы й анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В. Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 5. Ч у д е с о в а Г. П. Преобразование организационной структуры при изменении формы собственности предприятия / Г.П. Чудесова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1995. *Г.П. Чудесова*

**ОРГАНИЗАЦИЯ\*** – свойство систем обнаруживать взаимосвязанное поведение ее частей в рамках целого. Под частями системы понимаются ее элементы, подсистемы. Организация системы проявляется прежде всего в ограничении разнообразия поведения ее частей и является инвариантным свойством системы.

---

\* При подготовке раздела использованы материалы реферата студентки Н.А. Соколицыной.

Различные «наблюдатели» (см.) в зависимости от целей и средств исследования могут обнаруживать в системе различные организации.

При исследовании поведения системы (бихевиористский подход) наблюдатель не интересуется внутренней организацией системы и анализирует лишь взаимные изменения некоторых ее переменных, обычно называемых входами и выходами – модель «черного ящика» (см.). В этом случае с организацией системы отождествляют преобразования значений входных воздействий в значения выходных результатов, обеспечиваемые ею.

Иногда такого взгляда на организацию достаточно. Однако в большинстве ситуаций необходимо рассматривать и внутреннюю организацию – *структуру* (см.) системы. Выделение частей системы и связей между ними является процессом *структуризации* (см.) системы.

Структуризация может быть многоуровневой. При исследовании частей системы также может быть применен бихевиористский подход, разработаны различные модели исследования поведения частей.

Структура системы может быть *детерминированной* (не изменяться в течение длительного периода исследования системы), *стохастической* (при этом для исследования используются статистические характеристики системы), *адаптивной* (см. *Адаптация*) при изменениях в среде или внутренних нестабильностях. Виды структур организации могут быть различными (см. *Структура*, *Организационная структура*). Организация и структура системы тесно связаны с ее динамическими характеристиками, с понятиями *устойчивости* (см.), *чувствительности*.

При изучении *большой системы* (см.) обычно происходит постоянное изменение границы между системой и *средой* (см.), что приводит к необходимости изменения структуры организации.

В настоящее время теория организации формируется как самостоятельное научное направление. При этом становление соответствующей теории рассматривается в ряде работ независимо от становления *теории систем* (см.).

Концепция теории организации как универсальной науки, или метанауки, впервые была сформулирована русским ученым А.А. Богдановым в работе «Тектология: Всеобщая организационная наука» [6], изданной в 1913 г. (в 1925–1929 гг. в Берлине было опубликовано наиболее полное и известное издание этой

работы). Богданов рассматривал теорию организации как науку, обобщающую теоретические знания человечества об окружающем мире. Эта наука сконцентрировала в себе наиболее общие, фундаментальные положения таких наук, как физика, химия, биология, психология, социальные науки, экономика и т.д.

Позднее основные понятия теории организации были сформулированы и развиты в трудах выдающихся ученых, работавших в различных областях знания: в биологии – Л. фон Берталанфи [4, 5]; в математике – У.Р. Эшби [17], Н. Винер [7]; в экономике – Р.Л. Акофф [3] и др. Работы этих ученых объединял системный подход к изучению организационных процессов, что нашло свое выражение в единых системных методах исследования и привело к нахождению общих законов, справедливых для объектов различной природы. Результаты исследований этих ученых также заложили основы *кибернетики* (см.) и общей теории систем, и поэтому теорию организации целесообразно рассматривать в тесной связи с теорией систем.

На рис.1 показано соотношение трех наук: теории систем, теории организации и кибернетики.



Рис. 1

Кибернетика изучает законы функционирования особого вида систем, называемых кибернетическими, которые связаны с понятием *управление* (см.), с восприятием, запоминанием и переработкой *информации*. Кибернетические системы являются одной из разновидностей организационного целого и поэтому находятся в поле зрения общей теории организации, а законы их функционирования относятся к группе организационных законов. На уровне общей теории организации они используются для обобщения организационного опыта.

Общая теория систем имеет дело с законами и принципами, относящимися к системе в целом. Она ориентирована на раскрытие целостности объекта как системы, на выявление многообразия типов связей в нем и сведение их в единую теоретическую картину. В этом общее между теорией организации и теорией систем. А различия между ними вытекают из природы понятий «организация» и «система». Эти понятия тождественны лишь в той части, которая касается их целостных образований.

В основе теории организации лежат три главные сферы научного знания: математическое, естественное и общественное. Этим и определяется связь теории организации с другими областями научных знаний.

Теория организации тесно связана с естественными и общественными науками, которые для нее являются источниками идей, образов, организационного опыта. Из биологии, физики, химии ею черпается множество сведений для осмысления общих организационных закономерностей и принципов, а также распространения их на процессы сохранения и разрушения всех видов систем. Математика дает инструментарий для количественной оценки организационных связей и отношений. При изучении объектов в социальной и экономической областях теория организации использует достижения таких наук, как психология, социология, экономика.

Теория организации разрабатывается как метанаука по отношению к конкретным организационным наукам. Она устанавливает общие законы и принципы функционирования целостных образований на уровне абстракции.

Предметом исследования в теории организаций являются в основном социальные системы различного типа. В ней устанавливаются типологии социальных организаций, цели и закономерности их функционирования, разновидности структур соци-

альных организаций и сферы их приложения, взаимоотношения со средой жизнедеятельности, развитие.

**Природа и сущность организации.** Сущность понятия «организация» в широком смысле можно определить двояко: во-первых, организация – это внутренняя упорядоченность, согласованность, взаимодействие более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленные его строением; во-вторых, организация – это совокупность процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязи между частями целого.

Таким образом, в самом общем смысле под организацией следует понимать упорядоченное состояние элементов целого и процесс их упорядочения в целесообразное единство.

Такое определение организации позволяет рассматривать ее в статике и динамике (рис. 2).

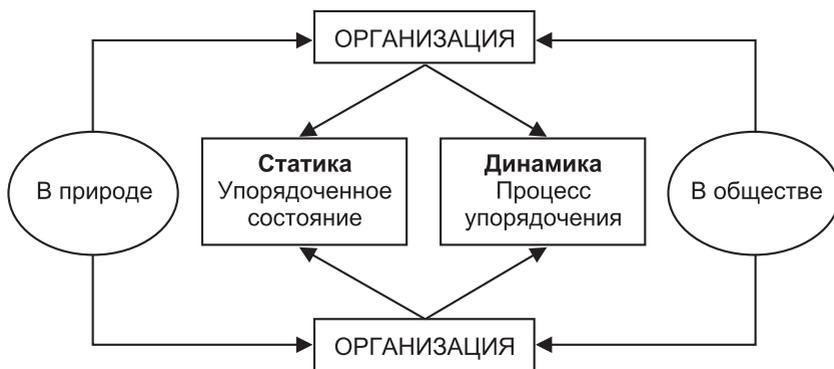


Рис. 2

В *статике* это некоторое целостное образование (социальное, техническое, физическое, биологическое), имеющее вполне определенную предназначенность.

В *динамике* она представляется в виде разнообразных процессов по упорядочению элементов, формированию и поддержанию целостности вновь создаваемых и функционирующих объектов. Эти процессы могут состоять из целенаправленных действий людей, и тогда можно говорить об организации как функции *управления* (см.). А могут состоять из естественных физических процессов, т.е. иметь *самоорганизующее* начало.

В таком представлении организация воплощается и в творениях рук человеческих, и в творениях природы.

Примеры рукотворных организаций – простые и сложные механизмы и машины, используемые человеком в качестве орудий труда, социальные организации различного типа (предприятия, научные, культурные, религиозные учреждения), реализующие различные задачи общественного бытия. В мире природы – это сложные жилища, создаваемые муравьями, термитами, пчелами; строение клетки, структура атома, сменяемость времен года.

Всеобщая упорядоченность во Вселенной достигается через непрерывное протекание организационных процессов и *самоорганизацию* (см.).

Рассматривая динамическое состояние организации, можно выделить три вида организационных процессов: саморегулируемые, организуемые, смешанные (рис.3).

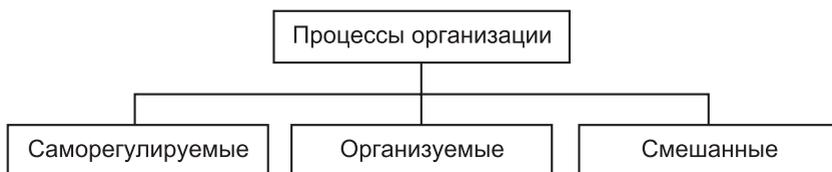


Рис.3.

*Саморегулируемые* – это процессы, которые совершенствуются сами по себе, благодаря взаимодействию тех или иных факторов. Эти процессы имеют целенаправленный, но вместе с тем спонтанный характер, они протекают при взаимодействии системы с окружающей средой, однако при этом остаются в той или иной мере автономны.

*Организуемые* – это процессы, которые кто-то или что-то осуществляет.

*Смешанные* – это процессы, сочетающие в себе свойства саморегулируемости и организуемости процессов.

Можно выделить три типа процессов саморегуляции:

1) процессы, благодаря которым происходит самозарождение организации, т.е. возникновение качественно нового целостного формирования из некоторой совокупности объектов определенного уровня (например, генезис многоклеточных организмов из одноклеточных);

2) процессы, поддерживающие определенный уровень организации при переменных внешних и внутренних условиях ее функционирования (например, жизнь пчелиной семьи);

3) процессы совершенствования и саморазвития организаций, которые способны накапливать и использовать прошлый опыт.

Основными характеристиками самоорганизации любой системы являются *необратимость*, выражающаяся в саморазвитии системы, и ее *определенная направленность*.

Необратимость означает лишь невозможность изменения направленности процессов в каждый данный момент времени, что характерно для обратимых процессов.

**Особенности и классификации социальных организаций.** Особый класс организаций представляют социальные.

*Социальная организация* – это сложная, открытая, управляемая, динамическая система с целенаправленным действием, создаваемая людьми, объединяющая людей, в функционировании которой люди играют активную роль.

Социальные организации создаются людьми для достижения определенных общественных и личных *целей* (см.). В этом заключается смысл их существования. Таким образом, социальная организация является элементом общественной системы. Но в рамках таких организаций объединены интересы большого числа людей, сосредоточены материальные ресурсы.

В организации в процессе ее работы создается определенная информационная среда, определяющая коммуникационные связи внутри нее и с внешней средой, складывается свой социально-психологический климат, также определяющий отношения между людьми.

Особенности социальных организаций: реализация потенциальных возможностей и способностей человека, формирование единства интересов людей (личных, коллективных, общественных), сложность, динамизм, высокий уровень неопределенности.

Социальные организации имеют многообразные формы. Это предприятия, больницы, вузы, политические партии, спортивные общества и т.д. Термин «организация» применяется часто как обобщающее наименование предприятий, учреждений, научно-исследовательских и проектных институтов, конструкторских бюро и т.д. Например, «предприятия и другие *организации*», «научно-исследовательские и проектные *организации*» и т.п. В деятельности этих организаций важную роль играют отношения

между людьми, поэтому социальная организация является предметом исследования многих общественных наук.

Существует несколько подходов к квалификации социальных организаций. Рассмотрим некоторые из них.

#### *1. Классификация по принципам объединения людей.*

Это добровольные организации, члены которых объединены на добровольной основе (например, религиозные общины, политические партии, клубы), и принудительные организации, членами которых становятся принудительным путем (например, места заключения).

#### *2. Классификация по способу создания*

1) Искусственные (или формальные). Создаются преднамеренно: они проектируются, затем строятся и реализуются на практике. Например, предприятия, школы, больницы.

2) Естественные (или неформальные). Возникают спонтанно, без предварительного проектирования и других заранее намеченных действий. Например, стихийные поселения людей, группы сотрудников, объединенные общими личными интересами внутри формальной организации.

#### *3. Классификация по характеру деятельности*

1) Технологические организации реализуют технологию изготовления определенной продукции или предоставления услуг.

2) Программно-целевые организации реализуют заранее определенную программу работ по осуществлению некоторой социальной проблемы.

3) Непрограммные организации. Реализуют сложную и гибкую систему действий, которую четко определить заранее невозможно.

#### *4. Классификация по общественным функциям*

1) Хозяйственные (деловые или коммерческие) организации создаются отдельными предпринимателями, коллективами и социальными институтами для реализации коммерческой идеи. Один из основных стимулов деятельности таких организаций – прибыль.

2) Некоммерческие организации создаются для реализации какой-либо общественной или личной цели. Среди показателей деятельности таких организаций прибыль отсутствует. Их можно подразделить на:

общественные организации, которые являются союзами индивидуальных участников, объединенных общей некоммерческой идеей;

ассоциированные организации: семья, научная школа, неформальные группы.

Более подробно рассмотрим хозяйственные организации из последней классификации.

**Хозяйственные организации.** Они создаются для удовлетворения потребностей и интересов человека и общества во внешней для организации среде. Данные организации могут производить продукцию в виде товаров, услуг, информации или знаний (рис. 4).



Рис. 4

К хозяйственным организациям относятся:

*юридические лица* всех форм (кроме общественных и религиозных организаций);

*неюридические лица* всех форм, в том числе подразделения организаций, организации на базе индивидуальной трудовой деятельности и т. д.

Хозяйственные организации как юридические лица могут существовать в различных организационно-правовых формах.

В нашей стране в настоящее время эти формы определяются Гражданским кодексом Российской Федерации. Согласно ст. 50 ГК РФ возможны следующие организационно-правовые формы: Общество с ограниченной ответственностью; Общество с дополнительной ответственностью; Акционерное общество (открытое или закрытое); Полное товарищество; Товарищество на вере; Потребительский кооператив; Фонд; Учреждение; Ассоциация; Союз.

Возможны следующие классификации хозяйственных организаций:

- по размеру: микро-, малые, средние и крупные. Критериями такого разделения могут служить численность персонала, значимость выпускаемой продукции, занимаемая доля рынка в соответствующем секторе и т.п.;

- по времени действия: бессрочные и временные. Для юридических лиц время деятельности организации указывается в регистрационных документах;
- по сезону активного действия: летние, зимние, в сезон дождей и т.п.; этот статус дает организации возможность набирать персонал на определенный циклический срок;
- по технологии производства: единичное, серийное, массовое;
- по специализации производства: специализированное, универсальное;
- по номенклатуре выпускаемой продукции: монономенклатурное, многономенклатурное производство;
- по форме собственности; хозяйственные организации могут иметь следующие формы собственности: государственную, муниципальную, общественную, арендную, частную, групповую, смешанную.

Любая форма собственности характеризуется отношением субъекта и объекта к собственности, отраженным в договоре.

На управление и хозяйственное владение государственным предприятием выдается временная доверенность в виде назначения на должность.

По статусу для своих членов хозяйственные организации можно разделить так, как показано на рис. 5.

*Первичные* организации для объединяемых ими людей выступают как внешняя данность, созданная или существующая независимо от них. Такие организации приоритетны над своими членами. *Вторичные* организации создаются их членами, которые наделяют организацию определенными правами и ресурсами.

К *корпоративным* относятся организации, члены которых готовы для достижения своих целей пожертвовать своим суверенитетом. Например, акционерное общество, которое в лице совета директоров в промежутках между собраниями акционеров диктует последним свою волю. В то же время на собрании акционеры определяют дальнейшую судьбу организации, стратегию и перспективы ее развития, выбирают руководителей.

Организации *ассоциативного* типа создаются своими членами для повседневной координации их деятельности без потери ими суверенитета, поэтому не обладают даже условным приоритетом над ними.

С позиции взаимодействия отдельных элементов организации они подразделяются на *механистические* и *органические*.



Рис. 5

*Механистические* организации характеризуются жесткой структурой, официальным характером отношений, регламентацией всех сторон деятельности. Примером могут служить государственные организации, крупные и средние коммерческие фирмы, функционирующие в традиционных отраслях экономики, слабо подверженных научно-техническому прогрессу и конкурентной борьбе.

*Органические* организации характеризуются размытостью структуры, значительной самостоятельностью отдельных звеньев, широкой специализацией. Организации такого типа преобладают в сферах деятельности, характеризующихся нестабильностью, сложностью и неопределенностью целей и задач. Чаще всего они связаны с инновационными процессами: научными исследо-

ваниями, опытно-конструкторскими работами, внедрением их результатов в практику.

**Социальная организация как открытая система.** В теории организации для ее описания используются знания общей *теории систем* (см.).

Важными характерными чертами организации являются системность и комплексность, что означает возможность применения принципов всеобщей связи и развития к ее познанию.

Представление организации как системы позволяет выделить ряд присущих ей общих свойств, наблюдаемых в организациях любой природы. К ним относятся *эмерджентность*, или *целостность* (см. *Закономерность целостности*), *гомеостазис* (см. *Гомеостаз*). Создание целого осуществляется посредством интеграции (см. *Закономерность интегративности*).

Термин *эмерджентность* подчеркивает появление неожиданных, качественно новых свойств целого, отсутствующих у его составных частей. Поскольку свойства целого не являются простой суммой свойств составляющих его элементов, хотя и зависят от них, а объединенные в систему элементы могут терять свойства, присущие им вне системы, и приобретать новые, то подобно тому, как из одних и тех же атомов могут образовываться молекулы различных веществ, так и из одних и тех же категорий специалистов могут создаваться производственные организации различного профиля.

Свойство целостности (связности, единства целого) применительно к организации предполагает следующее:

- целое первично, а части вторичны;
- интеграция – это условия взаимосвязанности многих частей внутри целого;
- части образуют неразрывное целое так, что воздействие на любую из них влияет на все остальные;
- каждая часть имеет свое определенное назначение с точки зрения той цели, на достижение которой направлена деятельность целого;
- природа частей и их функций определяется положением частей в целом, а их поведение регулируется взаимоотношениями целого и его частей;
- целое – это система или комплекс либо конфигурация сил, которая ведет себя как нечто единое независимо от степени его сложности;
- все должно начинаться с целого – это предпосылка начала работы, а затем должны быть выделены части и определены их взаимоотношения.

Организация, являясь целостным, системным образованием, обладает свойством *устойчивости* (см.), т.е. всегда стремится восстановить нарушаемое равновесие, компенсируя возникающие

под влиянием внешних факторов изменения. Это явление называется *гомеостазис* – относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней среды и устойчивость основных функций системы.

Организация, находящаяся в равновесии, в процессе развития постоянно утрачивает это качество и переживает новое состояние, называемое *кризисом*. Преодолевая состояние кризиса, она приходит к новому равновесию, но уже на другом уровне развития. Это принцип *подвижного равновесия*.

Явление гомеостаза и принцип подвижного равновесия обеспечиваются с помощью *управления* как субъективно и объективно реализуемого воздействия на систему с целью перевода ее из одного устойчивого состояния в другое.

В виде системы могут выступать любая фирма (организация), ее подразделение, отдел, человек. Каждая система является составной частью более крупной и сложной системы.

Социальные организации являются социальными системами, которые реализуют себя в производстве товаров, услуг, информации, знаний и неотъемлемым элементом которых являются человек, коллективы людей. В основе таких систем лежат интересы членов организации, их совокупность влияет на состояние системы, ее развитие.

Системы бывают *открытыми* (см.) и *закрытыми* (см.). Понимание организации как закрытой системы основано на независимости ее внутреннего состояния от внешней среды. Социальные организации можно считать открытыми системами, так как они обмениваются с внешней средой энергией, информацией и веществом.

***Законы организации*** разработаны на основе *закономерностей функционирования и развития систем* (см. Введение).

*Общие законы*

- Закон синергии

Для любой организации существует такой набор элементов, при котором ее потенциал всегда будет либо существенно больше простой суммы потенциалов входящих в ее состав элементов, либо существенно меньше. В теории управления процесс существенного усиления или ослабления потенциала какой-то материальной системы носит название синергии. Для социальной организации задача ее руководителя заключается в том, чтобы найти такой набор элементов, при котором синергия носила бы созидательный характер, т.е. таким образом подобрать людей и организовать их взаимодействие, чтобы это увеличило результат сверх суммы их индивидуальных возможностей.

- Закон самосохранения

Любая организация стремится сохранить себя как целостное образование (выжить) и, следовательно, экономнее расходовать свой ресурс. Все системы в природе стремятся к равновесию. Живые организации могут поддерживать свое существование только в результате обмена энергией, ресурсами с окружающей средой, и они осуществляют этот обмен. Все они являются открытыми системами, т.е. в окружающей среде существуют другие системы, которые оказывают на них влияние и на которые первые тоже влияют. Результатом этих воздействий является отклонение рассматриваемой организации от тех характеристик параметров внутренней среды, при которых система находилась в равновесном состоянии. Состояние, в которое система неизбежно возвращается и в котором она при отсутствии возмущений остается неограниченно долго, называется абсолютным равновесием. Однако большинство систем динамичны и абсолютного равновесия не достигают никогда, и можно говорить о подвижном равновесии: система переходит из любого состояния в состояние равновесия (каждый раз нового), она совершает выбор, отвергая одни состояния (которые она покидает) и сохраняя другие (в которые она переходит).

Социальная организация находится в состоянии *статического равновесия*, если со временем не меняется ее структура, а сама система стабильно развивается по известному закону. Если структура организации меняется во времени, то можно говорить о *динамическом равновесии*.

Важным аспектом равновесия, связанным с выживанием, является *устойчивость* (см.) – способность системы функционировать в состояниях, близких к равновесию, в условиях постоянных внутренних и внешних возмущающих воздействий. Существуют два рода устойчивости.

*Устойчивостью первого рода* называется свойство организации вновь возвращаться в исходное состояние после выхода из состояния равновесия. Такой вид устойчивости соответствует *статическому равновесию*. Но отклонения могут быть слишком велики, и система может разрушаться, т.е. распадается ее структура. Тогда она перейдет в новое состояние, так называемое *энтропийное равновесие*. Если же, несмотря на возмущающие воздействия, система сохраняет прежнюю структуру и приходит в состояние равновесия, то в данном случае имеет место *гомеостатическое равновесие*.

*Устойчивость второго рода* имеет место тогда, когда после выхода системы из состояния равновесия она переходит в состояние колебания вблизи нового равновесного состояния. Такой вид устойчивости соответствует *динамическому*, или *морфогенетическому*, *равновесию*, при котором возмущающие воздействия подавляются с помощью внутренней перестройки структуры и нового роста, т.е. имеет место *устойчивость функций системы*.

- Закон онтогенеза (развития)

Онтогенез – индивидуальное развитие организма, совокупность преобразований, претерпеваемых организмом от зарождения до конца жизни. Закон онтогенеза: каждая материальная система стремится достичь

наибольшего суммарного потенциала при прохождении всех этапов жизненного цикла.

Закон развития опирается на принципы *инерции, эластичности, непрерывности и стабилизации*.

Принцип *инерции* (запаздывания) заключается в том, что изменение потенциала системы начинается спустя некоторое время после начала воздействия изменений во внешней и внутренней среде и продолжается некоторое время после их окончания. В социальных организациях принцип инерции проявляется в функционировании устаревшего оборудования, в использовании устаревших знаний и навыков, отживших организационных структур и т.п.

Принцип *эластичности* состоит в том, что скорость изменения потенциала системы зависит от самого потенциала. На практике эластичность системы оценивается в сравнении с другими системами исходя из статистических данных. Различные социальные организации по-разному реагируют на одни и те же события в зависимости от профессионализма персонала, технического, организационного и культурного уровня самой организации.

Суть принципа *непрерывности* в том, что процесс изменения потенциала системы идет непрерывно, меняются лишь скорость и знак изменения.

Принцип *стабилизации* трактует, что система стремится к стабилизации диапазона изменения и потенциала.

### *Законы второго уровня*

- Закон информированности – упорядоченности

В организационном целом не может быть больше порядка, чем информации или, иными словами, чем большей информацией располагает организация о внутренней и внешней среде, тем большую вероятность устойчивого функционирования (самосохранения) она имеет.

- Закон единства анализа и синтеза

Процессы разделения, специализации, дифференциации, с одной стороны, дополняются противоположными процессами – соединения, кооперации, интеграции – с другой. Учет требований данного закона необходим на всех этапах развития организаций живой и неживой природы, социальных систем.

Цель анализа систем – возможно более полное познание закономерностей их функционирования при существующей, заданной структуре. В основе анализа как способа познания лежит такой признак систем, как делимость. Суть анализа (декомпозиции) состоит в разделении целого на части, в представлении сложного в виде простых составляющих. Важная сторона аналитической работы – анализ причинно-следственных связей между выделенными частями, который сводится к выявлению необходимых и достаточных условий для поддержания требуемого взаимодействия между частями целого. Трудность аналитической работы состоит в определении элемента, до которого следует вести разделение целого.

Синтез (композиция) – это процесс объединения в единое целое частей, свойств, отношений, выделенных посредством анализа. Задача синтеза – спроектировать, построить такую структуру системы, при которой наилучшим образом будут реализованы заданные функции. Стадия синтеза относится к активной, системосозидающей деятельности человека.

В наиболее общей форме синтез новой системы включает три этапа: определение всех необходимых функций, которые должны быть выполнены; выявление хотя бы одного безусловно осуществимого способа выполнения каждой функции; отыскание такой схемы или модели, в рамках которой можно совместно выполнить отдельные функции для достижения общих целей.

Анализ сосредоточивается на структуре, показывает, как работают части целого, а синтез концентрируется на функциях, вскрывает, почему части целого действуют так, а не иначе. Поэтому анализ дает нам знание, а синтез – понимание. Первый позволяет нам описать, второй – объяснить. Процессы анализа и синтеза в организации идут постоянно и циклично.

- Закон композиции и пропорциональности

В организации существует необходимость согласования целей: они должны быть направлены на поддержание основной цели более общего характера (закон композиции). При этом также существует необходимость определенного соотношения частей целого и их соразмерности, соответствия и зависимости (закон пропорциональности).

Действие этого закона распространяется на системы, которые можно назвать *целенаправленными* (см. *Цель*). В таких системах существуют проблемы определения: общей цели (миссии), согласования многих целей.

Реализация закона композиции и пропорциональности в социальных организациях требует обязательного использования принципов: *планирования, координации и полноты*.

*Принцип планирования* гласит: каждая организация должна иметь обоснованный план деятельности и развития. Можно выделить планирование стратегическое (5...10 лет), тактическое (2...4 года) и оперативное (в течение одного года). Планирование связано с выработкой целей организации. Каждая цель представляется в виде набора конкретных задач с механизмом их выполнения.

*Принцип координации* предусматривает, что каждая организация должна следить за стратегическими, тактическими, оперативными изменениями и вносить соответствующие коррективы в механизм выполнения целей и задач. Этот принцип реализует достаточное условие закона композиции.

Суть *принципа полноты*: каждая организация должна выполнять весь набор функций производства и управления на своем участке деятельности своими силами либо с помощью привлеченных организаций.

**Управление в организации.** Под управлением в широком смысле слова понимается «функция организационных систем различной природы (биологических, социальных, физических), обеспечивающая сохранение их определенной структуры, поддержание режима деятельности, реализацию их программ и целей» [14, С. 1379].

Системы, которые обладают свойством изменять свое поведение, переходить в разные состояния под влиянием различных *управляющих* воздействий, называются *управляемыми* системами. *Системой управления* будем называть совокупность всех элементов, подсистем и коммуникаций между ними, а также процессов, обеспечивающих заданное функционирование организации.

В управляемых системах всегда присутствуют орган, осуществляющий функцию управления, т.е. *субъект управления* (управляющая часть), и *объект управления* (управляемая часть).

На рис. 6 представлена упрощенная схема системы управления.

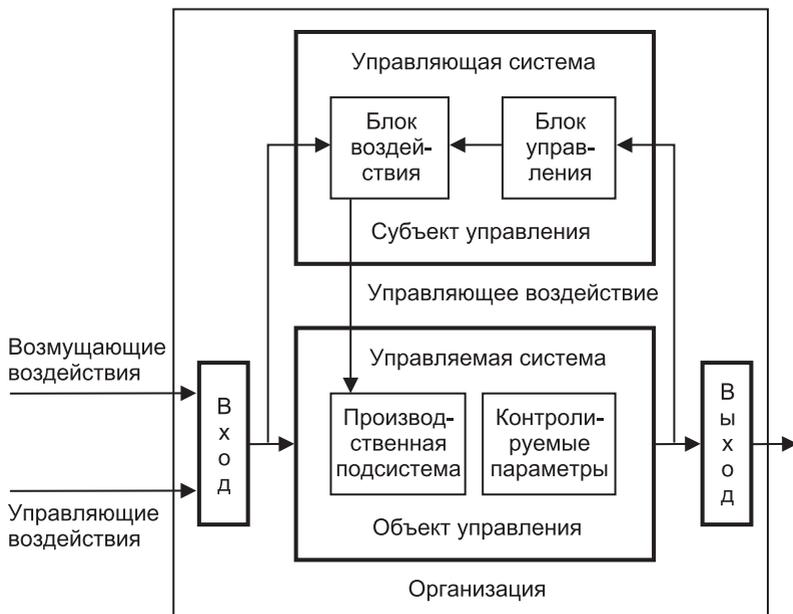


Рис. 6

На каждую систему с помощью множества внешних воздействий оказывает влияние *внешняя среда*, характеризующаяся определенными величинами. Эти внешние для рассматриваемой системы величины называются входными величинами (входными переменными), а элементы системы, к которым приложены входные воздействия, – входами системы.

На результаты работы социальной организации влияют также возмущения *внутреннего* характера, возникающие в самой системе.

При решении задач управления выделяют два типа входных параметров: *управляющие* воздействия, *возмущающие* воздействия. Через каналы связи движутся потоки информации, используемые всеми подсистемами организации и обеспечивающие достижение целей организации. Воздействие самой системы на окружающую среду характеризуется значениями ее выходных величин. Совокупность выходных величин позволяет субъекту управления определять соответствие результатов целям управления.

Качество организации оценивается с позиции достижения ею поставленных *целей* (см.) в определенной *среде* (см.).

В социально-экономических организациях важным является понятие *организационной структуры* (см.).

- 1. Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть 1 (Федеральный закон от 30.11.94 № 51-ФЗ в ред. Федеральных законов от 20.02.96 №111-ФЗ, от 08.07.99 № 138-ФЗ). 2. Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть 2 (Федеральные законы от 26.01.96 № 110-ФЗ и от 24.10.97 №133-ФЗ). 3. Акофф Р. Основы исследования операций / Р. Акофф, М. Сасени. – М.: Мир, 1971. 4. Бергаланфи Л. фон. История и статус общей теории систем / Л. фон Бергаланфи // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37. 5. Бергаланфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор / Л. фон Бергаланфи // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82. 6. Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука: В 2 кн. / А. А. Богданов. – М.: Экономика, 1989. 7. Винер Н. Кибернетика: или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – М.: Наука, 1983. 8. Гвишиани Д. М. Организация и управление / Д. М. Гвишиани. – М.: Изд-во МГУ, 1998. 9. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 410–412. 10. Мильнер Б. З. Системный подход к организации управления / Б. З. Мильнер, Л. И. Евенко, В. С. Рапопорт. – М.: Экономика, 1983. 11. Самков В. М. Теория организации / В. М. Самков. – Екатеринбург: УрАГС, 1998. 12. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С. А. Валуева, В. Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 13. Смирнов Э. А. Основы теории организации / Э. А. Смирнов. – М.: ЮНИТИ, 1998. 14. Советский

энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 2-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. 15. Соколицын С.А. Организация и оперативное управление машиностроительным производством: учеб. для вузов / С.А. Соколицын, Б.И. Кузин. – Л.: Машиностроение, 1988. 16. Теория организации: учеб. для вузов. – М.: Луч, 1999. 17. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. / У.Р. Эшби. – М.: Иностран. лит., 1959. 18. Янг С. Системное управление организацией / С. Янг. – М.: Сов. радио, 1972. *Б.И. Кузин*

**ОТКРЫТАЯ СИСТЕМА** – понятие, введенное Л. фон Берталанфи [1]. Основные отличительные черты открытых систем – способность обмениваться со средой массой, энергией и информацией. В отличие от них *закрытые (замкнутые) системы* (см.) предполагаются (с точностью до чувствительности модели) полностью лишены этой способности, т.е. изолированными от среды.

Возможны частные случаи: например, не учитываются гравитационные и энергетические процессы, а в модели системы отражается только обмен информацией со средой; тогда говорят об информационно-проницаемых или соответственно об информационно-непроницаемых системах.

С моделью открытой системы Берталанфи можно познакомиться в [1, 2]. Там же рассматриваются некоторые интересные особенности открытых систем. Одна из наиболее важных состоит в следующем. В открытых системах «проявляются термодинамические закономерности, которые кажутся парадоксальными и противоречат второму началу термодинамики» [2. – С. 42].

Второй закон термодинамики («второе начало»), сформулированный для закрытых систем, характеризует их ростом энтропии, стремлением к неупорядоченности, разрушению. Проявляется этот закон и в открытых системах (например, старение биологических систем). Однако, в отличие от закрытых, в открытых системах возможен «ввод энтропии», ее снижение; «подобные системы могут сохранять свой высокий уровень и даже развиваться в сторону увеличения порядка сложности» [2.– С. 42], т.е. в них проявляется *закономерность самоорганизации* (см. *Самоорганизация*), хотя Берталанфи такого объяснения еще не приводит. Именно поэтому важно для системы управления поддерживать хороший обмен информацией со средой.

Одним из принципиальных отличий открытых систем от закрытых является тот факт, что если закрытые системы оперируют

обычно понятием *цель* (см.) как внешним по отношению к системе, то в открытых, развивающихся системах цели не задаются извне, а формируются внутри системы на основе соответствующих *закономерностей целеобразования* (см.).

- 1. Бертоланфи Л. фон. История и статус общей теории систем / Л. фон Бертоланфи // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37. 2. Бертоланфи Л. фон. Общая теория систем: Критический обзор / Л. фон Бертоланфи // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82. 3. Bertalanfy L. von. General System Theory – a Critical Review/ L. von Bertalanfy // General System, vol. VII, 1962, P. 1–20. В.Н. Волкова



**ПАТТЕРН (PATTERN)\*** – первая методика системного анализа, в которой были определены порядок, методы формирования и оценки приоритетов элементов структур целей (названных в методике «деревом целей»).

Считается, что инициатором создания методики является Ч. Дэвис, вице-президент фирмы «Хониуэлл» корпорации РЭНД (RAND), одной из так называемых «думающих», неприбыльных корпораций, занимающихся разработкой военных доктрин, рекомендаций для выбора проектов новых систем вооружения, исследованием военного и научного потенциала «противника», рынков сбыта оружия и другими аналогичными проблемами анализа и прогнозирования развития военного потенциала США.

Назначением, конечной целью создания системы ПАТТЕРН были подготовка и реализация планов обеспечения военного превосходства США над всем миром. Перед разработчиками методики ПАТТЕРН была поставлена задача – связать воедино военные и научные планы правительства США.

Первые сообщения о методике ПАТТЕРН появились в 1963 г.\*\* Однако в последующем публикации в основном копи-

---

\* Англ. pattern означает: а) шаблон; б) прицел. Аббревиатура PATTERN – Planning Assistance Through Technical Evaluation from Relevance Number (помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки) [1].

\*\* Kushnerick J.P. Is your research relevant? /J.P. Kushnerick // Aerospace management, 1963, vol. 6, Oct., P. 24–29.

руют первые. Это связано с тем, что инициативой фирмы «Хониуэлл» заинтересовалось Министерство обороны США и, соответственно публикации в открытой печати были ограничены, а в дальнейшем, после того, как сенатор Г. Хемфри выступил в 1964 г. в Конгрессе США с предложением создать на базе идеи ПАТТЕРН Бюро помощи президенту в подготовке решений научно-информационными методами (PASSIM\*), открытые публикации о развитии методики практически прекратились.

Принципиальная структура методики ПАТТЕРН приведена на рис. 1. В качестве основы для формирования и оценки «дерева целей» разрабатывались «сценарий» (нормативный прогноз) и прогноз развития науки и техники (изыскательский прогноз).

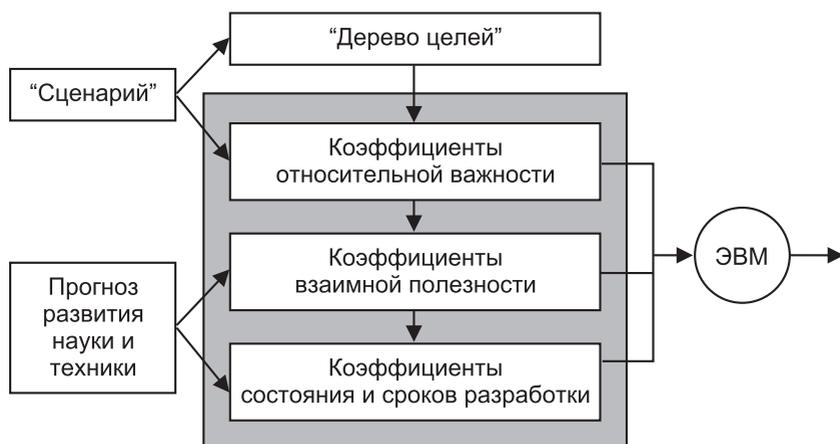


Рис. 1

Из первых публикаций (см. обзор этих публикаций в [3]) известно следующее: руководителем первой разработки ПАТТЕРН был С. Зигфорд, в группу разработчиков входили 15 высококвалифицированных специалистов, обладающих правом консультироваться с любым работником фирмы и имеющих доступ к любым документам; разработчикам системы предоставлялась возможность консультироваться с сотнями тысяч специалистов и десятками фирм (в частности, при практической реализации первого варианта методики разработчики имели право консульти-

\* PASSIM – President Advisory Staff on Scientific Information Management.

роваться с 17000 специалистов); первая модель ПАТТЕРН потребовала обработки более 160 промежуточных решений; в числе основных исполнителей проекта – НАСА, Министерство обороны США и десятки других организаций, оказывающих существенное влияние на управление страной [1].

Пример одного из вариантов «дерева целей», построенных при выполнении одного из проектов ПАТТЕРН, дан на рис. 2.



Рис. 2

Практика использования системы ПАТТЕРН продемонстрировала возможность проводить анализ сложных проблемных ситуаций, распределять по важности огромное количество данных в любой области деятельности, исследовать взаимное соотношение постоянных и переменных факторов, на которых основываются и на которые влияют принимаемые ими решения.

Система ПАТТЕРН явилась важным средством анализа труднорешаемых проблем с большой начальной неопределенностью, прогнозирования и планирования их реализации. Основные идеи методики применялись в различных областях – научные исследования, проектирование и создание систем различной сложности в научно-исследовательских организациях и на предприятиях, расширение рынков сбыта военно-космической продукции и т.д.

Глубина *прогнозирования* (см.) в системе ПАТТЕРН составляла 10...15 лет, что соответствовало жизненному циклу становления и старения техники.

Главное достоинство методики ПАТТЕРН состоит в том, что в ней предложена идея структуризации целей и определены классы критериев [3]: оценки (коэффициенты) относительной важности, взаимной полезности, состояния и сроков разработки («состояние – срок»).

Эти классы критериев в различных модификациях используются в ряде других методик и до сих пор являются основой при определении системы оценок составляющих структур целей.

Что касается собственно формирования структуры целей, то из опубликованных материалов известно, что в различных модификациях методики разным уровням иерархии предлагается присваивать разные названия (см., например, один из вариантов «дерева целей» ПАТТЕРН на рис. 2). Логика же формирования структуры, как отмечали сами авторы, не отработывалась.

Не уделялось внимания разработке принципов и приемов структуризации ни в последующих вариантах методики – ПАТТЕРН-МО, НАСА-ПАТТЕРН, ни в других зарубежных методиках – ПРОФИЛЕ, ППБ и т.п. [3, 5].

Поэтому отечественные ученые с самого начала применения системного анализа основное внимание уделяли разработке принципов и приемов формирования первоначального варианта структуры целей («дерева целей»), составляющие которого подлежат затем оценке и анализу (см. *«Дерево целей»*).

Опыт работы с методикой выявил и ряд других проблем: во-первых, недостаточна одноразовая разработка сценария, необходим динамический постоянно изменяющийся сценарий; во-вторых, по мере перехода от политических задач верхнего уровня структуры целей к научным, а затем к техническим проблемам профиль специалистов должен изменяться; в-третьих, крайне сложной оказалась проблема оценки по критерию «взаимной полезности» элементов «дерева целей» и достаточно сложной и трудоемкой – оценка относительной важности, требующая постоянного пересмотра оценок по мере корректировки «дерева», что в дальнейшем потребовало поиска новых способов оценки.

Например, метод попарных сравнений Т. Саати [4], информационные оценки А.А. Денисова [2] и другие *методы организации сложных экспертиз* (см.).

В то же время следует понимать, что методика ПАТТЕРН была первым инструментом анализа трудноформализуемых проблем с большой неопределенностью, их прогнозирования и планирования.

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997; 3-е изд., 2003. – С. 243–245. 2. Волкова В. Н. Цель: прогнозирование, анализ, структуризация / В.Н. Волкова, В.А. Чабровский. – СПб.: Изд-во ИСЭП

РАН, 1995. 3. Лопухин М. М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М. М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971. 4. Саати Т. Аналитическое планирование и организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. 5. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1974. *В. Н. Волкова*

**ПЛОХО ОРГАНИЗОВАННАЯ (ДИФФУЗНАЯ) СИСТЕМА** – вид системы в классификации по степени организованности (см. Введение).

При представлении объекта в виде плохо организованной, или диффузной, системы не ставится задача определить все учитываемые компоненты и их связи с целями системы. Система характеризуется некоторым набором макропараметров и закономерностями, которые выявляются на основе исследования не всего объекта или класса явлений, а путем изучения определенной с помощью некоторых правил достаточно представительной *выборки* компонентов, характеризующих исследуемый объект или процесс. На основе такого, *выборочного*, исследования получают характеристики, или *закономерности* (статистические, экономические и т. п.) и распространяют их на поведение системы в целом.

При этом делаются соответствующие оговорки. Например, при получении статистических закономерностей их распространяют на поведение системы с какой-то вероятностью, которая оценивается с помощью специальных приемов, изучаемых математической статистикой.

В качестве примера применения диффузной системы обычно приводят отображение газа. При использовании газа для прикладных целей его свойства не определяют путем точного описания поведения каждой молекулы, а характеризуют газ макропараметрами – давлением, относительной проницаемостью, постоянной Больцмана и т. д. Основываясь на этих параметрах, разрабатывают приборы и устройства, использующие свойства газа, не исследуя при этом поведения каждой молекулы.

Отображение объектов в виде диффузных систем находит широкое применение при определении пропускной способности систем разного рода, установлении численности штатов в обслуживающих, например ремонтных, цехах предприятия и в обслуживающих учреждениях (для решения подобных задач применяют методы теории массового обслуживания), при исследовании документальных потоков информации и т. д.

- 1. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 43. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валугева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 48. 3. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов./В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ. – С. 50. В.Н. Волкова

**ПОДСИСТЕМА.** Сложная система, как правило, не может быть сразу разделена на составляющие, являющиеся пределом ее членения, т.е. *элементами* (см). При многоуровневом расчленении системы используют другие термины, принятые в теории систем: *подсистема, компонента*.

Понятие *подсистема* подразумевает, что выделяется относительно независимая часть системы, обладающая свойствами системы и, в частности, имеющая подцель, на достижение которой ориентирована подсистема, а также другие свойства – *целостности* (см. *Закономерность целостности*), *коммуникативности* (см. *Закономерность коммуникативности*) и т.п., определяемые закономерностями систем (см. *Введение*).

Если же части системы не обладают такими свойствами, а представляют собой просто совокупности однородных элементов, то такие части принято называть *компонентами*.

Расчленяя систему на подсистемы, следует иметь в виду, что так же, как и при расчленении на элементы, выделение подсистем зависит от цели и может меняться по мере ее уточнения и развития представлений исследователя об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

- 1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов /В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 24–25. 2. Исследования по общей теории систем / Сб. переводов под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. 3. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валугева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 32–33. 4. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 29–30. В.Н. Волкова

**ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ** предлагались и применялись на протяжении всей истории развития теории систем.

Существуют различные подходы к представлению (отображению), анализу и проектированию систем.

Традиционный подход, применяющийся в математических исследованиях: определить элементы-переменные и связать их соответствующим соотношением (формулой, уравнением, системой уравнений), отображающим принцип взаимодействия элементов.

Когда задачи усложнились и такое соотношение не удавалось сразу найти, предлагалось формировать «пространство состояний» элементов и вводить «меры близости» между элементами этого пространства. Такой подход вначале пытались применить для исследования сложных систем. Предлагалось обследовать систему, выявить все элементы и связи между ними. Этот подход называли иногда «перечислением» системы.

При обследовании применялись разные способы: 1) *архивный* (изучались документы и архивы предприятия); 2) *опросный*, или *анкетный* (опрашивались сотрудники, в том числе с помощью специально разработанных вопросников-анкет).

Однако первые же попытки применить такой подход к исследованию систем управления предприятиями и организациями показали, что «перечислить» сложную систему практически невозможно. В истории разработки автоматизированных систем управления был такой случай. Разработчики написали несколько десятков томов обследования системы, а так и не могли приступить к созданию АСУ, поскольку не могли гарантировать полноты описания. Руководитель разработки вынужден был уволиться и впоследствии стал изучать системный подход и популяризировать его.

Учитывая трудности «перечисления» системы, с самого начала возникновения системных теорий исследователи искали подходы к ее анализу и созданию.

Приведем основные из них:

- в начальный период развития теории систем развивался бихевиористский (behaviour – поведение) подход, основанный на исследовании поведения систем [1]; однако этот подход весьма трудоемок и не всегда реализуем;
- американский ученый Михайло Месарович [2] предложил подходы, которые назвал *целенаправленным* и *терминальным* (от «терм» – элементарная частица, интересующая исследователя);

- польский ученый Роман Куликовски [5] предложил называть аналогичные подходы «*декомпозицией*» и «*композицией*» системы;

- швейцарский астроном Фердинанд Цвикки [3, 4] предложил и развил *морфологический подход* (см.), который помогает искать полезные объединения элементов путем их комбинаций;

- американская корпорация RAND [6] предложила подход к созданию сложных программ и проектов, названный «*деревом целей*» (см.);

- в практике проектирования сложных технических комплексов возникли термины «*язык моделирования*», «*язык автоматизации проектирования*» (см.), применяющиеся для отображения взаимосвязей между компонентами проекта; поскольку при разработке языков моделирования применяются *математическая логика* (см.) и *математическая лингвистика*, в которой есть удобный термин для описания структуры языка – *тезаурус* (см.), этот подход называют иногда *лингвистическим* или *тезаурусным* (см.);

- при исследовании и формировании структур предложены подходы: 1) путем поиска связей между элементами или, напротив, 2) путем устранения лишних связей.

В настоящее время на основе обобщения предшествующего опыта сформировались два основных подхода к отображению систем, первоначально предложенные для формирования структур целей [7–9]:

а) «сверху» – методы *структуризации*, или *декомпозиции* (см.), *целевой*, или *целенаправленный* (см.), подход;

б) формирование системы «снизу» – подход, который называют *морфологическим* (в широком смысле), *лингвистическим* (см.), *тезаурусным* (см.), *терминальным* методом «языка» системы (см. *Подходы к анализу и проектированию систем*). С помощью этого подхода реализуют поиск взаимосвязей (мер близости) между элементами.

Подход «снизу» можно реализовать, применяя не только комбинаторные (морфологический и т.п.), но и бихевиористский подход, вариант которого при автоматизации моделирования поведения объектов в настоящее время иногда называют *процессным*.

Подходы «сверху» и «снизу» называют также *аксиологическим* (см. *Аксиологическое представление системы*) и *каузальным* (см. *Каузальное представление системы*) соответственно [11].

На практике обычно эти подходы сочетают.

Кроме этих обобщенных подходов разрабатываются специальные подходы к моделированию систем: *информационный* (см. *Информационный подход*), *кибернетический*, *когнитивный* (см. *Когнитивный подход*), *ситуационный* (см. *Ситуационное моделирование*), *структурно-лингвистический* (см. *Структурно-лингвистическое моделирование*); подход, основанный на идее *постепенной формализации модели принятия решения* (см.), *структурно-целевой подход* [12] и др.

- 1. Edwards W. Behavioral Decision Theory / W. Edwards. // Ann. Rev. Psychol, № 12, 1961, p. 473–498.
- 2. Mesarovic M. General Systems Theory and its Mathematical Foundations: Доклад на конференции по системной науке и кибернетике (Бостон, Массачусетс, 11–15 октября 1967 / M. Mesarovic, // перевод в кн.: Исследования по общей теории систем: Сб. переводов / Под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – С. 165–180.
- 3. Zwicky F. Morphological astronomy. / F. Zwicky. – Berlin: Springer-Verlag, 1957. – 299 p.
- 4. Zwicky F. Morphology of justice in the space age and the Boundaries at ather space/ F. Zwicky. // Automatica Acta. – 1969. – № 14, p. 615–626.
- 5. Куликовски Р. Оптимальные и адаптивные процессы в системе автоматического регулирования / Р. Куликовски. – М.: Наука, 1967.
- 6. Лопухин М.М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971.
- 7. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997.
- 8. Волкова В.Н. Искусство формализации / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – С. 86–89.
- 9. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983.
- 10. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.
- 11. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 355, 622.
- 12. Лукьянова Л.М. Системный анализ: структурно-целевой подход / Л.М. Лукьянова. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2001.

*В.Н. Волкова*

**ПОСТЕПЕННАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ** – подход, базирующийся на идее постепенной формализации задач (проблемных ситуаций) с неопределенностью путем поочередного использования средств МАИС (см. *Методы, направления активизации интуиции и опыта специалистов*) и МФПС (см. *Методы формализованного представления систем*).

Этот подход к моделированию самоорганизующихся (развивающихся) систем был первоначально предложен на базе концепции *структурно-лингвистического моделирования* (см.) [1, 2], но в последующем стал развиваться как самостоятельное направление [4, 5].

Модель постепенной формализации представляет собой своего рода методику системного анализа, которая сочетает относительно малоформальные методы, удобные для человека, и формальные, знаковые представления, позволяющие привлекать достижения математических теорий и применять ЭВМ. Принципиальной особенностью моделей постепенной формализации является то, что они ориентированы на развитие представлений исследователя об объекте или процессе принятия решения, на постепенное «выращивание» решения задачи. Поэтому предусматривается не одноразовый выбор методов моделирования, а смена методов по мере развития у лиц, принимающих решения, представлений об объекте и проблемной ситуации в направлении все большей формализации модели принятия решений.

Основные принципы и этапы подхода следующие.

1. Разрабатывается или выбирается знаковая система – *язык моделирования*, в качестве которого могут использоваться естественный язык, средства теоретико-множественных, логических, лингвистических и других методов *дискретной математики* (см.); по мере развития процесса постепенной формализации язык моделирования может изменяться.

2. Выбирается подход к моделированию (см. *Подходы к анализу и проектированию систем*), и вводятся правила преобразования, применяемые при формировании и анализе модели:

правила *структуризации*, или *декомпозиции* (подход «сверху»);

правила *композиции*, поиска *мер близости* на пространстве состояний элементов (подход «снизу»);

в зависимости от конкретной задачи подходы могут чередоваться, применяться параллельно, что отражается структурой методики моделирования.

3. С помощью языка моделирования фиксируют элементы и связи между ними.

При этом не ставится задача полного «перечисления» системы, а фиксируются элементы, известные на данный момент, в результате чего формируется исходное множество элементов. В числе исходных элементов могут быть однородные, которые затем могут объединяться в группы (компоненты), или, напротив, в числе элементов могут быть понятия более общие, чем другие, тогда их следует расчленить на более детальные, сравнимые с остальными.

4. Путем преобразования полученного отображения с помощью введенных (принятых) правил получают новые, не известные ранее компоненты, взаимоотношения, зависимости, структуры.

Эти компоненты и взаимосвязи между ними могут либо послужить основой для принятия решений, либо подсказать последующие шаги на пути подготовки решения.

5. Полученные новые результаты включаются в первоначальное описание, и процедура преобразования повторяется до тех пор, пока не найдено удовлетворительное решение.

В процессе постепенной формализации можно накапливать информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты, связи, правила взаимодействия компонент, и, применяя их, получать отображения последовательных состояний развивающейся системы, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. При этом информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения (в процессе познания объекта).

Адекватность модели также доказывается как бы последовательно (по мере ее формирования), путем оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.

6. В процессе моделирования следует помнить о двух полюсах мышления и о рекомендации Адамара\*: при возникновении затруднения в процессе формирования модели следует использовать переключение *образного* и *формального* мышления.

Таким образом, моделирование становится как бы «механизмом» развития системы, «выращивания» решения задачи. По мере развития модели методы могут меняться. На определенном этапе можно ввести количественные оценки, и в результате в ряде случаев может быть получена формальная модель. Иными словами, процесс постепенной формализации задачи может стать обоснованием формальной модели с постепенным доказательством ее адекватности на каждом витке моделирования.

Возможный вариант постепенной формализации задачи на основе смены методов по мере развития модели можно проил-

---

\*Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения. – М.: Сов. радио, 1977.

люстрировать на примере моделирования процессов прохождения информации в автоматизированной информационной системе (АИС).

На рис. 1 показаны последовательные переходы от методов работы с ЛПР (из группы МАИС) к методам формализованного представления и обратно.

В рассматриваемом примере учитываются только функции сбора, предварительной обработки информации и формирования первичных информационных массивов и предполагается, что первоначально ничего не известно, кроме назначения системы.

Тогда в качестве первого шага системного анализа предлагается принять «отграничение» системы от среды путем «перечисления» ее возможных элементов (рис. 1, б). Затем (рис. 1, в и д) для анализа некоторого полученного множества могут быть выбраны теоретико-множественные представления, помогающие найти на сформированном пространстве состояний «меры близости» для объединения элементов в группы (при этом вначале может быть использован эффект получения нового смысла у элементов, сформированных из «пар», «троек», «*n*-ок» элементов исходных подмножеств, на которые предварительно разделено общее множество элементов системы).

Далее, когда возможности теоретико-множественных представлений в познании взаимодействия элементов в системе исчерпываются, следует возвратиться к системно-структурным представлениям, с помощью которых активизируется использование интуиции и опыта ЛПР. Перечень множеств анализируется и при необходимости дополняется (рис. 1, г и е) принципиально важными подмножествами для дальнейшего моделирования. В рассматриваемой задаче на этом этапе перечень исходных подмножеств ИО (информационное обеспечение), ТО (техническое обеспечение), ОргО (организационное обеспечение), т.е. составляющие обеспечивающей части (ОЧ) АИС дополнен подмножеством функций *F*.

Для дальнейшей реализации идеи комбинирования элементов в поисках вариантов решения задачи (в рассматриваемом примере – путей прохождения информации при ее сборе и первичной обработке) могут быть выбраны более удобные и подсказывающие правила формирования вариантов лингвистические представления, являющиеся основой разработки языка моделирования путей прохождения информации.

В рассматриваемом примере использовано сочетание лингвистических, семиотических и графических представлений и разработан язык *графо-семиотического моделирования* (см.), который в первоначальных вариантах использования рассматриваемого подхода иногда носил и другие названия – *структурно-лингвистическое* (см.), *сигнатурное* (знаковое) моделирование, т.е. составляющие обеспечивающей части (ОЧ) АИС.

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

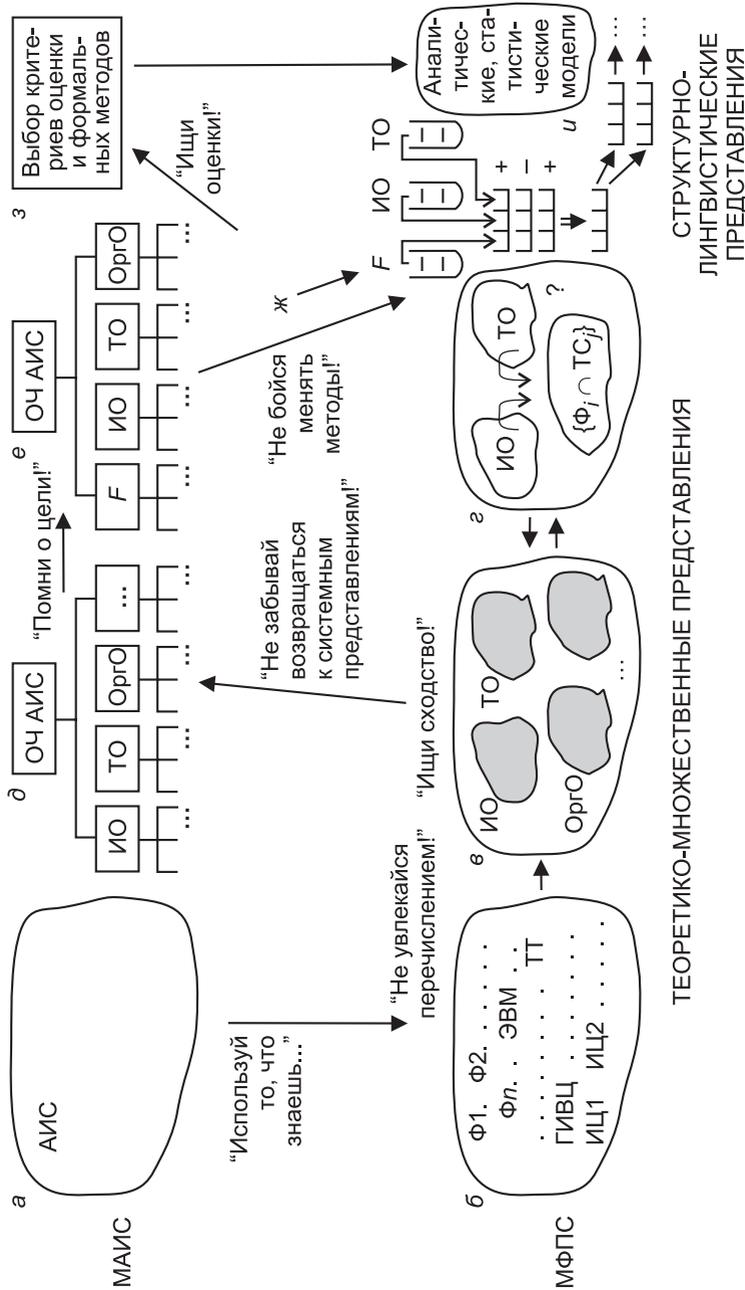


Рис. 1

Структура тезауруса языка моделирования, приведенная на рис. 1, *ж*, включает три уровня:

- уровень первичных терминов (или слов), которые представлены в виде списков, состоящих из элементов  $\{e_i\}$  подмножеств  $F$ , ИО, ТО, ОргО;
- уровень фраз  $\{f_j\}$ , который в этом конкретном языке можно назвать уровнем конкретизированных функций (КФ), так как абстрактные функции  $C$ ,  $M$ ,  $K$ , объединяясь с элементами подмножеств ИО, ТО, ОргО, конкретизируются применительно к моделируемому процессу;
- уровень предложений  $\{p_k\}$ , отображающий варианты прохождения информации в исследуемой системе.

Грамматика языка включает правила двух видов:

- преобразования элементов  $\{e_i\}$  первого уровня тезауруса в компоненты  $\{f_j\}$  второго уровня, которые имеют характер правил типа «помещения рядом» (конкатенации, сцепления)  $R_I$ ;
- преобразования компонентов  $\{f_j\}$  в предложения  $\{p_k\}$  – правила типа «условного следования за»  $R_{II}$ ; правила этого вида исключают из рассмотрения недопустимые варианты следования информации.

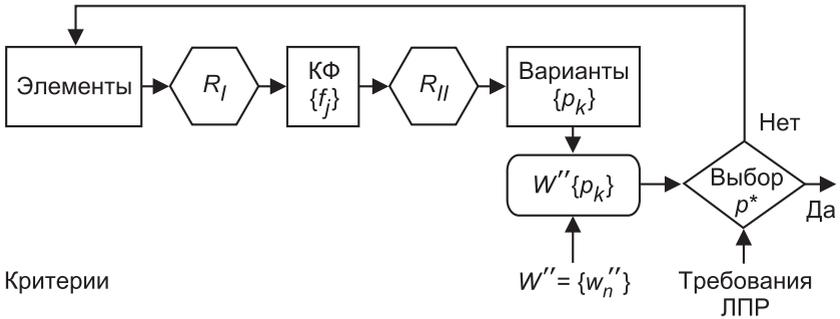
В результате с помощью языка моделирования разрабатывается многоуровневая модель, в нашем примере трехуровневая, если считать уровень исходных множеств нулевым (см. рис. 1, *ж*). Осмысление этой модели (на уровне МАИС) приводит к преобразованию структуры: первоначально структура ОЧ формировалась как *структура-состав*, в которой были представлены виды обеспечения и их детализация (см. рис. 1, *г* и *е*), а в результате анализа осознаны *структуры функционирования*, т.е. варианты структуры информационных потоков (см. рис. 1, *ж*).

После формирования вариантов следования информации необходимо их оценить. Для этого могут быть приняты также разные варианты – от содержательной оценки путей сбора и первичной обработки информации (нижний уровень рис. 1, *ж*) до поиска алгоритмов последовательного преобразования оценок компонентов предшествующих уровней модели в оценки компонентов последующих уровней, что осуществляется путем анализа сформированной графо-семиотической модели.

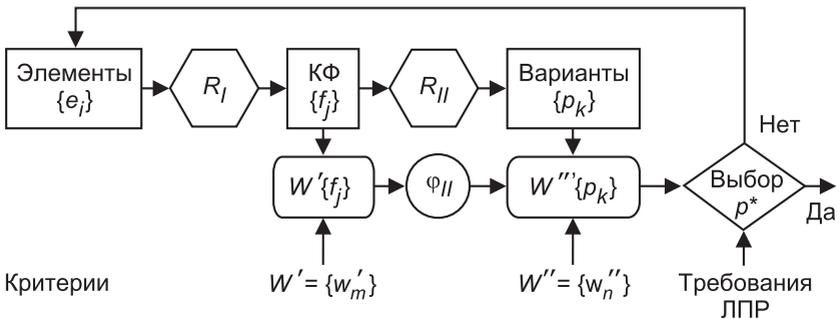
Варианты оценки модели иллюстрируются рис. 2.

В рассматриваемом примере можно проводить оценку тремя способами:

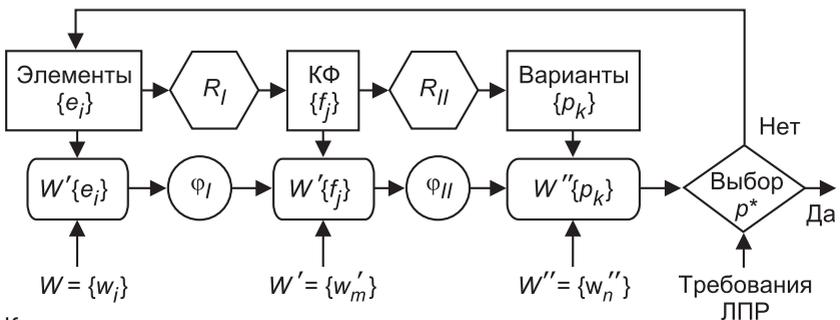
- а) на уровне вариантов прохождения информации  $\{p_k\}$ , что иногда могут сделать компетентные специалисты в ходе коллективного обсуж-



а



б



в

Рис. 2

дения предложенных им вариантов (если число этих вариантов не очень велико – не более  $7 \pm 2$ );

б) на уровне конкретизированных функций (КФ)  $\{f_j\}$  с последующим преобразованием этих оценок  $W'\{f_j\}$  в оценки вариантов  $W''\{p_k\}$ ;

в) на уровне элементов  $\{e_i\}$  с последующим преобразованием оценок  $W\{e_i\}$  в оценки  $W'\{f_j\}$ , а их – в оценки  $W''\{p_k\}$ .

При втором способе можно выделить на модели «сферы компетентности» и поручить соответствующим специалистам оценку КФ по сферам; оценки КФ в большинстве случаев также получают экспертно, однако в некоторых случаях они могут быть измерены; этот способ подобен оценке сетевой модели, и при определении алгоритма преобразования оценок  $\Phi_{II}$  можно пользоваться опытом сетевого моделирования (для большинства критериев оценки алгоритм преобразования – суммирование, а для критерия надежности передачи или хранения информации, оцениваемых с помощью вероятностей, алгоритм более сложный).

При третьем способе алгоритмы преобразования  $\Phi_I$  могут быть найдены путем анализа различных КФ в отношении влияния на их оценку по тому или иному критерию элементов соответствующего вида. Например, оценка КФ передачи информации по критерию времени  $t$  может быть получена на основе выяснения, что в структуре КФ влияет на оценку по  $t$ . Если используются технические средства связи, то, зная принципы передачи информации с их помощью, можно определить  $v_{TC}$  и зависимости  $t = r_{зн}/v_{TC}$ , где  $r_{зн}$  – объем передаваемой информации (например, измеряемых в числе знаков), т.е. оценка элементов, принадлежащих подмножеству ИО;  $v_{TC}$  – скорость передачи информации с помощью соответствующего технического средства, т.е. оценка элемента, принадлежащего подмножеству ТО. Таким образом, в данном примере на оценки КФ функций связи «С...» влияют элементы подмножеств ИО и ТО, и следует предусмотреть оценку этих элементов в исходных списках элементов. Аналогично можно определить, какие из элементов влияют на оценки КФ по стоимости, надежности, срокам внедрения и другим учитываемым критериям оценки.

Выбор способа оценки модели зависит от вида графо-семиотической модели, а алгоритмы преобразования оценок  $\Phi_I$  и  $\Phi_{II}$  определяются на основе анализа этой модели. Выбор критериев оценки зависит от выбранного способа оценки модели.

Например, при первых двух способах оценки (на уровне  $\{p_i\}$  и на уровне  $\{f_j\}$ ), могут быть приняты такие оценки, как оперативность (время), достоверность (вероятность сбоя при передаче информации, ошибок при ее обработке и т.п.), трудоемкость, затраты на внедрение, эксплуатационные расходы, сроки внедрения и т.д., а при оценке модели на уровне элементов  $\{e_i\}$  – оценки типа  $r_{зн}$ ,  $v_{TC}$  и т.п., на основе которых могут быть вычислены оценки КФ, или оценки трудоемкости, скорости заполнения форм или ввода информации и т.п.

Способ оценки модели на уровне вариантов  $\{p_k\}$  – экспертный; на уровне  $\{f_j\}$  для экспертного оценивания могут быть выделены сферы компетентности и привлечены соответствующие специалисты, знающие особенности конкретных технических средств и т.п., и, кроме того, наряду с экспертным оцениванием могут быть проведены эксперименты по той или иной КФ.

Оценки элементов  $\{e_i\}$ , необходимые для вычисления оценок соответствующих КФ, могут быть в большинстве случаев получены из справочной литературы или измерены.

Рассматриваемую многоуровневую модель в обобщенном виде можно представить в виде аналитических зависимостей. Например, для варианта оценок, приведенного на рис. 2, а:

$$\begin{aligned}
 W^{n*}(p_{jn}) &= \text{opt } W^n(p_{jn}) \\
 p_{jn} &\in P_n, P_n \subset S \\
 W^n(p_{jn}) &= \Phi^n \{W^{n-1}(p_{j,n-1})\} \\
 p_{j,n-1} &\in P_{n-1}, P_{n-1} \subset S \\
 &\dots\dots\dots \\
 W^k(p_{jk}) &= \Phi^k \{W^{k-1}(p_{j,k-1})\} \\
 p_{jk} &\in P_k, P_{j,k-1} \in P_{k-1}, P_k \subset S, P_{k-1} \subset S \\
 &\dots\dots\dots \\
 W^1(p_{j1}) &= \Phi^1 \{W(e_i)\} \\
 p_{j1} &\in P_1, e_i \in E, P_1 \subset S, E \subset S.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для варианта, приведенного на рис. 1, в:

$$\begin{aligned}
 W^{n*}(p_{jn}) &= \text{opt } W^n(p_{jn}) \\
 p_{jn} &\in P_n, P_n \subset S \\
 p_{jn} &= \bigcup_{jn-1=1}^m p_{j,n-1} \\
 p_{j,n-1} &\in P_{n-1}, P_{n-1} \subset S \\
 &\dots\dots\dots \\
 p_{jk} &= \bigcup_{jk-1=1}^I p_{j,k-1} \\
 p_{jk} &\in P_k, P_k \subset S, p_{j,k-1} \in P_{k-1}, P_{k-1} \subset S \\
 &\dots\dots\dots \\
 p_{j1} &= \bigcup_{j=1}^r e_i \\
 p_{j1} &\in P_1, P_1 \subset S, e_i \in E, E \subset S.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Знаком  $U$  обозначено любое взаимодействие компонент «условное следование за», сложное взаимодействие или просто «помещение рядом»;  $W^n(p_{jn})$  – функционал, связывающий критерии оценки выбираемого решения с компонентами  $p_{jn}$ , которые зависят от компонент предыдущего уровня  $p_{j, n-1}$ ; в общем случае  $p_{jk}$  зависят от компонент  $p_{j, k-1}$ ;  $E, P_1, \dots, P_k, \dots, P_{n-1}, \dots, P_n$  – множества смысловыражающих элементов тезауруса языка отображения задачи;  $S_i$  – тезаурус в целом;  $W(e_i), W^1(p_{i1}), W^k(p_{jk}), W^n(p_{jn})$  – критериальные отображения элементов (компонент) структурных уровней тезауруса языка моделирования;  $\phi^1, \phi^k, \phi^n$  – алгоритмы преобразования критериальных отображений одного структурного уровня в другой.

В результате получается система алгоритмов, обеспечивающая возможность автоматизации и соответственно повторяемость процесса формирования и анализа модели при изменении наборов первичных элементов и их оценок.

Эта система алгоритмов обеспечивает взаимосвязь между компонентами и целями системы (при моделировании потоков информации по отдельным задачам – между компонентами и этой задачей), т.е. в результате получается формальная, аналитическая модель, только представленная не в виде привычных для такого рода моделей формул или уравнений, а в виде алгоритмов в памяти ЭВМ.

Однако получить такую сложную систему алгоритмов, позволяющую отобразить конкретную ситуацию и выбрать лучшее решение, практически невозможно без организации направленной постепенной формализации задачи.

Таким образом, на основе излагаемого подхода рассматриваемую сложную задачу можно поставить как задачу последовательного формирования вариантов с помощью графо-семиотического языка моделирования и выбора из них наилучшего путем постепенного ограничения области допустимых решений: вначале исключить все  $p_k$ , которые не удовлетворяют граничным значениям учитываемых критериев, затем предложить ЛПР рассмотреть оставшиеся варианты, которые могут позволить либо сразу выбрать из них наиболее предпочтительный, либо ввести весовые коэффициенты критериев, либо исследовать область допустимых решений по Парето.

Можно также добавить новые критерии качественного характера, не включенные в первоначально выбранный перечень критериев из-за невозможности их количественной оценки.

Отметим, что после того, как для какого-то класса задач пройдены все этапы постепенной формализации и найдены основы языка моделирования, можно применять не всю методику, а сразу начинать с подэтапа на рис. 1, *ж*. Однако в случае, когда нужно поставить задачу для принципиально нового объекта или процесса, полезно при обосновании модели выполнять все подэтапы постепенной формализации задачи, что позволит обосновать адекватность модели и принципы разработки языка автоматизации моделирования и алгоритма оценки модели.

При этом, проходя этапы постепенной формализации, полезно учитывать рекомендации типа «используй то, что знаешь», «не увлекайся перечислением», «не забывай возвращаться к системным представлениям», «помни о цели», «не бойся менять методы» и т.п. (что иллюстрируется рис. 1).

- 1. Волкова В.Н. К методике проектирования автоматизированных информационных систем / В.Н. Волкова // Автоматическое управление и вычислительная техника. Вып. 11. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 289–300.
- 2. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 179–182.
- 3. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 72, 350–359.
- 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 81, 439–449, 465–470.
- 5. Волкова В.Н. Искусство формализации / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – С. 88–89.

*В.Н. Волкова*

**ПРОБЛЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ (ППР).** В любой сфере деятельности человек принимает решения. Однако в тех случаях, когда решение задачи базируется на законах физики, химии и других фундаментальных областей знаний или когда задача может быть поставлена в терминах конкретного класса прикладных задач, для которого разработан соответствующий математический аппарат, применять термин «проблема принятия решения» нет необходимости.

Потребность в этом термине возникает в тех случаях, когда задача настолько усложняется, что для ее постановки и решения не может быть сразу определен подходящий аппарат формализации, когда процесс постановки задачи требует участия специалистов различных областей знания. Это приводит к тому, что постановка задачи становится проблемой, для решения которой

нужно разрабатывать специальные подходы, приемы, методы. В таких случаях возникает необходимость определить область ППР (проблемную ситуацию); выявить факторы, влияющие на решения (проблемную ситуацию); подобрать приемы и методы, которые позволяют сформулировать задачу таким образом, чтобы решение было принято.

Поясним процесс принятия решения на упрощенном примере – задаче по перемещению из одного пункта в другой. Такого рода задачи возникают при доставке грузов на предприятие, выпускаемой продукции – потребителю, и, наконец, – повседневно перед каждым человеком при поездке из дома на работу.

В терминах ППР эту задачу можно представить следующим образом (рис. 1): задана *цель* – достичь пункта *A* (или переместить груз из *B* в *A*); имеются возможные *средства* – путь (дорога) и транспорт (различные транспортные средства передвижения или средства доставки грузов); требуется обеспечить реализацию цели.

Если нет никаких других оговорок, требований, то задачи нет, поскольку безразлично, какой маршрут и какие транспортные средства выбирать. Для того чтобы возникла необходимость принимать решение (возникла задача), нужно ввести *критерий* (или несколько критериев), отражающий *требования* к достижению цели. Аналогично нет задачи и в тех случаях, когда ЛПР не может задать требования, сформулировать критерий достижения цели или неизвестен набор средств достижения цели, т.е. имеет место задача с неопределенностью.

В качестве критерия в рассматриваемой задаче можно, например, принять требование осуществить перемещение «за время  $t^*$ » или «к *такому-то* времени  $t^*$ ».

Для решения задачи нужно определить взаимосвязи цели со средствами ее достижения, что в данной задаче легко сделать путем оценки средств (дорога оценивается длиной пути  $L$ , транспорт – скоростью  $v$  транспортного средства; в простейшем случае – средней скоростью) и установления связей этих оценок с критерием, характеризующим достижение цели. В данном случае в качестве выражения, связывающего цель со средствами, можно использовать закон движения, который в случае равномерного прямолинейного движения имеет вид  $t = L/v$ , а в общем виде  $t = f(L, v)$ .



Рис. 1

Таким образом, для принятия решения нужно получить выражение, связывающее цель со средствами ее достижения с помощью вводимых критериев оценки достижимости цели и оценки средств (см. рис. 1).

Если такое выражение получено, задача решена: варьируя либо  $v$  при  $L = \text{const}$ , либо  $L$  при  $v = \text{const}$ , либо  $v$  и  $L$  одновременно, можно получить варианты решения и выбрать из них наиболее приемлемый.

При постановке рассматриваемой задачи могут быть учтены не только обязательные, основные требования, отражаемые с помощью критерия, но и дополнительные требования, которые могут выступать в качестве *ограничений* (в данной задаче это могут быть затраты на создание или приобретение средств транспортировки грузов, наличие денежных средств у человека, выбирающего вид транспорта, и т.п.).

Тогда для решения задачи формируется комплекс соотношений, включающий наряду с основным выражением, связывающим цель со средствами, соотношения-неравенства, отражающие ограничения. Такая постановка задачи является основой *теории оптимизации и математического программирования* (см.).

Таким образом, для принятия решения необходимо получить *выражение, связывающее цель со средствами ее достижения*.

Такие выражения получили в параллельно возникших прикладных направлениях различные названия: *критерий функционирования, критерий* или *показатель эффективности, целевая* или *критериальная функция, функция цели* и т.п.

Если удается получить выражение, связывающее цель со средствами, то задача практически всегда решается.

Такие выражения могут представлять собой не только простые соотношения, подобные рассмотренному, но и более сложные, составные критерии (показатели) аддитивного или мультипликативного вида. Конечно, в этом случае могут возникнуть вычислительные сложности. Однако полученное формализованное представление задачи позволяет в дальнейшем применять формализованные методы анализа проблемной ситуации.

Получить такие выражения легко, если известен закон, позволяющий связать цель со средствами (в рассмотренном примере – закон движения). Если закон неизвестен, то необходимо выбрать иной способ отображения проблемной ситуации (рис. 2).

Можно определить закономерности на основе статистических исследований или исходя из наиболее часто встречающихся на практике экономических либо функциональных зависимостей.

Если и это не удается, то выбирают или разрабатывают теорию, в которой содержится ряд утверждений и правил, позволяющих сформулировать концепцию и сконструировать на ее основе процесс принятия решения.

Если и теория не существует, то выдвигается гипотеза, и на ее основе создаются имитационные модели, с помощью которых исследуются возможные варианты решения.

В общем виде для ситуаций различной сложности модель формирования критериальной функции для отображения проблемной ситуации можно представить, воспользовавшись многоуровневым представлением типа «слов» (см.) М. Месаровича.

В наиболее общем случае могут учитываться и варьироваться не только компоненты (средства достижения цели) и критерии (отражающие требования и ограничения), но и сами цели, если первоначальная их формулировка не привела к желаемому результату, неточно отразила потребности ЛПР.

В то же время при постановке задачи в числе критериев могут быть и принципиально неформализуемые.

Например, даже в рассмотренной казалось бы простейшей задаче наряду с критерием времени и ограничением по затратам можно учесть и такие принципиально неформализуемые критерии, как безопасность транспортировки грузов для рабочих, удобство приведения в действие транспортно-распределительных устройств или их остановки; такой критерий, как «комфорт».

С учетом таких критериев можно даже при коротких расстояниях и небольшом выигрыше во времени выбрать такси вместо общественного транспорта (если, конечно, позволяют денежные средства) либо при передвижении между населенными пунктами иногда лучше выбрать более длинную, но асфальтированную дорогу, чем более короткую, но ухабистую.

Или можно выбирать транспортное средство с учетом вида груза. Например, в случае скоропортящейся продукции лучше выбрать более дорогостоящий рефрижератор, чем обычный грузовой автомобиль, и т.д.

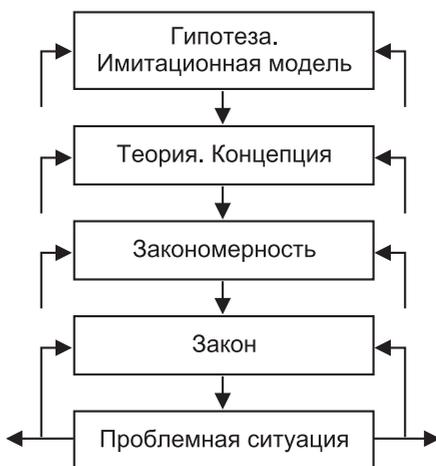


Рис. 2

В этих случаях полностью формализованная постановка задачи оказывается нереализуемой. Возможны и другие реальные ситуации, затрудняющие формализацию критериев или формирование выражения, связывающего цель со средствами.

При решении задач организации современного производства требуется учитывать все большее число факторов разнообразной природы, являющихся предметом исследования различных областей знаний. В этих условиях один человек не может принять решение о выборе факторов, влияющих на достижение цели, не может определить существенные взаимосвязи между целями и средствами; в формировании и анализе модели принятия решения должны участвовать коллективы разработчиков, состоящие из специалистов различных областей знаний, между которыми нужно организовать взаимодействие и взаимопонимание, а проблема принятия решений становится проблемой коллективного выбора целей, критериев, средств и вариантов достижения цели, т.е. проблемой коллективного принятия решения.

Число и сложность подобных проблем, для которых невозможно сразу получить критерий эффективности в аналитической форме, по мере развития цивилизации возрастают; возрастает также и цена неверно принятого решения.

Для проблем принятия решения характерно, как правило, сочетание качественных и количественных методов. Принятие решений в системах управления промышленностью часто связано с дефицитом времени: лучше принять не самое хорошее решение, но в требуемый срок, так как в противном случае лучшее решение может уже и не понадобиться. Поэтому решение часто приходится принимать в условиях неполной информации (ее неопределенности или даже дефицита), и нужно обеспечить возможность в максимально сжатые сроки определить наиболее значимые для принятия решений сведения и наиболее объективные предпочтения, лежащие в основе этой операции.

Для того чтобы помочь в более сжатые сроки поставить задачу, проанализировать цели, определить возможные средства, отобрать требуемую информацию (характеризующую условия принятия решения и влияющую на выбор критериев и ограничений), а в идеале получить выражение, связывающее цель со средствами, применяют системные представления, приемы и методы системного анализа.

С помощью системного анализа можно обеспечить взаимодействие и взаимопонимание между специалистами различных

областей знания, участвующими в постановке и решении задачи, помочь исследователям организовать процесс коллективного принятия решения. Для реализации этого процесса нужно выбирать и применять методы системного анализа.

- 1. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 65–67. 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 71–75. *В.Н. Волкова*

**ПРОГНОЗНЫЙ ГРАФ.** Поскольку термин «дерево целей» соответствует иерархическим структурам, имеющим отношение строго древовидного порядка, но иногда применяется и в случае «слабых» иерархий, более правильным является термин В.М. Глушкова «прогнозный граф», однако в силу истории возникновения метода более распространен исходный термин «дерево целей».

В настоящее время при использовании метода «дерева целей» в качестве средства принятия решений часто применяют термин «дерево решений». В случае применения этого метода для выявления и уточнения функций системы управления говорят о «дереве целей и функций». При структуризации тематики научно-исследовательской организации пользуются термином «дерево проблемы», а при разработке прогнозов – «дерево направлений развития (прогнозирования развития)» или «прогнозный граф».

- 1. Методика совместного прогнозирования заинтересованными странами–членами СЭВ развития науки и техники. – М.: МЦНТИ, 1975. 2. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. *В.Н. Волкова*

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ** – термин, который используется в разных смыслах:

- 1) предвидение, предсказание будущего состояния природных ресурсов, народонаселения и иных аналогичных факторов, влияющих на развитие общества, цивилизации;
- 2) научно-аналитический этап процесса планирования или одна из функций «цикла управления» социально-экономическими системами;

3) теоретическое направление, занимающееся вопросами создания и исследования методов и моделей разработки прогнозов.

Предсказанием будущего человечество занималось с момента возникновения цивилизации. В XX в. для названия этой деятельности появился термин «футурология».

Исследование путей развития цивилизации всегда привлекало внимание фантастов\*.

В XX в. варианты общества будущего стали разрабатывать философы, ученые и политические деятели.

Прогнозы Римского клуба под руководством А. Печчи с участием Дж. Форрестера и с использованием предложенного им метода имитационного динамического моделирования [18]; концепция научно-исследовательских программ И. Лакатоса, концепции постиндустриального общества Д. Белла и Дж. Гелбрейта, открытого общества К. Поппера, Д. Сороса и т.п. [15].

Возрастание внимания к прогнозированию связано с ускорением темпов развития науки и техники. В 50–60-е гг. XX в. во всех развитых странах мира была осознана необходимость управления ходом научно-технического прогресса. В ряде стран, в частности впервые в США, стали создаваться специальные научно-исследовательские учреждения, так называемые «думающие», бесприбыльные корпорации типа широко известной корпорации RAND, разработавшей первую в мире методику планирования и прогнозирования научных работ – ПАТТЕРН (см.), созданную первоначально для исследования проблем развития военной техники, а затем ставшую основой разработки методик прогнозирования и планирования развития страны и ведущих корпораций США [5].

В нашей стране с 60-х гг. XX в. стали развиваться работы по прогнозированию научно-технического прогресса, а в 70-е гг. был подготовлен и принят Центральным Комитетом КПСС и Советом Министров СССР ряд постановлений и развивающих их документов, в которых определялся порядок разработки прогнозов разного рода, выступавших первым научно-аналитическим этапом народнохозяйственного планирования, разработки целевых и комплексных программ по решению важнейших народнохозяйственных проблем (см. *Программно-целевое планирование*).

---

\* Лем С. Сумма технологий. – М.: Мир, 1968.

В народнохозяйственном планировании использовалась следующая система прогнозов [6]: а) демографические прогнозы; б) прогнозы развития науки и техники; в) прогнозы природных ресурсов и вовлечения их в экономический оборот; г) прогнозы изменений состояния биосферы под воздействием развития производства, урбанизации и других факторов; д) социальные (социологические) прогнозы; е) экономические прогнозы.

Экономические прогнозы, в свою очередь, делились по следующим направлениям: 1) трудовые ресурсы, их использование и воспроизводство, производительность труда; 2) воспроизводство общественного богатства, прежде всего основных производственных фондов; 3) уровень жизни населения, формирование непродовольственных потребностей, объем структура потребления населения, динамика и структура его доходов; 4) народнохозяйственная динамика и структурные сдвиги (темпы, общэкономические пропорции и эффективность развития народного хозяйства); 5) развитие сфер и отраслей народного хозяйства, объемы, динамика, состав и технический уровень выпуска продукции, совершенствование производственного аппарата отраслей, межотраслевые связи; 6) территориальное размещение производства, освоение природных ресурсов и развитие экономических районов страны, формирование территориально-производственных комплексов, межрайонные экономические связи; 7) прогнозы развития мирового хозяйства и внешнеэкономических связей страны; 8) совершенствование экономического механизма функционирования народного хозяйства, развитие системы планового управления народным хозяйством.

Все направления прогнозирования были взаимоувязаны и взаимообусловлены с учетом их влияния на экономическое и социальное развитие страны. Прогнозы развития науки и техники, природных ресурсов и народонаселения учитывались при планировании развития производства. Результаты социальных прогнозов были ориентированы на формулирование общих целей развития общества, но при этом учитывались также научно-технические и демографические прогнозы.

По способам представления результатов прогнозы делят на *точечные* (единственный показатель или вектор показателей, характеризующий прогнозируемый параметр) и *интервальные* (интервал, к которому принадлежит прогнозируемая величина).

По срокам прогнозы вначале классифицировали следующим образом: краткосрочные (на 3 года), среднесрочные (5...7 лет), долгосрочные (свыше 10 лет).

Затем была поставлена задача создания системы непрерывного прогнозирования, обеспечивающего взаимоувязку прогнозов и планов предприятий.

Применительно к развитию страны для названия прогнозов были введены соответствующие термины [14]: прогноз на 20 лет выступал в качестве Комплексной программы научно-технического прогресса и его социально-экономических последствий; прогноз на 10–15 лет назывался Основными направлениями экономического и социального развития страны; прогноз на 5 лет являлся основой пятилетнего государственного плана.

Прогнозы на последующие 20, 10 и 5 лет разрабатывались с учетом *закономерности историчности* (см.) в середине действующей пятилетки соответствующими комиссиями, формируемыми при Академии наук, Госплане и Государственном комитете по науке и технике СССР из специалистов научно-исследовательских институтов Академии наук СССР, вузов и других организаций разных городов страны.

Работы эти проводились по инициативе председателя Совета Министров в то время А.Н. Косыгина, и поэтому их часто называют «косыгинскими реформами».

При разработке прогнозов применялись закономерности и методики системного анализа. Результаты работ в разных группах отраслей были различными. Но общим результатом было введение в планирование и управление экономикой принципов хозрасчета, самокупаемости, самофинансирования, для реализации которых был разработан ряд нормативно-методических документов [14].

Применительно к уровню предприятий в классическом «цикле управления» (планирование – организация – регулирование – анализ – контроль – учет) планирование было разделено на три функции: прогнозирование, перспективное планирование, текущее планирование.

В этом цикле термины «прогнозирование» и «перспективное планирование» соответствуют принятому в настоящее время термину «*стратегическое планирование*» (см. *Стратегическое управление*).

Потребности практики вызвали развитие теории прогнозирования.

С самого начала становления этой теории в ней были выделены два подхода: изыскательское и нормативное прогнозирование (в терминологии Э. Янча [20]).

*Изыскательское прогнозирование* базируется на исследовании (как правило, с использованием статистических методов) закономерностей поведения системы, тенденций изменения прогнозируемых параметров и на экстраполяции этих тенденций.

*Нормативное прогнозирование* связано с предвидением, предсказанием, которое, как правило, не связано с существующими тенденциями изменения параметров системы, а, напротив, может противоречить этим тенденциям. Нормативный прогноз должен определять концепцию (стратегию) развития системы.

В методике ПАТТЕРН (см.) нормативный прогноз – это «*сценарий*» (см.), а изыскательский – прогноз развития науки и техники, разрабатываемый на основе исследования существующих возможностей научно-технического состояния страны.

В качестве методов изыскательского прогнозирования применяются методы получения статистических закономерностей, методы регрессионного и корреляционного анализа.

Основой нормативного прогнозирования являются методики формирование и анализа вариантов «*дерева целей*» (см.) или *прогнозного графа* (см.), методы *экспертных оценок* (см.), *имитационное динамическое моделирование* (см.).

Существуют и другие наименования подходов к разработке. Например, в [4] различают следующие виды прогнозов: пассивный (основанный на изучении процессов, обладающих большой инерционностью) и активный (целевой, условный прогноз, опирающийся на модели экономической динамики, учитывающей воздействие на общий ход событий).

- 1. Волкова В.Н. Цель: прогнозирование, анализ, структуризация / В.Н. Волкова, В.А. Чабровский. – СПб.: Изд-во ИСЭП РАН, 1995. 2. Волкова В.Н. Из истории теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – С. 117–128. 3. Зайцев В.Я. Организация планирования научно-технического прогресса / В.Я. Зайцев, В.А. Лагин. – М.: Экономика, 1969. 4. Лопатников Л.И. Краткий экономико-математический словарь / Л.И. Лопатников. – Наука, 1979. – С. 221–222. 5. Лопухин М.М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971. 6. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 443–446. 7. Методика совместного прогнозирования заинтересованными странами–членами СЭВ развития науки и техники. – М.: МЦНТИ, 1975. 8. Методология прогнозирования экономического развития СССР. – М.: Экономика, 1971. 9. Барыкин Е.Е. Методы анализа и прогнозирования показателей производственно-хозяйственной деятельности энергетического объединения / Е.Е. Барыкин, О.В. Зайцев, Э.М. Косматов, А.А. Миро-

любов. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. 10. Научные основы экономического прогноза. – М.: Мысль, 1971. 11. Рабочая книга по прогнозированию / Отв. ред. И.В. Бестужев-Лада. – М.: Мысль, 1982. 12. Рабочая книга социолога / Отв. ред. Г.В. Осипов. – М.: Наука, 1977. 13. Планирование народного хозяйства СССР. – М.: Экономика, 1968. 14. Совершенствование хозяйственного механизма: Сб. документов. – М.: Изд-во «Правда», 1982. 15. Современная западная философия: словарь / Сост.: В.С. Малахов, В.П. Филатов. – М.: Политиздат, 1991. 16. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высш. школа, 1977. 17. Федоренко Н.П. Системный подход к народнохозяйственному планированию / Н.П. Федоренко, Ю.Р. Лейкинц, Е.З. Майминас // Целевая стадия планирования и проблемы принятия технико-экономических решений. – М.: ЦЭМИ, 1972. – С. 6–18. 18. Форрестер Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978. 19. Чабровский В.А. Прогнозирование развития науки, техники, экономики / В.А. Чабровский. – Рига: Изд-во Латвийского ун-та, 1979. 20. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1974.

*В.Н. Волкова*

**ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ** – термин, широко применявшийся в 70–80-е гг. XX в. Программно-целевой метод в планировании ориентировал на установление взаимосвязей (в терминах того периода – увязку) целей плана с ресурсами с помощью программы (комплексной, целевой и т.п.).

Долгосрочные целевые и комплексные программы охватывали комплекс мероприятий и ресурсов, обеспечивающих реализацию программы.

Первой программой такого рода является план электрификации страны – ленинский план ГОЭЛРО.

В 70–80-е гг. XX в. в соответствии с решениями партии и правительства [1] разрабатывались программы разного рода. Существовали различные классификации программ: по назначению (целевые, т.е. с целевым финансированием, комплексные программы по решению важнейших народнохозяйственных проблем – со смешанным финансированием); по уровням управления (государственные, межотраслевые, отраслевые, региональные, на уровне предприятий).

Был подготовлен ряд нормативно-методических материалов по разработке программ, по организации их выполнения [2, 6 и др.].

Взаимосвязи между целями и ресурсами программы отображались в форме ресурсно-целевой матрицы, сопоставляющей программные показатели с целевыми нормативами и ресурсны-

ми потребностями (см., например, [4]). На этапе подготовки программы разрабатывались ее варианты, для каждого из которых составлялись ресурсные матрицы.

Реализация программно-целевого метода планирования инициировала развитие методов *системного анализа* (см.), в том числе *методов структуризации* (см. *Структуризация*) систем и целей, в частности метода «*дерева целей*» (см.).

- 1. М а т е р и а л ы XXIV съезда КПСС. – М.: Политиздат, 1971. 2. К о м п л е к с н о е народнохозяйственное планирование. – М.: Экономика, 1974. 3. М и л ь н е р Б.З. Системный подход к организации управления / Б.З. Мильнер, Л.И. Евенко, В.С. Рапопорт. – М.: Экономика, 1983. 4. М а т е м а т и к а и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 446–451. 5. П о с п е л о в Г.С. Программно-целевое планирование и управление / Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. – М.: Сов. радио, 1976. 6. С о в е р ш е н с т в о в а н и е хозяйственного механизма: Сб. документов. – М.: Изд-во «Правда», 1982. 7. Ф е д о р е н к о Н.П. Системный подход к народнохозяйственному планированию / Н.П. Федоренко, Ю.Р. Лейбkind, Е.З. Майминас// Целевая стадия планирования и проблемы принятия технико-экономических решений. – М.: ЦЭМИ, 1972. – С. 6–18. В.Н. Волкова

**ПРОГРЕССИРУЮЩАЯ СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ПРОГРЕССИРУЮЩАЯ ФАКТОРИЗАЦИЯ (ИЗОЛЯЦИЯ)** – закономерности систем, введенные американским ученым А. Холлом для характеристики тенденций изменения состояния системы между абсолютной *целостностью* (см. *Закономерность целостности*) и *суммативностью*, *аддитивностью* (см. *Закономерность аддитивности*).

Реальные системы изменяются во времени. Если эти изменения приводят к постепенному переходу от целостности к суммативности, то такая система подвержена *прогрессирующей изоляции* [1] или *факторизации* [2].

Различают два типа прогрессирующей изоляции.

Первый, простейший тип соответствует распаду системы на независимые части, после чего она перестает выполнять возложенные на нее функции, подобно состарившейся, распавшейся и вышедшей из строя телефонной линии. В этом случае имеет место просто совокупность частей, которая больше не ведет себя как система.

Второй тип соответствует росту. Система изменяется в направлении возрастающего деления на подсистемы, подподсистемы и т.п. или в направлении возрастающей дифференциации функций.

Этот тип изоляции возникает обычно в системах, включающих в себя некоторый творческий рост или процессы эволюции и развития. Примером может служить эмбриональное развитие, при котором зародыш проходит путь от целостности до такого состояния, когда он ведет себя как совокупность частей, независимо развивающихся в специальные органы. Аналогичная ситуация имеет место при развитии таких технических систем, как телефонная сеть, разделяющаяся на подсистемы в соответствии с определенным замыслом, или автоматизированные системы управления, с начинающими выделяться подсистемами, конструирование и развитие которых впоследствии осуществляется относительно независимо.

Обратим внимание на то, что речь идет именно об «относительной» независимости, в противном случае, стремясь к развитию и независимости новообразований, система может прекратить свое существование, и в силу закономерности целостности не только будет утрачена часть общесистемных качеств, необходимых для ее развития, но и элементы, получив, казалось бы, свободу для развития, проявления своих свойств, утратят часть этих свойств.

Прогрессирующая систематизация является противоположностью прогрессирующей изоляции. Это есть процесс, при котором изменение происходит в направлении увеличения целостности. Он может состоять в усилении ранее существовавших отношений между частями системы, появлении и развитии отношений между элементами или подсистемами, прежде не связанными между собой, добавлении в систему новых элементов и отношений, в комбинации этих видов изменений.

Иногда процесс систематизации для увеличения целостности может быть связан с унификацией элементов (как в случае повышения управляемости в армии путем унификации отношений и элементов вплоть до единой формы и общих команд строю солдат).

Оба процесса – прогрессирующая изоляция и прогрессирующая систематизация – могут проходить в системе одновременно и протекать сравнительно долго. При этом система может находиться в определенном равновесном состоянии (см. *Устойчивость*), как это имеет место, например, при процессах анаболизма и катаболизма в теле человека. Прогрессирующая изоляция и прогрессирующая систематизация могут протекать также после-

довательно, что имело место, например, в истории Америки, когда вначале группы людей из разных стран колонизировали различные ее области и становились все более и более независимыми, а в последующем стал усиливаться обмен между ними, образовалось общее правительство, и новая страна становилась все более целостной.

Прогрессирующая систематизация связана (но не абсолютно эквивалентна) с централизацией, при которой один элемент или одна подсистема играет главную, доминирующую роль в функционировании системы. При этом малейшие изменения в ведущей части или центре существенно отражаются на всей системе, вызывая значительные изменения в ней. Примером может служить тоталитарный режим, когда единоличные решения главы государства определяют поведение всей системы.

Прогрессирующая систематизация и прогрессирующая изоляция могут сопровождаться централизацией. В этом случае система эволюционирует так, что одна ее часть берет на себя функции центрального и управляющего органа. Например, в случае эмбрионального развития изоляция не достигает своего предела во многом благодаря тому, что в ходе развития мозг становится управляющим и объединяющим органом.

- 1. Холл А.Д. Определение понятия системы / А.Д. Холл, Р.Е. Фейджин// В кн.: Исследования по общей теории систем / пер. с англ.; под общ. ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – С. 252–286. 2. Холл А. Опыт методологии для системотехники /А. Холл. – М.: Сов. радио, 1975.

*В.Н. Волкова*



**РАЗНООБРАЗИЕ** – одна из важнейших характеристик системы. В частном случае это понятие отождествляется с *энтропией* и измеряется логарифмом (как правило, с основанием 2) числа различных состояний системы.

В более общем случае У.Р. Эшби [1] предложил кибернетико-системную концепцию, центральным понятием которой является *ограничение разнообразия*, т.е. его уменьшение в сравнении с абстрактно возможным вследствие каких-либо условий, налагаемых на систему, или внутренне присущих ей свойств.

В соответствии с этой концепцией всякий закон природы есть ограничение разнообразия, поскольку из всех абстрактно мыслимых состояний системы, значений ее характеристик, форм протекания процессов в ней и т.п. он указывает область реализуемых, актуально возможных состояний, значений, форм и т.д. В частности, всякий прогноз возможен только на основе установленного ограничения разнообразия системы, поведение которой прогнозируется.

Предпринимались попытки количественного измерения ограничения разнообразия:

выявление детерминистской (функциональной) зависимости значений выходов «*черного ящика*» (см.) от значений его входов путем обнаружения ограничений разнообразия в протоколе испытаний;

выявление статистической зависимости при реализации в ходе испытаний (тоже путем фиксации в протоколе) различных сочетаний значений входов и выходов с неодинаковой частотой; в этом случае можно констатировать выявление разнообразия в вероятностном смысле, подобно энтропии.

Однако количественную оценку ограничения разнообразия больших и сложных систем практически удается получить крайне редко. Для таких систем важнее понимать концептуальные основы, разработанные У.Р. Эшби, и сформулированную им закономерность, известную под названием *закон «необходимого разнообразия»* [1] (см.).

Этот закон представляет собой интерпретацию одного из основных результатов теории информации (десятой теоремы К. Шеннона), доказанного при предположениях, достаточно реалистичных лишь для технических систем. Поэтому для биологических, экономических, социальных систем (см. *Открытая система*) он применим в ограниченном смысле. Тем не менее и для этих систем закон «необходимого разнообразия» имеет фундаментальное значение, устанавливая, что эффективное управление сложными системами неосуществимо с помощью «простых» средств.

Для задач принятия решений, в том числе управленческих, наиболее важным является одно из следствий этого закона, которое можно упрощенно пояснить на следующем примере.

Когда исследователь (ЛПР, наблюдатель)  $N$  сталкивается с проблемой  $D$ , решение которой для него неочевидно, имеет место некоторое разнообразие возможных решений  $V_D$ . Ему проти-

востоит разнообразие мыслей исследователя (наблюдателя)  $V_N$ . Задача последнего заключается в том, чтобы свести разнообразие  $V_D - V_N$  к минимуму, в идеале  $(V_D - V_N) \rightarrow 0$ .

Эшби доказал теорему, на основе которой формулируется следующий вывод: «Если  $V_D$  дано постоянное значение, то  $V_D - V_N$  может быть уменьшено лишь за счет соответствующего роста  $V_N$  ... Говоря более образно, только разнообразие в  $N$  может уменьшить разнообразие, создаваемое в  $D$ ; только разнообразие может уничтожить разнообразие».

Сказанное означает, что, создавая систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным, известным разнообразием (сложностью), нужно обеспечить, чтобы система имела еще большее разнообразие (знания методов решения), чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать в себе это разнообразие (владела бы методологией, могла разработать методiku, предложить новые методы решения проблемы).

Применительно к системам управления закон «необходимого разнообразия» может быть сформулирован следующим образом: *разнообразие управляющей системы (системы управления)  $V_{su}$  должно быть больше (или по крайней мере равно) разнообразию управляемого объекта  $V_{ou}$ :  $V_{su} \geq V_{ou}$* .

Использование этого закона при разработке и совершенствовании систем управления предприятиями и организациями помогает увидеть причины проявляющихся в них недостатков и найти пути повышения эффективности управления.

Например, В.И. Терещенко [3] предложил пути совершенствования управления при усложнении производственных процессов (см. Закон «необходимого разнообразия»).

- 1. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: ИЛ, 1959. 2. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 464–465. 3. Автоматизированные системы управления предприятиями и объединениями / Под ред. В.И. Терещенко. – Киев: Техніка, 1978. В.Н. Волкова

**РЕИНЖИНИРИНГ** – направление менеджмента, сформировавшееся в начале 90-х гг. XX в.

Концепция реинжиниринга предложена в 1993 г. американскими специалистами М. Хаммером и Дж. Чампи, которые дали

следующее определение: «Реинжиниринг – фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование деловых процессов для достижения резких, скачкообразных улучшений в решающих, современных показателях деятельности компании, таких, как стоимость, качество, сервис и темпы» [1].

В соответствии с этой концепцией хозяйственный реинжиниринг – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование предприятия и его важнейших процессов. Результатом является резкое улучшение важнейших количественно измеряемых показателей издержек, качества, обслуживания и сроков. Речь должна идти о глубинной реорганизации предприятия по всей цепочке создания стоимости. Радикальной реорганизации также подлежит процесс удовлетворения потребностей клиента.

В центре любого пересмотра хозяйственного процесса стоит удовлетворение запросов потребителей (клиентов). Основное внимание следует уделять разработкам новой продукции, новых технологий, системности.

Системность реинжиниринга заключается в комплексном использовании различных методов разработки и реализации проектов и бизнес-процессов, в реализации реинжиниринга на основе стратегического планирования деятельности организации. При этом необходимо проводить анализ степени влияния предлагаемых преобразований на стратегические цели предприятия, используя *методы организации сложных экспертиз* (см.).

Для реализации системного подхода при реинжиниринге необходимо обеспечить взаимосвязанность и взаимодействие всех бизнес-процессов и подразделений, их реализующих. В качестве основы для этого целесообразно использовать логико-лингвистический подход [2] и, в частности, модель, базирующуюся на использовании идей *ситуационного моделирования* (см.). Такая модель позволяет фиксировать базовые понятия и базовые отношения функционирования хозяйственной системы и является хорошей основой для разработки экспертных систем (например, [3]), обеспечивающих реализацию реинжиниринга.

Особое внимание необходимо придавать технологии организационного управления [4], т.е. анализу изменений в организационной структуре, распределению прав и обязанностей между подразделениями организации или корпорации, реализующей перепроектирование бизнес-процессов, т.е. *реструктуризацию* (см.) предприятия.

Технология организационного управления основана на формировании *организационно-технологических процедур (ОТП) подготовки и реализации управленческих решений* (см.), формируемых для регламентации конкретных функций управления, закрепляемых в стандартах предприятия, положениях о подразделениях и других нормативно-технических и нормативно-методических документах системы *нормативно-методического обеспечения управления* (см.) предприятия. Оргтехпроцедуры разрабатываются для всех процессов системы организационного управления предприятием, начиная с ОТП анализа и заключения договоров на поставку продукции, оказание сервисных услуг и до упорядочения финансовых взаимоотношений между подразделениями предприятия или корпорации.

Глубина ОТП, фиксируемых в СТП, индивидуальна для каждого предприятия, зависит от его масштабов, внутрифирменных связей, сложности производственных отношений и ряда других факторов.

При реализации технологии организационного управления целесообразно использовать методы и методики системного анализа, современные средства информационной технологии: CASE-средства, SADT-технологии, методики IDEF и DFD.

При проведении инжиниринга важную роль играют система мониторинга и внутрифирменные информационные системы, фиксирующие состояние ресурсов предприятия.

Проведение реинжиниринга в силу закона *«необходимого разнообразия»* У.Р. Эшби (см.) не может осуществляться одним подразделением, необходимо привлечение всего персонала организации. В то же время для организации этой работы необходимы специально «уполномоченные» сотрудники, которые должны стать «профессионалами процесса», организующими работу по реинжинирингу и составляющими основу специально создаваемого для этих целей подразделения.

Должно быть улучшено сотрудничество персонала (например, в рабочих группах). По мере надобности сотрудник должен иметь средства коммуникации с любым коллегой. Необходимы и другие изменения в области кадрового менеджмента. Систему стимулирования следует ориентировать прежде всего на фактические способности сотрудников, а не на их прежние заслуги.

- 1. Hammer M. Reengineering the Corporation: a Manifesto for Business Revolution / M. Hammer, J. Champy. N.Y. Harper Business, 1993. 2. Хаммер М. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Дж. Чампи: пер. с англ. – СПб.: Изд-во СПб. гос. университета, 1997. 3. Кукор А.Б. Реализация системного подхода при применении концепции «Бизнес-процесс реинжиниринг» /А.Б. Кукор, Б.В. Прянков // В сб. трудов VI Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – С. 209–211. 4. Кукор Б.Л. Принципы разработки и функционирования системы «Руководитель» / Б.Л. Кукор // В сб. трудов VI Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – С. 26–28. 5. Чудесова Г.П. Технология организационного управления как основа реинжиниринга корпорации / Г.П. Чудесова // В сб. трудов VI Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – С. 206–207.

*В.А. Баринов, Г.П. Чудесова*

**РЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ** (restructurization – букв. *изменение, преобразование структуры*) – термин, получивший широкое распространение в нашей стране в конце XX в. для краткого названия структурной перестройки системы организационного управления предприятиями и организациями как в целом, так и по любой из функций организационного управления: финансы, материально-техническое обеспечение и т.п.

Для проведения реструктуризации создаются консалтинговые фирмы.

При осуществлении преобразования структур применяются *методика системного анализа* (см.), в первую очередь *методики структуризации целей и функций* (см.) систем управления и автоматизированные процедуры структуризации и анализа целей и функций [2 и др.] (см. *Автоматизация формирования и анализа целей и функций систем*).

- 1. Мельничук Д.Б. Семь граней стратегического управления предприятием / Д.Б. Мельничук. Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – № 5. – С. 3–10. 2. Семенов Д.А. Автоматизированная диалоговая процедура «Структурайзер» и ее применение для реструктуризации организационного управления предприятиями / Д.А. Семенов // В сб. трудов VI Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 298–300. *Г.П. Чудесова*

**САМООРГАНИЗАЦИЯ** – понятие, характеризующее способность сложных систем выходить на новый уровень развития и, в частности, во все большей мере проявлять такие свойства, как способность противостоять энтропийным процессам и развивать антиэнтропийные (негэнтропийные) тенденции, адаптироваться к изменяющимся условиям, преобразуя при необходимости свою структуру и т.п. (см. подробнее в [2, 12]) и сохраняя при этом определенную *устойчивость* (см.).

Системы, обладающие этими свойствами, называют *самоорганизующимися (развивающимися) системами* (см.), а способность к самоорганизации – *закономерностью самоорганизации* [2, 12].

В основе этих внешне проявляющихся свойств и способностей лежит более глубокая закономерность, базирующаяся на сочетании в любой реальной развивающейся системе двух противоречивых тенденций: с одной стороны, для всех явлений и процессов в системе справедлив второй закон термодинамики («второе начало»), т.е. стремление к возрастанию энтропии, а с другой стороны, наблюдаются негэнтропийные тенденции, лежащие в основе эволюции. Дж. ван Гиг называет эту особенность развивающихся систем «дуализмом» [3].

Обе тенденции присущи всем уровням развития материи. Однако на уровнях неживой природы негэнтропийные тенденции слабы, и их редко удается измерить, а по мере развития материи, особенно начиная с биологического уровня, противодействие «второму началу» становится явно наблюдаемым, что и послужило для Л. фон Берталанфи основанием для выделения особого класса *открытых систем* (см.), обладающих специфическими закономерностями. У человека же и в организационных системах негэнтропийные тенденции не только наблюдаются, но иногда и измеряются.

Например, по соответствующим тестам можно определить природную любознательность, или «школьный потенциал», личности, являющийся основой ее активности в познавательной и преобразующей деятельности.

«Дуализм» проявляется в том, что в зависимости от преобладания энтропийных или негэнтропийных тенденций в системе любого уровня иерархии может либо происходить энтропийный

процесс упадка и перехода системы на более низкий уровень существования, либо, напротив, система может развиваться в направлении более высокого уровня и переходить на него.

Становлению понятия самоорганизации в большой мере способствовали исследования в области *синергетики* (см.), которую иногда называют теорией самоорганизации.

Исследователями в области синергетики введен ряд понятий и разработаны модели для объяснения механизмов самоорганизации. Термин *синергетика* (от греч. *synergetikos* – совместный, согласованно действующий) ввел немецкий физик Г. Хакен [15]. Его модель самоорганизации – кооперация компонентов для выхода на новый уровень развития. Еще раньше И. Пригожин [9, 10] пришел к идеям синергетики (хотя этот термин вначале не использовал). Теоретической основой его модели является нелинейная термодинамика. Пригожин ввел понятие диссипативных структур, возникающих при разрушении прежней и образовании качественно новой организации за счет диссипации (рассеяния) энергии, использованной системой, и получения из среды новой энергии. Точки, удаленные от состояния термодинамического равновесия, в которых возможно возникновение качественно новых структур, названы точками *бифуркации* (раздвоения, «выбора» пути развития системы). В результате дальнейших исследований в области нелинейной термодинамики, квантовой механики, теории автоколебаний и других направлений современной физики введен ряд понятий: *динамический хаос*, *аттрактор* (особое состояние равновесия, возникающее в динамических системах при появлении неустойчивостей и бифуркаций) и другие, которые пытаются в расширенном смысле трактовать и при исследовании социально-экономических систем. Разрабатываются модели, отличные от предложенных Хакеном и Пригожиным (например, [11]).

В СССР большой вклад в развитие теории самоорганизации для технических систем внес украинский ученый А.Г. Ивахненко [5]. В дальнейшем при исследовании энтропийно-негэнтропийных тенденций в системах любой физической природы было введено понятие закономерности самоорганизации [2, 12].

При этом в отличие от *организации* (см.), являющейся равновесным упорядочением, самоорганизация представляет собой неравновесное упорядочение.

Первоначально, опираясь на идеи Бергаланфи [1] и синергетику, исследователи объясняли способность системы противостоять энтропийным тенденциям *открытостью* системы (см. *Открытая система*), т.е. ее взаимодействием со средой. Но в дальнейшем появились исследования, опирающиеся на *активное начало* компонентов системы.

В частности, поиском «гена» развивающейся информационной системы занимался Ф.Е. Темников [14]; закономерности системогенетики исследует А.И. Субетто [13]; в модели «пространства инициирования целей» В.Н. Сагатовского, Ф.И. Перегудова и др. [8] наряду с взаимодействием со сложной средой учитываются инициативы собственно системы, обусловленные самодвижением целостности, активностью элементов системы.

Исследования глубинных причин самоорганизации, самодвижения целостности показывают, что основой рассматриваемой закономерности самоорганизации является диалектика части и целого в системе, и механизмами формирования качественно новой целостности являются: противоречия между развитием и стабильностью (см. *Закономерность целостности*), с одной стороны, и когерентные процессы [11], процессы координации и кооперирования элементов системы [6, 7] – с другой.

Для того чтобы лучше понять и отразить в модели процессы развития, самоорганизации, полезно учитывать закономерности, базирующиеся на законах диалектики. Например, в [4] предлагается учитывать при моделировании сложных развивающихся систем такие закономерности, как закономерность изменчивости, закономерность устойчивости, закономерность единства противоположностей, перехода количественных изменений в коренные качественные. Эти закономерности использованы при разработке формализованного аппарата информационного анализа систем (см. *Информационный подход к анализу систем*).

- 1. Бергаланфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор / Л. фон Бергаланфи // В кн.: Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82. 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 62–64. 3. Гиг Дж. ван. Прикладная общая теория систем В 2 кн. / Дж. ван Гиг. – М.: Мир, 1981. Кн. 2. 4. Денисов А.А. Иерархические системы: учеб. пособие / А.А. Денисов, В.Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989. 5. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. – Киев: Наукова думка, 1982. 6. Малиновский А.А. Механизмы формирования целостности систем / А.А. Малиновский // В сб.: Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 52–62. 7. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха. – М.: Мир, 1973. 8. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ/Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 9. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин. – М.: Иностран. лит., 1960. 10. Пригожин И. От суще-

ствующего к возникающему / И. Пригожин. – М.: Наука, 1985. 11. Руденко А.П. Самоорганизация и синергетика / А.П. Руденко // В сб. трудов семинара: Синергетика. Вып. 3. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – С. 61–99. 12. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 58–60. 13. Субетто А.И. Социогенетика / А.И. Субетто. – СПб. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 1994. 14. Темников Ф.Е. Высокоорганизованные системы / Ф.Е. Темников // В кн.: Большие системы: теория, методология, моделирование. – М.: Наука, 1971. – С. 85–94. 15. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980.

*В.Н. Волкова*

**САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ (РАЗВИВАЮЩАЯСЯ) СИСТЕМА** – термин, используемый в теории систем и кибернетике для обозначения определенного класса систем (биологических, экономических, социальных), обладающих способностью увеличивать свой порядок или изменять свою организацию.

Термин этот трактуется в разных работах неоднозначно. Например, Г. Ферстер [3, 5] самоорганизующуюся систему характеризует тем, что ее избыточность по Шеннону растет с течением времени. Если избыточность определить соотношением

$$R = 1 - \frac{H}{H_m}$$
, где  $H$  – энтропия (см.),  $H_m$  – максимально возможная энтропия, то для самоорганизующейся системы должно выполняться условие

$$H \frac{\delta H_m}{\delta t} > H_m \frac{\delta H}{\delta t}$$
. Г. Паск [3, 4] называет самоорганизующимися такие кибернетические системы, в отношении элементов которых можно утверждать, что они способны самостоятельно принимать решения. При этом между элементами-игроками могут возникать коалиции, дающие им определенные преимущества, т.е. формируется структура, организация системы. Г. Хакен [9] называет систему самоорганизующейся, «если она без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную и функциональную структуру».

В классификации, предложенной в [2, 6, 8], самоорганизующимися, или развивающимися, системами названы такие, которые характеризуются рядом признаков, особенностей, приближающих их к реальным развивающимся объектам. Эти особенности, как правило, обусловлены наличием в системе активных элементов и носят двойственный характер: они являются новыми

ми свойствами, полезными для существования системы, приспособляемости ее к изменяющимся условиям среды, но в то же время вызывают неопределенность, затрудняют управление системой.

Основные из этих особенностей:

- нестационарность (изменчивость, нестабильность) отдельных параметров и стохастичность поведения; эта особенность легко интерпретируется для любых систем с активными элементами (живых организмов, социальных организаций и т.п.);

- уникальность и непредсказуемость поведения системы в конкретных условиях; эти свойства возникают у системы благодаря наличию в ней активных элементов, в результате чего у нее как бы проявляется «свобода воли», но в то же время имеет место и наличие предельных возможностей, определяемых ресурсами (элементами, их свойствами) и характерными для определенного типа систем структурными связями;

- способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды и помехам (причем как к внешним, так и к внутренним), что, казалось бы, является весьма полезным свойством, однако адаптивность может проявляться не только по отношению к помехам, но и по отношению к управляющим воздействиям, что весьма затрудняет управление системой;

- принципиальная неравновесность; при исследовании отличий живых, развивающихся объектов от неживых биолог Эрвин Бауэр [1] высказал гипотезу о том, что живое принципиально находится в неустойчивом, неравновесном состоянии и, более того, использует свою энергию для поддержания себя в неравновесном состоянии (которое и является собственно жизнью). Эта гипотеза находит все большее подтверждение в современных исследованиях (см., например, [7]). При этом возникают проблемы сохранения *устойчивости* (см.) системы;

- способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям и проявлять неэнтропийные, обусловленная наличием активных элементов, стимулирующих обмен материальными, энергетическими и инфомационными продуктами со средой и проявляющих собственные «инициативы», благодаря чему в таких системах нарушается закономерность возрастания энтропии (аналогичная второму закону термодинамики, действующему в закрытых системах, так называемому «второму нача-

лу») и даже наблюдаются негэнтропийные тенденции, т.е. собственно самоорганизация, развитие, в том числе «свобода воли»;

- способность вырабатывать варианты поведения и изменять свою структуру, выходить на новый уровень *эквифинальности* (см.), сохраняя при этом целостность и основные свойства; это свойство может обеспечиваться с помощью различных методов, позволяющих формировать разнообразные модели вариантов принятия решений;

- способность и стремление к целеобразованию; в отличие от закрытых (технических) систем, которым цели задаются извне, в системах с активными элементами цели формируются внутри системы (впервые эта особенность применительно к экономическим системам была сформулирована Ю.И. Черняком [10]); целеобразование – основа негэнтропийных процессов в социально-экономических системах;

- неоднозначность использования понятий; например, «цель» – «средство», «система» – «подсистема» и т.п. Эта особенность проявляется при формировании структур целей, при разработке проектов сложных автоматизированных комплексов, когда лица, формирующие структуру системы, назвав какую-то ее часть подсистемой, через некоторое время начинают говорить о ней, как о системе, не добавляя приставки «под», или подцели начинают называть средствами достижения вышестоящих целей, что часто вызывает затяжные дискуссии, которые легко разрешаются с помощью свойства «двуликого Януса» (см. *Иерархичность*).

Рассмотренные особенности противоречивы. Они в большинстве случаев являются и положительными, и отрицательными, желательными и нежелательными для создаваемой системы. Их не сразу можно понять и объяснить для того, чтобы выбрать и создать требуемую степень их проявления. Исследованием причин проявления подобных особенностей сложных объектов с активными элементами занимаются философы, психологи, специалисты по теории систем, которые для объяснения этих особенностей предлагают и исследуют *закономерности систем* (см. *Введение*).

Противоречивые особенности развивающихся систем и объясняющие их закономерности в реальных объектах необходимо изучать, постоянно контролировать, отражать в моделях и искать методы и средства, позволяющие регулировать степень их проявления.

При этом следует иметь в виду важное отличие *открытых* (см.) развивающихся систем с активными элементами от *закрытых* (см.): пытаясь понять принципиальные особенности моделирования таких систем, уже первые исследователи отмечали, что, начиная с некоторого уровня сложности, систему легче изготовить и ввести в действие, преобразовать и изменить, чем отобразить формальной моделью.

По мере накопления опыта исследования, разработки или преобразования (реконструкции, реструктуризации) таких систем это наблюдение подтверждалось, и была осознана его основная особенность – принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся, самоорганизующихся систем. Эта особенность, т.е. необходимость сочетания формальных методов и методов качественного анализа, и положена в основу большинства моделей и методик системного анализа. При формировании таких моделей меняется привычное о них представление, характерное для математического моделирования и прикладной математики. Изменяется представление и о доказательстве адекватности таких моделей.

Основную конструктивную идею моделирования при отображении объекта классом самоорганизующихся систем можно сформулировать следующим образом [2, 6, 8]: разрабатывается знаковая система, с помощью которой фиксируют известные на данный момент компоненты и связи между ними, а затем путем преобразования полученного отображения с помощью установленных (принятых) правил – правила *структуризации* (см.), или *декомпозиции*; правила *композиции*, поиска *мер близости* на пространстве состояний и т.п. – получают новые, не известные ранее компоненты, взаимоотношения, зависимости, которые могут либо послужить основой для принятия решений, либо подсказать последующие шаги на пути подготовки решения.

Таким образом можно накапливать информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты и связи (правила взаимодействия компонентов), и получать отображения последовательных состояний развивающейся системы, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. При этом в процессе познания объекта информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения.

Адекватность модели также доказывается как бы последовательно (по мере ее формирования), путем оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.

Иными словами, такое моделирование становится как бы своеобразным «механизмом» развития системы. Практическая реализация такого «механизма» связана с необходимостью разработки языка моделирования процесса принятия решения.

В основу такого языка (знаковой системы) может быть положен один из методов моделирования систем. Например, *теоретико-множественные представления* (см.), *математическая логика* (см.), *математическая лингвистика* (см.), *имитационное динамическое моделирование* (см.), *информационный подход к анализу систем* (см.) и т.д. По мере развития модели методы могут меняться.

При моделировании наиболее сложных процессов (например, процессов целеобразования, совершенствования организационных структур и т.п.) «механизм» развития (самоорганизации) может быть реализован в форме соответствующей *методики системного анализа* (см.).

При создании и организации управления предприятиями и другими социально-экономическими объектами часто пытаются отобразить их, используя теорию автоматического регулирования и управления, разработавшуюся для *закрытых* (см.), технических систем и не учитывающую полезную роль активных элементов в системе, что способно нанести вред предприятию, сделать его неживым «механизмом», не способным адаптироваться к среде и формировать механизмы самоорганизации.

В случае представления объекта классом самоорганизующихся систем задачи определения целей и выбора средств, как правило, разделяются. При этом указанные задачи, в свою очередь, могут быть описаны в виде самоорганизующихся систем.

Рассматриваемый класс систем можно разбить на подклассы, выделив *адаптивные*, или *самоприспосабливающиеся*, системы, *самообучающиеся* системы, *самовосстанавливающиеся*, *самовоспроизводящиеся* и другие аналогичные классы, в которых в различной степени реализуются рассмотренные выше и еще не изученные (например, для самовоспроизводящихся систем) особенности.

Отображение объектов в виде самоорганизующихся систем позволяет исследовать наименее изученные объекты и процессы с большой неопределенностью на начальном этапе постановки задачи.

- 1. Бауэр Э.С. Теоретическая биология / Э.С. Бауэр. – М.-Л.: ВИЭМ, 1935.
- 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 51–53.
- 3. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 480–481.
- 4. Принцип самоорганизации / пер. с англ. – М.: Мир, 1966.
- 5. Самоорганизующиеся системы / пер. с англ. – М.: Мир, 1964.
- 6. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 49–50.
- 7. Субетто А.И. Социогенетика / А.И. Субетто. – СПб.-М.: Исследоват. центр проблем качества подготовки специалистов, 1994.
- 8. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983.
- 9. Хакен Г. Информация и самоорганизация / Г. Хакен. – М.: Мир, 1991.
- 10. Черняк Ю.И. Закономерности целеобразования в экономических системах / Ю.И. Черняк // В кн. Информация и модели структур управления. – М.: Наука, 1972. – С. 13–30. *В.Н. Волкова*

**СВЯЗЬ (ОТНОШЕНИЕ)** – понятие, которое входит в любое определение системы и обеспечивает возникновение и сохранение ее целостных свойств. Это понятие одновременно характеризует и строение (статику), и функционирование (динамику) системы.

Связь определяют как ограничение степени свободы элементов. Действительно, элементы, вступая во взаимодействие (связь) между собой, утрачивают часть своих свойств, которыми они потенциально обладали в свободном состоянии (см. *Закономерность целостности*).

В определениях системы термины *связь* и *отношение* обычно используются как синонимы. Однако существуют разные точки зрения: одни исследователи считают связь частным случаем отношения; другие, напротив, отношение рассматривают как частный случай связи; третьи предлагают понятие *связь* применять для описания статики системы, ее структуры, а понятием *отношение* характеризовать некоторые действия в процессе функционирования (динамики) системы (более подробно с обзором точек зрения можно познакомиться в [3, 4]).

Не решен (и, видимо, вряд ли может быть решен в общем виде) вопрос о достаточности и полноте сети связей для того, чтобы систему можно было считать системой.

Один из подходов к решению этой проблемы предложен В.И. Николаевым и В.М. Бруком [2], которые считают, что для того, чтобы система не распалась на части, необходимо обеспечить превышение суммарной силы (мощности) связей между элементами системы, т.е. внутренних связей  $W_{rv}$ , над суммарной мощностью связей между элементами системы и элементами среды, т.е. внешних связей  $W_{rs}$ :

$$W_{rv} > W_{rs}.$$

На практике подобные измерения (особенно в организационных системах) трудно реализовать, однако можно оценивать тенденции изменения этого соотношения с помощью косвенных факторов.

Связи можно охарактеризовать направлением, силой, характером (или видом). По первому признаку связи делят на *направленные* и *ненаправленные*, по второму – на *сильные* и *слабые* (иногда пытаются ввести «шкалу» силы связей для конкретной задачи). По характеру (виду) различают связи *подчинения*, связи *порождения* (или *генетические*), *равноправные* (или *безразличные*), связи *управления*.

Связи в конкретных системах могут быть одновременно охарактеризованы несколькими из названных признаков.

Важную роль в моделировании систем играет понятие *обратная связь* (см.).

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 25–26.
- 2. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985.
- 3. Новинский И.И. Понятие связи в марксистской философии / И.И. Новинский. – М.: Наука, 1961.
- 4. Садовский В.Н. Основания общей теории систем: логико-методологический анализ / В.Н. Садовский. – М.: Наука, 1974.
- 5. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 33–34.
- 6. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 31–32.

*В.Н. Волкова*

**СЕМИОТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ** рассматриваются здесь как одна из групп *методов формализованного представления систем* (см.).

Семиотика возникла как наука о знаках, знаковых системах. Эта наука использовалась в широком смысле для исследования особенностей культуры разных народов (культовые знаки и т.п.), для понимания различных областей культуры (например, Ю.М. Лотман [2]).

Семиотика как наука о знаках в ряде работ (например, в [3]) носит в значительной мере характер методологического средства для пояснения результатов, которые ранее были получены в геометрии, алгебре и других разделах математики или в гуманитарных исследованиях.

Однако некоторые школы, развивающие семиотические представления, равноправно пользуются в семиотике понятиями *математической лингвистики*, такими, как *тезаурус*, *грамматика*, *семантика* и т.п., не выделяя при этом в отдельное направление *лингвосемиотику* (как это делает, например, Ю.С. Степанов [3]), и именно в лингвосемиотике достигнуты наиболее конструктивные результаты, которые могут быть полезны при исследовании систем различной физической природы.

В то же время семиотические представления этих школ пользуются наряду с понятиями *лингвистических представлений* (см. *Математическая лингвистика*) специальными средствами исследования семантических возможностей языков, в частности понятием *треугольника Г. Фреге* [4, 5], согласно которому любой знак имеет *форму*, *синтаксис* (означаемое знака) и *семантику* (смысл, значение).

Такая исходная терминология позволяет отойти от представлений формальных грамматик Н. Хомского [6], имеющих отношения типа *подстановки*, и конструировать грамматику, используя более широкий спектр отношений.

В частности, на границе лингвистики и семиотики возникли языки синтагматического типа, т.е. использующие правила типа  $\{a_i r_k b_j\}$ , называемые *синтагмой*, где  $a_i \in A$ ,  $b_j \in B$  – взаимодействующие множества (подклассы) исходных понятий языка;  $r_k \in R$  – множество отношений, которые могут иметь произвольный вид. При этом такая свобода приводит к увеличению числа антиномий (противоречивых ситуаций) в языке.

Например, для информационно-поискового языка это означает ухудшение его качеств (в частности, релевантности, т.е. соответствия выдачи запросу пользователя) в силу того, что при реализации поискового алгоритма могут возникнуть замкнутые циклы, обусловленные противоречивыми правилами грамматики языка.

Поэтому используемые отношения все же пытаются конкретизировать.

В частности, Ю.А. Шрейдер [4] исследовал возможности использования отношений эквивалентности, толерантности и строгого порядка, определяемых на основе свойств рефлексивности, симметричности и транзитивности. Результаты исследования приведены в таблице.

Отношение	Свойство		
	Рефлексивность	Симметричность	Транзитивность
Эквивалентность	+	+	+
Толерантность	+	+	-
Строгий порядок	-	-	+

С примерами применения этих отношений для отображения фраз и текстов естественного языка можно познакомиться в [4, 5].

Для пояснения возможностей, появляющихся при таком подходе к созданию языка моделирования, проиллюстрируем применение отношения толерантности.

Как видно из таблицы, по определению толерантность – особый вид сходства, при котором сопоставляемые элементы языка находятся в отношении, обладающем рефлексивностью и симметричностью, но не обладающем транзитивностью. Это означает, что, например, если при сопоставлении слов ввести допустимую ошибку в один символ, то отношение сходства между первым и вторым словами может быть признано (с точностью до допустимой ошибки) рефлексивным и симметричным; аналогично – между вторым и третьим; но первое и третье слова уже могут отличаться не одним, а двумя символами, и сходство между ними можно вообще не обнаружить, т.е. не будет выполнено отношение транзитивности.

В [4] приводится образный пример, как в результате применения такого отношения можно получить из «мухи» «слона» (т.е. из слова «муха» получить слово «слон» путем изменения на каж-

дом шаге только одной буквы, что соответствует правилу сохранения толерантности). Там же отношение толерантности иллюстрируется с помощью гравюры голландского художника М.К. Эшера «Небо и вода» (на которой едва различимые преобразования на каждом шаге сверху вниз постепенно превращают контуры птиц в контуры рыб).

Возникновение подобных ситуаций важно учитывать при разработке языков для формального кодирования передачи текстов и восстановления их в месте приема.

С помощью отношения толерантности можно отобразить некоторые отношения между словами естественного языка.

Например: *рама τ стол*  
*стол τ книгу,*

где  $\tau$  – операция установления сходства.

В синтагме «*рама τ стол*» имеет место отношение сходства с точностью до рефлексии и симметрии, в синтагме «*стол τ книгу*» – тоже, а между элементами синтагмы «*рам-а*» – «*книг-у*» сходства нет в силу невыполнения по определению для рассматриваемого отношения свойства транзитивности.

Содержательный анализ приведенной формализованной записи позволяет понять, что в ней отражено сходство по падежу: слова мужского рода («*стол*») могут употребляться в русском языке в одинаковой форме в именительном (первая строка) и винительном (вторая строка) падеже, в то время как слова женского рода имеют в этих падежах разную форму, что и обусловило нетранзитивность.

Аналогично можно отобразить сходство по роду, так как в русском языке могут использоваться одни и те же имена для женщин и мужчин, что в тексте без дополнительных пояснений или учета формы глагола может оказаться нераспознаваемым. Можно также отразить понятие места в предложении или места предложения в абзаце и т.п.

Таким образом, вводя в язык отношение толерантности (например, путем формирования классов толерантности), можно отразить в языке взаимоотношения между словами и высказываниями более полно и точно, чем это позволяют делать отноше-

ния математической логики или грамматик Н. Хомского [6]. Такие языки необходимы при расшифровке древних рукописей, при автоматизации процесса перевода с одного языка на другой.

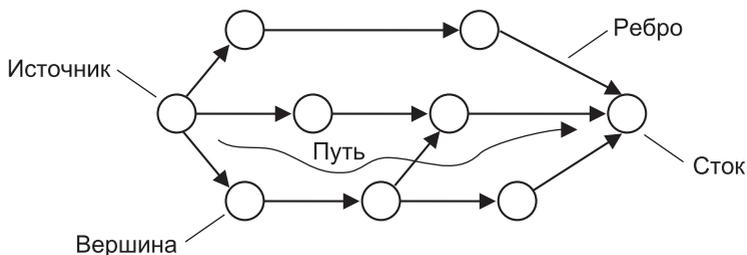
Однако следует иметь в виду, что создание подобных языков – весьма сложный и трудоемкий процесс, и поэтому в практике информационного поиска или разработки языков моделирования в тех случаях, когда есть возможность отразить особенности моделируемой ситуации иным способом, рассматриваемый подход не применяют.

В частности, при разработке некоторых информационно-поисковых языков было предложено вводить при индексировании текста понятия «указатели роли», «указатели связи», которые легче интерпретируются при индексировании вручную, чем понятие толерантности. В то же время при автоматизации индексирования может возникнуть необходимость в использовании отношений, приведенных в таблице, поскольку они, обладая большими (по сравнению с лингвистическими представлениями) смысловыражающими возможностями, все же базируются на определенной формальной основе, которая может позволить сделать язык более алгоритмизируемым.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 125–127.
- 2. Лотман Ю.М. Семиотика и искусствоведение / Ю.М. Лотман. – М., 1972.
- 3. Степанов Ю.С. Семиотика / Ю.С. Степанов. – М.: Наука, 1971.
- 4. Шрейдер Ю.А. Равенство, сходство, порядок / Ю.А. Шрейдер. – М.: Наука, 1971.
- 5. Шрейдер Ю.А. Логика знаковых систем. – М.: Знание, 1974.
- 6. Хомский Н. Три модели языка / Н. Хомский // Кибернетический сборник. Вып. 2. – М.: Иностр. лит., 1961. – С. 237–266. В.Н. Волкова

**СЕТЕВАЯ СТРУКТУРА**, или **сеть** (рисунок), представляет собой декомпозицию системы во времени. Такие структуры могут отображать порядок действия технической системы (телефонная сеть, электрическая сеть, компьютерные сети и т.п.), этапы деятельности человека (при производстве продукции – сетевой график, при проектировании – сетевая модель, при планировании – сетевой план и т.д.).

В представлении сетевых структур пользуются определенной терминологией: *вершина*, *ребро*, *путь*, *критический путь* и т.д. (см. рисунок).



Элементы сети могут быть расположены последовательно и параллельно.

Сети бывают разные. Наиболее распространены и удобны для анализа *однонаправленные сети*. Но могут быть и сети с обратными связями, с циклами.

Для анализа сложных сетей существуют математический аппарат теории графов, прикладная теория *сетевого планирования и управления, сетевого моделирования* (см.), имеющие широкую распространенность при представлении процессов организации производства и управления предприятиями, при управлении проектированием сложных технических комплексов.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 33, 127–130. 2. Кофман А. Сетевые методы планирования и их применение / А. Кофман, Г. Дебазей. – М.: Прогресс, 1968. 3. Кривцов А.М. Сетевое планирование и управление / А.М. Кривцов, В.В. Шеховцов. – М.: Экономика, 1965. В.Н. Волкова

**СЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ, СЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ)** – прикладное направление, возникшее в развитие теории графов и получившее широкое распространение в 60-е гг. XX в. Этим термином объединяют прикладные теории – PERT (Program Evaluation and Review Technique – Методика оценки и контроля программ [5]) и СПУ (*сетевого планирования и управления* [2, 3, 4, 6 и др.]).

В 60–70-е гг. XX в. теория сетевого планирования и управления широко применялась в нашей стране. Однако позднее к этой теории стали относиться сдержаннее, что объясняется рядом недостатков СПУ.

Во-первых, СПУ первоначально была ориентирована на анализ только одного класса графов – *направленных* (не имеющих обратных связей, т.е. циклов, петель; такие требования содержались в руководящих материалах по формированию сетевых планов предприятий).

И во-вторых, что наиболее существенно и неустранимо, при формировании сетевых планов необходимо участие высококвалифицированных специалистов, хорошо знающих процессы в системе (эту работу нельзя поручить техническим работникам, которые полезны лишь при оформлении сетевых графиков и обработке результатов оценки). При этом по результатам исследования оказалось, что доля «ручного» труда ЛПР при разработке сетевого графика составляет, по оценкам специалистов, до 95% от общих затрат времени на анализ ситуаций и процессов.

Эти недостатки явились одной из причин того, что впоследствии теория СПУ сохранилась только для планирования однонаправленных производственных процессов типа конвейерных и т.п. Однако привлекательность применения графических методов привела к тому, что для отображения различных ситуаций, не подчиняющихся ограничениям однонаправленности графа, был предложен термин *сетевое моделирование* (см.), снимающий требование однонаправленности. Позднее возник ряд методов *статистического сетевого моделирования* с использованием вероятностных оценок графов.

Для снижения доли «ручного» труда полезно сочетать графические представления с лингвистическими и семиотическими, разрабатывая языки автоматизации формирования сетевой модели. На основе такого сочетания методов возникли новые направления – *структурно-лингвистическое моделирование* (см.), *графо-семиотическое моделирование* и т.п.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 127–130.
- 2. Зуховицкий С.И. Математические методы сетевого планирования / С.И. Зуховицкий, А.И. Радчик. – М.: Наука, 1965.
- 3. Коффман А. Сетевые методы планирования и их применение / А. Коффман, Г. Дебазей. – М.: Прогресс, 1968.
- 4. Кривцов А.М. Сетевое планирование и управление / А.М. Кривцов, В.В. Шеховцов. – М.: Экономика, 1965.
- 5. Миллер Р.В. ПЕРТ – система управления / Р.В. Миллер. – М.: Экономика, 1965.
- 6. Сыроежин И.М. Азбука сетевых планов. Вып. 1. / И.М. Сыроежин. – М.: Экономика, 1966.

*В.Н. Волкова*

**СИНЕРГЕТИКА** – научное направление, занимающееся исследованием общих закономерностей в процессах образования, устойчивости и разрушения упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных системах различной физической природы (физических, химических, биологических, социальных).

Термин *синергетика* (от греч. *synergetikos* – совместный, согласованно действующий) ввел немецкий физик Г. Хакен [10] при исследовании механизмов кооперативных процессов в лазере.

Однако еще раньше И. Пригожин [4–6 и др.] пришел к идеям синергетики (хотя вначале этот термин не использовал) на основе анализа химических реакций. Теоретическим фундаментом его моделей является нелинейная термодинамика. Пригожин исследовал диссипативные процессы (за эти работы Пригожин был удостоен Нобелевской премии по химии), в результате которых из неупорядоченных однородных состояний под воздействием флуктуаций могут возникать разрушение прежней и возникновение качественно новой организации за счет диссипации (рассеяния) энергии, использованной системой, и получения из среды новой энергии. Упорядоченные образования, возникающие в ходе диссипативных процессов, Пригожин назвал *диссипативными структурами*. Поскольку термин *диссипация* происходит от лат. *dissipatio* – разгонять, рассеивать, эти структуры называют иногда «летучими». Они неустойчивы, и может возникнуть процесс последовательного перехода простейшей диссипативной структуры во все более упорядоченные.

В последующем исследовали диссипативные структуры разных видов [9]: временные (в частности, автоколебания в генераторе), пространственные (ячейки Бенара), пространственно-временные (концентрационные автоволны).

Точки, удаленные от состояния термодинамического равновесия, в которых возможно возникновение качественно новых структур, названы точками *бифуркации* (раздвоения, «выбора») пути развития или дегградации системы).

Необходимо подчеркнуть, что обязательным условием возникновения диссипативных структур является обмен энергией со средой (возможен обмен и энергией, и веществом), рассеяние использованной системой энергии и ввод новой (Пригожин назвал ее отрицательной энтропией), т.е. открытость системы (см. *Открытая система*).

В результате дальнейших исследований в области нелинейной термодинамики, квантовой механики, статистической физики, теории автоколебаний и других направлений современной физики, занимающихся разработкой формальных моделей для исследования нелинейных термодинамических процессов, введен ряд понятий: *динамический хаос*, *устойчивость неравновесных систем*, *аттрактор* (особое состояние равновесия, возникающее в динамических системах на уровне появления неустойчивостей и точек бифуркации). Буквально термин *аттрактор* означает «притягивающее множество» (attract – притягивать, привлекать). Такие точки возникают, например, при исследовании фазовых переходов, полей, представляющих собой суперпозицию осцилляторов с континуумом частот, в которых возникают резонансы при кратности частот определенной частоте.

Эти термины, для более глубокого понимания которых полезно ознакомиться с конкретными исследованиями, проводимыми в названных областях физики, пытаются в расширенном смысле применять и при исследовании социально-экономических систем, что иногда приводит к полезным результатам, способствующим развитию теории устойчивости принципиально неравновесных систем.

В последнее время появились исследования, в которых пытаются трактовать синергетику как теорию самоорганизации. При этом рассматривают различные направления синергетики: самоорганизация за счет кооперативных процессов (синергетика в первоначальной трактовке Хакена) и самоорганизация, основанная на концепции эволюционного катализа, предложенной А.П. Руденко [8].

В соответствии с последней главным условием самоорганизации принимается не кооперативное поведение (по Хакену) и не диссипация (по Пригожину), а полезная работа против равновесия, движущей же силой – часть свободной энергии обменного процесса  $E$ , используемая на внутреннюю полезную работу  $\Theta$  при максимальном рассеянии свободной энергии обменного процесса:  $E = \Theta + Q$  (где  $Q$  – рассеиваемая энергия). При этом показано, что самоорганизация прямо зависит от потока  $\Theta$ , используемого на внутреннюю полезную работу против равновесия и являющегося его мерой. Степень самоорганизации определяется коэффициентом полезного использования энергии, освобождаемой в обменном процессе  $r = \Theta / E$ , который повышается в процессе эволюции.

На основе различий подходов к объяснению самоорганизации А.П. Руденко предлагает считать, что существует самоорганизация двух типов: *континуальная* индивидуальных микросистем и *когерентная* коллективных систем. При этом в первом случае развитие возможно не только за счет кооперативного взаимодействия однородных компонентов, но и за счет кинетического континуума компонентов с системно-динамическими связями между ними. В результате становится возможным объяснить самоорганизацию не только для кооперативных систем, но и для индивидуумов.

А.П. Руденко предлагает назвать развиваемое направление более точно *синкретикой* (от греч. *synkretismos* – слитное, нерасчлененное соединение разнородного).

В ряде экономических исследований термин «синергетика» понимают также в смысле понятия синергии, введенного (см., напр., [9, Т. 3, С. 105]) английским физиологом Шеррингтоном в XIX в. в ходе исследования мышечных систем и управления их согласованными действиями (синергизм) со стороны спинного мозга. В соответствии с такой трактовкой синергетической называют «связь, которая при кооперативных (совместных) действиях независимых элементов системы обеспечивает увеличение их общего эффекта до величины, большей, чем сумма эффектов этих же элементов, действующих независимо» [3, С. 248]. В такой трактовке синергизм аналогичен понятию *эмерджентности, целостности* (см. *Закономерность целостности*). При этом рыночные механизмы трактуются как динамический хаос, необходимый для развития экономики.

Учитывая неоднозначное использование термина *синергетика*, в теории систем [1, 7] предпочтение отдано обобщающему термину *самоорганизация* (см.). В то же время рекомендуется использовать достижения, полученные при развитии синергетического подхода.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1977.
- 2. Ива х н е н к о А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. – Киев: Наукова думка, 1982.
- 3. Л о п а т н и к о в Л.И. Краткий экономико-математический словарь / Л.И. Лопатников. – М.: Наука, 1979.
- 4. П р и г о ж и н И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин. – М.: Иностран. лит., 1960.
- 5. П р и г о ж и н И. От существующего к возникающему / И. Пригожин. – М.: Наука, 1985.
- 6. П р и г о ж и н И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986.
- 7. С и с т е м н ы й анализ в экономике и организации произ-

водства: учеб. для вузов/Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 58–60. 8. Руденко А.П. Теория саморазвития открытых каталитических систем / А.П. Руденко. – М.: Изд-во МГУ, 1969. 9. Синергетика: тр. семинара. – М.: Изд-во МГУ. Вып. 1. Вып 3. 10. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. В.Н. Волкова

**СИСТЕМА** – термин, используемый в тех случаях, когда хотят охарактеризовать исследуемый или проектируемый объект как нечто целое (единое), сложное, о котором невозможно сразу дать представление, показать его, изобразить графически или описать математическим выражением (формулой, уравнением и т.п.).

**Определения системы.** Существует несколько десятков определений этого понятия (см., например, обзоры в [12, 16]). Их анализ показывает, что определение понятия *система* изменялось не только по форме, но и по содержанию. Рассмотрим основные и принципиальные изменения, которые происходили с определением системы по мере развития теории систем и использования этого понятия на практике [6, 13, 15].

В первых определениях в той или иной форме отмечалось, что система – это э л е м е н т ы (части, компоненты)  $a_i$  и с в я з и (отношения)  $r_j$  между ними:

$$\begin{aligned}
 S &\stackrel{\text{def}}{=} \langle A, R \rangle, \text{ где } A = \{a_i\}, R = \{r_j\}, \\
 S &\stackrel{\text{def}}{=} \langle \{a_i\}, \{r_j\} \rangle, \\
 &\quad a_i \in A \quad r_j \in R \\
 S &\stackrel{\text{def}}{=} \langle \{a_i\} \& \{r_j\} \rangle. \\
 &\quad a_i \in A \quad r_j \in R
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

В приведенных формализованных записях определений использованы различные способы теоретико-множественных представлений: в первых двух – с помощью задания множеств (см. *Теоретико-множественные представления*) и не учитываются взаимоотношения между множествами элементов и связей; в третьем отражен тот факт, что система – это не простая совокупность элементов и связей того или иного вида, а включает только те элементы и связи, которые находятся в области пересечения (&) между собой.

Так, Л. фон Берталанфи определял систему как «комплекс взаимодействующих компонентов» [4] или как «совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой» [5].

В Большой советской энциклопедии система определяется прямым переводом с греческого, что означает *susthma* – «состав», т.е. составленное, соединенное из частей [1].

Отметим, что термины «элементы» – «компоненты», «связи» – «отношения» обычно используются как синонимы (особенно в переводах определений). Однако, строго говоря, «компоненты» – понятие более общее, чем «элементы» (см. *Элемент*), оно может означать совокупность элементов. Что касается понятий «связь» и «отношение», то также существуют разные точки зрения (см. *Связь*).

Если известно, что элементы принципиально неоднородны, то это можно сразу учесть в определении, выделив разные множества элементов  $A = \{a_i\}$  и  $B = \{b_k\}$ :

$$S \underset{def}{\equiv} \langle A, B, R \rangle. \quad (1,a)$$

В определении М. Месаровича [7, 8], например, выделены множество  $X$  входных объектов (воздействующих на систему) и множество  $Y$  выходных результатов, а между ними установлено обобщающее отношение пересечения, что можно отобразить либо как у автора определения:

$$S \subseteq X \times Y, S \subseteq X \cap Y, \quad (1,b)$$

либо используя другие обозначения пересечения:

$$S \subseteq X \& Y, S \subseteq X \times Y. \quad (1,c)$$

Если какой-то вид отношений  $r_l$  применяется только к элементам разных множеств и не используется внутри каждого из них, то это можно отразить следующим образом:

$$S \underset{def}{\equiv} \langle \{a_i, r_l, b_k\} \rangle, \quad (1,d)$$

$$a_i \in A \quad r_l \in R \quad b_k \in B,$$

где  $\{a_i, r_l, b_k\}$  – элементы новой системы, образованные из элементов исходных множеств  $A$  и  $B$ .

Такого вида форма записи называется в математической лингвистике *синтагмой*.

Для уточнения элементов и связей в определении включают свойства. Так, в определении А. Холла [18] свойства (атрибуты)  $Q_A$  дополняют понятие элемента (предмета):

$$S \underset{def}{\equiv} \langle A, Q_A, R \rangle. \quad (1, d)$$

А.И. Уёмов, определяя систему через понятия «вещи», «свойства», «отношения», предложил двойственные определения [16], в одном из которых свойства  $q_i$  характеризуют элементы (вещи)  $a_i$ , а в другом свойства  $q_j$  характеризуют связи (отношения)  $r_j$ :

$$S \underset{def}{\equiv} [\{a_i\} \& \{r_j(q_j)\}],$$

$$a_i \in A \quad r_j \in R \quad q_j \in Q_R \quad (1, e)$$

$$S \underset{def}{\equiv} [\{a_i(q_i)\} \& \{r_j\}],$$

$$a_i \in A \quad q_i \in Q_A \quad r_j \in R$$

В работах А.И. Уёмова [16] принята другая символика. В целях единообразия здесь использована обычная теоретико-множественная форма представления определений, которая несколько сужает трактовку этих определений в философской концепции А.И. Уёмова, но облегчает интерпретацию их в практических приложениях. Двойственные определения (1, e) использованы при разработке одной из методик структуризации целей [6, 13] (см. *Методика структуризации целей и функций, основанная на двойственном определении системы*).

Затем в определениях системы появляется понятие цель. Вначале – в неявном виде: в определении Ф.Е. Темникова [14, 15] «система – организованное множество» (в котором цель появляется при раскрытии понятия *организованное*); в философском словаре система – «совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих некоторое целостное единство» [2]. Потом – в виде конечного результата, системообразующего критерия, функции (см. определения В.И. Вернадского, У.Р. Гибсона, П.К. Анохина в [12], М.Г. Гаазе-Рапопорта в [9]), а позднее – и с явным упоминанием о цели.

Символически эту группу определений представим следующим образом:

$$S \underset{def}{=} \langle A, R, Z \rangle, \quad (2)$$

где  $Z$  – цель, совокупность или структура целей.

В некоторых определениях уточняются условия целеобразования – *среда*  $SR$ , *интервал времени*  $\Delta T$ , т.е. период, в рамках которого будут существовать система и ее цели, что сделано, например, в определении В.Н. Сагатовского ([11], С. 13–14), которое также будет положено в основу одной из методик структуризации целей (см. *Методика структуризации целей и функций, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание*): система «конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определенной целью в рамках определенного временного интервала»:

$$S \underset{def}{=} \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle. \quad (2, a)$$

Далее в определение системы начинают включать, наряду с элементами, связями и целями, также и наблюдателя  $N$ , т.е. лицо, представляющее объект или процесс в виде системы при их исследовании или принятии решения (см. «*Наблюдатель*»):

$$S \underset{def}{=} \langle A, R, Z, N \rangle. \quad (3)$$

На необходимость учета взаимодействия между изучаемой системой и исследователем указывал У.Р. Эшби [20]. Но первое определение, в которое в явном виде включен наблюдатель, дал Ю.И. Черняк: «Система есть отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания» [19, С. 22]:

$$S \underset{def}{=} \langle A, Q_A, R, Z, N \rangle. \quad (3, a)$$

В последующих вариантах этого определения Ю.И. Черняк стал учитывать и язык наблюдателя  $L_N$ , начиная с определения:

«Система есть отображение на языке наблюдателя (исследователя, конструктора) объектов, отношений и их свойств в решении задачи исследования, познания»:

$$S \underset{def}{\equiv} \langle A, Q_A, R, Z, N, L_N \rangle. \quad (3, б)$$

В определениях системы бывает и большее число составляющих, что связано с необходимостью дифференциации в конкретных условиях видов элементов, связей и т.д. (см. обзор таких определений в [15]).

Сопоставляя эволюцию определения системы (*элементы и связи*, затем – *цель*, затем – *наблюдатель*) и эволюцию использования категорий теории познания, можно обнаружить сходство: вначале модели (особенно формальные) базировались на учете только элементов и связей, взаимодействий между ними, затем стало уделяться внимание цели, поиску методов ее формализованного представления (целевая функция, критерий функционирования и т.п.), а начиная с 60-х гг. XX в., все большее внимание обращают на наблюдателя, лицо, осуществляющее моделирование или проводящее эксперимент (даже в физике), т.е. лицо, принимающее решение.

С учетом этого и опираясь на более глубокий анализ сущности понятия системы, следует, по-видимому, относиться к этому понятию, как к категории теории познания, теории отражения.

Рассматривая различные определения системы и их эволюцию и не выделяя ни одно из них в качестве основного, можно не только обратить внимание на то, что сложно кратко определить такие (обычно интуитивно постигаемые) понятия, как система, но и осознать тот факт, что на разных этапах представления объекта в виде системы, в различных конкретных ситуациях можно пользоваться разными определениями. Причем по мере уточнения представлений о системе или при переходе на другую ступень ее исследования определение системы не только может, но и должно уточняться.

Определение, включающее и элементы, и связи, и цель, и наблюдателя, а иногда и его «язык» отображения системы, помогает поставить задачу, наметить основные этапы методики системного анализа. Например, в организационных системах, если не определить лицо, компетентное принимать решения, то можно и не достичь цели, ради которой создается система. Но есть системы, для которых наблюдатель очевиден. Иногда не нужно даже в явном виде использовать понятие цели.

Например, вариант теории систем Ю.А. Урманцева [17], созданный им для исследования относительно невысоко развитых биологических объектов типа *растений*, не включает понятие цели как не свойственное для этого класса объектов, а понятие целесообразности, развития отражает в форме особого вида отношений – *законов композиции*.

Таким образом, при проведении системного анализа нужно прежде всего отобразить ситуацию с помощью как можно более полного определения системы, а затем, выделив наиболее существенные компоненты, влияющие на принятие решения, сформулировать «рабочее» определение, которое может уточняться, расширяться или сужаться в зависимости от хода анализа.

«Рабочее» определение системы помогает исследователю (работчику) начать ее описание. Далее для того, чтобы правильно выбирать необходимые элементы, связи, их свойства и другие составляющие, входящие в принятое «рабочее» определение системы, нужно, чтобы лица, формирующие это первоначальное, вербальное представление системы, в одинаковом смысле использовали указанные понятия.

Выбор определения системы отражает принимаемую концепцию и является фактически началом моделирования. Поэтому с самого начала целесообразно представлять определения в символической форме, способствующей более однозначному пониманию ее всеми участниками разработки или исследования системы.

Взгляд на определение системы как на средство начала ее исследования и стремление сохранить целостность при преобразовании или проектировании системы побудили автора этого раздела предложить определение, в котором система не расчленяется на самые элементарные частицы (т.е. не разрушается полностью), что делается в уже приведенных определениях, а представляется как совокупность *укрупненных компонентов*, принципиально необходимых для существования и функционирования исследуемой или создаваемой системы [6, С. 19]:

$$S \underset{def}{\equiv} \langle \{Z\}, \{Str\}, \{Tech\}, \{Cond\} \rangle,$$

- где  $\{Z\}$  – совокупность или структура целей;  
 $\{Str\}$  – совокупность структур (производственная, организационная и т.п.), реализующих цели;  
 $\{Tech\}$  – совокупность технологий (методы, средства, алгоритмы и т.п.), реализующих систему;  
 $\{Cond\}$  – условия существования системы, т.е. факторы, влияющие на ее создание, функционирование и развитие.

Это определение позволяет не разрушать исследуемую систему, а сохранять в ней основные ее структуры, преобразуя и развивая их в соответствии с поставленными целями, при создании же новой системы помогает получить целостную концепцию ее проектирования, реализовать целевой подход к созданию системы.

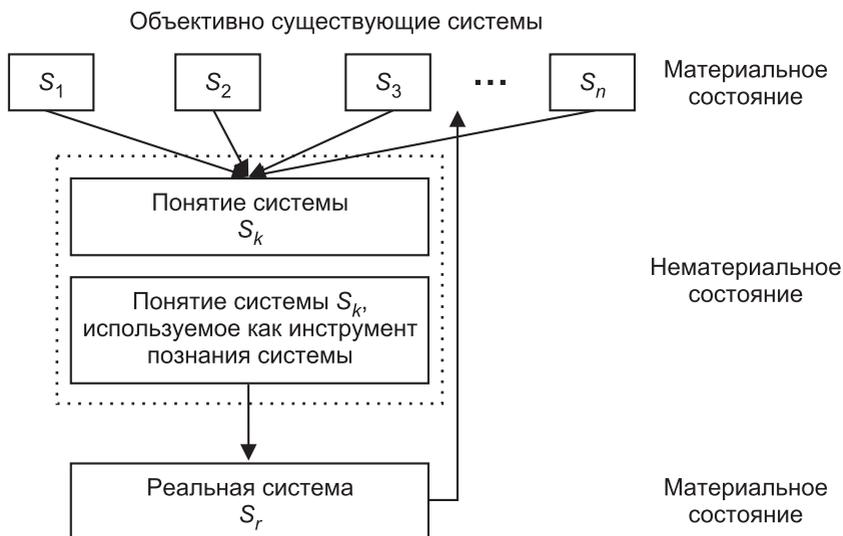
**Материальна или нематериальна система?** В период становления системных исследований в 60–70-х гг. XX в. довольно часто возникали дискуссии о том, материальны или нематериальны системы. Не всем эта проблема ясна и в настоящее время.

С одной стороны, стремясь подчеркнуть материальность систем, некоторые исследователи в своих определениях заменяли термин *элемент* терминами *вещь, объект, предмет*; и хотя последние можно трактовать и как абстрактные объекты или предметы исследования, все же авторы этих определений явно хотели обратить внимание на овеществленность, материальность системы.

С другой стороны, в приведенном определении Ю.И. Черняка [19] и особенно в определении С. Оптнера [10]) систему можно трактовать только как отображение, т.е. как нечто, существующее лишь в сознании исследователя, конструктора. Любой специалист, понимающий закономерности теории отражения, должен, казалось бы, возразить: но ведь очевидно, что замысел (идеальное представление системы) потом будет существовать в материальном воплощении, а для задач принятия решений важно акцентировать внимание на том, что понятие системы может быть средством исследования проблемы, решения задачи. Тем не менее упомянутые определения подвергались в тот период критике со стороны приверженцев материальности систем, особенно философов.

Бессмысленность спора о материальности и нематериальности системы показал В.Г. Афанасьев (рисунок): «...объективно существующие системы – и понятие системы; понятие системы, используемое как инструмент познания системы, – и снова реальная система, знания о которой обогатились нашими системными представлениями, – такова диалектика объективного и субъективного в системе...» [3].

В связи с обсуждаемым вопросом обратим внимание на то, что в Большой советской энциклопедии наряду с приведенным определением дается следующее: система – «объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе» [1, С. 158], т.е. подчерки-



вается, что понятие элемента (а следовательно, и системы) можно применять как к существующим, материально реализованным предметам, так и к *знаниям* об этих предметах или о будущих их реализациях.

Таким образом, в понятии *система* (как и в любой другой категории познания) объективное и субъективное составляют диалектическое единство, и следует говорить не о материальности или нематериальности системы, а о подходе к объектам исследования, как к системам, о различном представлении их на разных стадиях познания или создания.

Например, Ю.И. Черняк [19] показывает, что один и тот же объект на разных этапах его рассмотрения может быть представлен в различных аспектах и соответственно предлагает одну и ту же систему отображать на разных уровнях существования: философском (теоретико-познавательном), научно-исследовательском, проектном, инженерном и т.д. вплоть до материального воплощения.

Иными словами, в термин *система* на разных стадиях ее рассмотрения можно вкладывать разные понятия, говорить как бы о существовании системы в разных формах. М. Месарович [7], например, предлагает выделять *страты* (см.) рассмотрения системы.

Аналогичные страты могут существовать не только при создании, но и при познании объекта, т.е. при отображении реально существующих объектов в виде абстрактно представляемых в сознании (или в моделях) систем, что затем поможет создать новые объекты, разработать рекомендации по преобразованию (перестройке, реконструкции) существующих.

Методика системного анализа (или модель системного исследования) может разрабатываться не обязательно с охватом всего процесса познания или проектирования системы, а для одной из ее страт (что, как правило, и бывает на практике), и чтобы не возникало терминологических и иных разногласий между исследователями или разработчиками системы, нужно прежде всего четко оговорить, о какой именно страте рассмотрения системы идет речь.

**Виды систем.** Существуют различные виды и классификации систем (см. Введение). Системы различают по назначению: *автоматизированная система управления* (см.), *информационно-поисковая система* (см.), *система нормативно-методического обеспечения управления* (см.), *система организационного управления* (см.), *автоматизированные системы различного вида* (см. *Автоматизированная система управления, Автоматизированная система нормативно-методического обеспечения управления*). Классифицируют системы по специальным признакам: *статическая и динамическая, закрытая и открытая* (см.), *целенаправленная* (см. *Целенаправленная и целеустремленная система*). Важную роль в выборе методов моделирования играет классификация систем по степени организованности: *хорошо организованная* (см.), *плохо организованная (диффузная)* система (см.), *самоорганизующаяся (развивающаяся)* система (см.).

- 1. Б С Э . Изд. 2-е. – Т. 39. – С. 158–159. 2. Ф и л о с о ф с к и й с л о в а р ь . Изд. 4-е. – М.: Политиздат, 1980. – С. 329. 3. А ф а н а с ь е в В.Г. О целостных системах / В.Г. Афанасьев // Вопросы философии. 1980. – № 6. – С. 62–78. 4. Б е р т а л а н ф и Л. фон. Общая теория систем: критический обзор / Л. фон Бергаланфи // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82. 5. Б е р т а л а н ф и Л. фон. История и статус общей теории / Л. фон Бергаланфи // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37. 6. В о л к о в а В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 7. М е с а р о в и ч М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахаара. – М.: Мир, 1973. 8. М е с а р о в и ч М. Общая теория систем: математические основы / М. Месаро-

вич, И. Такахага. – М.: Мир, 1978. 9. Методологические проблемы кибернетики: В 2 т. – М.: МГУ, 1970. 10. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер. – М.: Сов. радио, 1969. 11. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ/Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 12. Садовский В.Н. Основания общей теории систем: Логико-методологический анализ / В.Н. Садовский. – М.: Наука, 1974. 13. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 14. Темников Ф.Е. Высокоорганизованные системы / Ф.Е. Темников // В кн.: Большие системы: теория, методология, моделирование. – М.: Наука, 1971. – С. 85–94. 15. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. 16. Уёмов А.И. Системный подход и общая теория систем / А.И. Уёмов. – М.: Мысль, 1978. 17. Урманцев Ю.А. Опыт аксиологического построения общей теории систем / Ю.А. Урманцев // Системные исследования: Ежегодник, 1971. – М.: Наука, 1972. – С. 128–152. 18. Холл А. Опыт методологии для системотехники / А. Холл. – М.: Сов. радио, 1975. 19. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. 20. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Иностран. лит., 1959. В.Н. Волкова

**СИСТЕМА НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ (СНМОУ)** регламентирует деятельность подразделений и всех исполнителей управленческих функций. СНМОУ содержит нормативно-правовые, нормативно-методические, нормативно-технические и организационно-распорядительные документы (соответственно НПД, НМД, НТД и ОРД), которые обеспечивают реализацию принятых проектных и управленческих решений при создании и в процессе функционирования предприятия (организации).

В СНМОУ должны входить: НПД (законы, постановления и другие нормативно-правовые акты), определяющие возможность создания и условия функционирования предприятия (организации); НМД, НТД и ОРД, обеспечивающие организацию производственной деятельности; НМД и НТД, обеспечивающие обновление структуры целей и функций системы управления (разработку основных направлений развития предприятия, комплексных программ, классификаторов функций); корректировку оргструктуры, перераспределение функций между уровнями системы управления и подразделениями оргструктуры, а также регламентирующие их деятельность; стандарты предприятия (СТП), положения о подразделениях, должностные инструкции и тому подобные документы, регламентирующие оперативное управление функциониру-

ванием предприятия; НМД и НТД, регламентирующие разработку и функционирование СНМОУ, ее обновление, контроль исполнения НПД, НМД, НТД и ОРД, в нее входящих.

Конкретные виды НМД, НТД и ОРД, а также процентное соотношение этих видов документов зависят от особенностей конкретного предприятия (организации) и определяются в процессе проектирования СНМОУ. (С более подробной характеристикой СНМОУ можно ознакомиться в [3, 4]).

Все нормативные документы должны регулярно обновляться, и при появлении в них изменений необходимо вносить соответствующие поправки во все взаимосвязанные с корректируемым документы, что и должна обеспечивать СНМОУ предприятия (организации). В противном случае может возникнуть дублирование функций, несогласованность в работе подразделений предприятия. Поэтому необходима система классификации и кодирования (СККИ), объединяющая документы в единое целое.

Гарантировать полноту отражения в СНМОУ всех документов и взаимосвязей между ними (и подразделениями предприятия), своевременно корректировать НТД и НМД, их согласование между собой и с соответствующими НПД, обеспечивать необходимой информацией управленческих работников подразделений различных уровней системы управления и консультации руководителей подразделений и сотрудников, желающих принимать активное участие в управлении предприятием (что особенно важно в условиях перехода к новым экономическим принципам управления и предоставления большей самостоятельности подразделениям), практически невозможно без автоматизации учета, хранения и поиска нормативно-правовой, нормативно-методической и нормативно-технической информации. Иными словами, реализовать СНМОУ без автоматизации крайне сложно. Поэтому для современного предприятия (организации) любой организационно-правовой формы СНМОУ необходимо создавать как автоматизированную систему – АСНМОУ (см. *Автоматизированная система нормативно-методического обеспечения управления*).

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 450–470. 2. Информационные системы / Под общ. ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998. – С. 126–144. 3. Волкова В.Н. Сис-

темное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 244–287. 4. Чудесова Г.П. Преобразование организационной структуры при изменении формы собственности предприятия / Г.П. Чудесова. – СПб.: СПбГТУ, 1995.

*В.Н. Волкова, Г.П. Чудесова*

**СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (СОД)** – термин, введенный в 60-е гг. XX в. для наименования первых систем обработки информации с помощью вычислительной техники.

Этот термин широко использовался при разработке систем радиоуправления ракетами и другими космическими объектами, при создании информационных систем сбора и обработки статистической информации о состоянии атмосферы, об изменении параметров организма человека в космосе и т.п.

*Системы электронной обработки данных (СОД)* в классификации информационных систем по сложности, принятой в зарубежных источниках, приводимых, например, в [4], представляют собой простейший вид ИС, предназначенный для решения *хорошо структурированных задач*, по которым имеются входные данные, известны алгоритмы, ведущие к решению задач. Они работают с минимальным участием человека. Здесь принята файловая система хранения данных.

По мере совершенствования вычислительных средств, увеличения объемов памяти ЭВМ более удобным стал термин *базы данных (БД)*. Это направление сохраняет определенную самостоятельность и в настоящее время и охватывает в основном разработку и освоение средств технической и программной реализации обработки данных с помощью ЭВМ (см., напр., [6, 8] и др.). По мере усложнения задач, решаемых с использованием вычислительной техники, для сохранения этого направления появились термины *базы знаний*, *базы целей*, позволяющие расширить толкование проблемы собственно создания и обработки БД до задач, которые ставятся в дальнейшем при разработке информационных систем.

В период создания специализированных банков данных для информационного обеспечения управления производством также использовался термин СОД в несколько иной формулировке – *системы интегрированной обработки данных (СИОД)* [3].

В настоящее время термин СОД используется на уровне оперативного управления фирмой для решения задач автоматизации управленческого труда по отдельным управленческим функциям бухгалтерского учета, статистической отчетности, учета валютных операций в банке и т.п.

Основными *функциями* СОД являются *сбор* фактографической информации (данных) и *перенос* их на машинные носители, *передача* в места хранения и обработки, *хранение*, *обработка* информации по стандартным алгоритмам, *вывод* и *представление* информации пользователю в виде регламентных форм.

Под *обеспечением* СОД, как и любой информационной системы, понимается совокупность методов, средств и мероприятий, направленных на автоматическую обработку данных с помощью вычислительной техники. Различают виды обеспечения, основными из которых являются: *информационное*, *техническое* и *программное*. Кроме того, выделяют *организационное*, *лингвистическое*, *эргономическое* и другие виды обеспечения.

С более подробной характеристикой названных видов обеспечения можно ознакомиться, напр., в [1, 2, 6].

СОД является основой технического и программного обеспечения практически любой автоматизированной информационной системы.

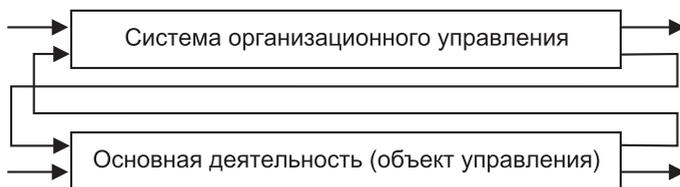
- 1. Информатика: учебник / Под ред. Н.В. Макаровой. – М.: Финансы и статистика, 1997. 2. Информационные системы: учеб. пособие / Под общ. ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 3. Келехсаев А.А. Системы интеграции и обработки данных СИОД1, СИОД2 / А.А. Келехсаев, А.П. Беляев. – М., 1977. 4. Матвеев Л.А. Системы поддержки принятия решений: учеб. пособие / Л.А. Матвеев. – СПб.: СПбГУиЭФ, 1993. 5. Черноусов Е.А. Программирование задач обработки экономической информации / Е.А. Черноусов. – М.: Финансы и статистика, 1982. 6. Четвериков В.Н. Базы и банки данных / В.Н. Четвериков, Г.И. Ревунков, Э.Н. Самохвалов. – М.: Высшая школа, 1987. 7. Экономическая информатика: учебник / Под ред. В.В. Евдокимова. – СПб.: Питер Пабблишинг, 1997. 8. Шомье Н. Банки данных / Н. Шомье. – М.: Энергоиздат, 1981. *В.Н. Волкова, В.Н. Юрьев*

**СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ (СОУ)** – одна из сфер (страт) системы управления предприятием (организацией).

При исследовании сложных систем управления предприятиями и организациями их принято разделять на сферы, или *сферы* (см.).

Наиболее распространено выделение двух основных сфер, показанное на рисунке:

- сфера производства, обслуживания или другой *основной деятельности* (ОД), для осуществления которой создана организация;
- сфера *организационного управления*, обеспечивающая основную деятельность помещениями, оборудованием, сырьем, материалами, комплектующими изделиями, кадрами и другими ресурсами, необходимыми для осуществления основной деятельности.



Первую из этих сфер обычно называют *производственной системой, системой обслуживания* и т.п., т.е. системой, реализующей основную деятельность предприятия (организации), вторую – *системой организационного управления*. СОУ обеспечивает контроль и регулирование основного вида деятельности предприятия. Последняя система (сфера) предназначена для того, чтобы определять рассогласование между требуемыми параметрами (результатами) системы, реализующей основную деятельность, и фактическими результатами, полученными при реализации основной деятельности, и выработать управляющие воздействия, корректирующие эту деятельность.

В то же время эти сферы имеют обособленные «входы» и «выходы», которые для объекта управления определяются материальными потоками, для СОУ – информационными потоками, в том числе требованиями, диктуемыми нормативно-правовыми документами, правилами и формами отчетности, определяемыми надсистемой.

В настоящее время иногда выделяют в качестве самостоятельной *информационную сферу*, которая должна обеспечивать информацией и объект управления, и СОУ.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997, Изд. 2-е, 1999. – С. 289–344.
- 2. Волкова В.Н. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990.
- 3. Чудесова Г.П. Преобразование организационной структуры при изменении формы собственности предприятия / Г.П. Чудесова. – СПб.: СПбГТУ, 1995. *В.Н. Волкова, Г.П. Чудесова*

**СИСТЕМНО-СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ (ССС)** – направление системных исследований, ориентированное на проектирование структур в системах различного вида деятельности человека. Это направление развивается на протяжении всего периода становления системных исследований.

Работы в области ССС базировались на различных подходах (см. *Подходы к анализу и проектированию систем*). Один условно называли *целевым* (см. *Целевой, целенаправленный подход*), т.е. синтез структур шел от целей («сверху») к конечной структуре внизу. Другой называли *терминальным, лингвистическим, морфологическим* (т.е. синтез начинался от анализа пространства состояний, от элементов «снизу вверх», к способам и принципам построения).

Исследования в этой области начинались на базе *математической логики* (см.) и были посвящены синтезу автоматов и схем введением правил взаимодействия логических элементов и минимизации структур на основе логических законов и теорем (см. обзор этих работ в [23]). В настоящее время такого рода работы продолжают развиваться на базе *дискретной математики* (см.). Сфера приложений расширилась: синтезируются аналоговые и цифровые блоки электронных устройств [7, 16, 17, 20], управляющие системы некоторых классов, одни и те же алгоритмы используются при проектировании структур электронных систем, человеко-машинных систем [6], портфелей ценных бумаг [19], методик лечения [8], проектирования баз знаний [21] и разработки методик решения учебных задач [22].

Первым, наиболее развитым и востребованным на практике не только для технических систем был *кибернетический подход Л.А. Растригина* [24, 26], основанный на идее целевого подхода. Основную идею этого подхода составляет, в терминах автора ([24], [26, С. 60–74]), двухстадийная схема принятия решений при управлении:

$$F_t \rightarrow Z^* \rightarrow U^*.$$

На первой стадии ( $F_t \rightarrow Z^*$ ) определяется цель  $Z^*$  управления:

$$Z^* = \varphi_1(A_t, X), \quad (1)$$

где  $\varphi_1$  – алгоритм синтеза цели  $Z^*$  по потребностям  $A_t$  и состоянию  $X$  среды.

Формулируя цель, субъект как бы переводит свои потребности на язык состояния объекта

$$Z^*: Y \rightarrow Y_X^*,$$

что позволяет ему передать процедуру реализации управления  $U_X^*$  другому лицу (или даже автомату).

На второй стадии ( $Z^* \rightarrow U^*$ ) определяется управление  $U_X^*$ , реализация которого обеспечивает достижение цели  $Z^*$ :

$$U_X^* = \varphi_2(Z^*, X), \quad (2)$$

где  $\varphi_2$  – алгоритм управления. Этот алгоритм изучает кибернетика как наука об управлении.

Применительно к социально-экономическим объектам задачу первой стадии Л.А. Растрингин предлагает решать на интуитивном уровне, а для задачи второй стадии – последовательность из 8 этапов (рис. 1).

Методы выполнения этапов зависят от конкретной задачи. Могут выполняться не все этапы, представленные на рис. 1. Но основная идея организации процесса принятия решений в системах управления, предложенная Л.А. Растрингиным, остается актуальной и в настоящее время.

Вместе с тем необходимо отметить, что в этом подходе задача формального синтеза структур объекта и системы управления не ставится, а решается параметрическая задача определения параметров модели системы управления.

Развиваются исследования по применению второй концепции системно-структурного синтеза, базирующиеся на подходе «снизу». Они ориентированы на обеспечение полноты отображения элементов и связей системы на основе различных вариантов формирования *структур* с помощью комбинаторных и морфологических приемов. Наиболее известны из них следующие.



Рис. 1

*Структурно-функциональный подход А.С. Казарновского* [9, 10], основанный на оригинальном порождающем механизме, разработанном им в результате анализа объектов и отношений производственных процессов промышленных объединений.

Этот порождающий механизм представляет собой язык описания деятельности, включающий выявленное на основе анализа производственной системы небольшое число элементарных функций («алфавит» языка) и правил их комбинирования («синтаксис» языка). С помощью этого языка для производственной системы формировалась полиструктура, включающая 4 вида структур: технико-технологическую (ТТС), организационную (ОС), эргономическую (ЭС) и социальную (СС).

Основные модели, положенные им в основу языка моделирования, приведены на рис. 2 и 3.

На рис. 2 указаны:  $h$  – основная производственная деятельность (выпуск продукции, оказание услуг и т.п.);  $v$  – жизнеобеспечение системы (поддержание и восстановление свойств элементов системы);  $p$  – организация (адаптация основной произ-

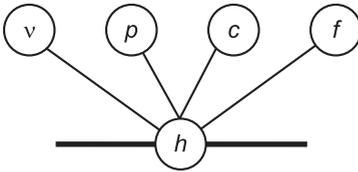


Рис. 2

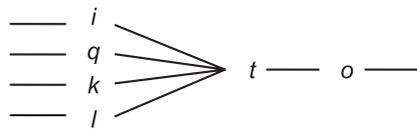


Рис. 3

водственной деятельности к внешним воздействиям, экономическим, социальным и т.п.);  $c$  – управление этой деятельностью;  $f$  – обновление (создание новых образцов продукции, услуг, новых методов и процедур деятельности, нововведения в технологии).

На рис. 3 обозначены:  $i$  – предмет деятельности;  $q$  – вспомогательные материалы;  $k$  – инструмент;  $l$  – энергия, обеспечивающая выпуск продукции;  $t$  – преобразование компонентов в изделие;  $o$  – вывод (отвод) продукта деятельности.

Эти модели определяют компоненты словаря языка моделирования. Комбинирование их с помощью элементарного правила грамматики «помещение рядом» позволяет получить состав основных функций производственной системы.

Например, для управленческого решения на уровне производственного процесса  $c$ :  $ic$  – обеспечение производственного процесса предметом деятельности;  $kc$  – инструментом;  $qc$  – материалами;  $lc$  – энергией.

Подход применялся для моделирования сложных производственных объектов [9], для совершенствования организационных структур [10]. Такой порождающий механизм позволяет получать описание различных процессов в производственных объединениях различного типа. При этом можно принять этот язык, можно уточнять составляющие производственного процесса с учетом конкретного предприятия, его развития. Но главное достоинство подхода Казарновского – принцип комбинаторного порождения функций, который и позволяет создать язык моделирования.

В тот период, когда подход был предложен, его было сложно реализовать из-за большой трудоемкости. Современные возможности ПЭВМ позволяют разработать автоматизированную диалоговую процедуру, помогающую реализовать подход. Однако следует учесть, что по мере роста сложности системы комбинаторный перебор будет порождать огромное число бессмысленных структур, которые еще надо будет выявлять и исключать.

Существуют и другие подходы к ССС. Они основаны на создании множества решений [1–5, 13] с помощью методов ассоциаций; мозгового штурма; эквивалентных преобразований; морфологического моделирования; теории лабиринтов; теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), предложенной Г.С. Альтшуллером. Общим для этих подходов является порождение случайным образом из некоторого набора элементов множества вариантов с последующим отбором среди них наиболее подходящего.

В *методе ассоциаций* элементами служат случайные наборы слов из случайно выбранной книги.

В *морфологическом моделировании* (см.) множеством элементов является некоторый набор априорно заданных фрагментов структур, а порождение структур осуществляется на множестве упорядоченных эвристик [1–3, 5]. Однако эвристики не управляют процедурами получения структур с заданными свойствами и качеством, а выбранные фрагменты могут в сочетании с другими фрагментами дать отрицательный результат.

Применение *теории лабиринтов* [5], также основанной на использовании априорно выбранных фрагментов, приводит к схожей проблеме.

В *методе мозгового штурма*, или *мозговой атаки* (см.) элементами служат эвристически подобранная группа специалистов с разными знаниями, а порождаемые ими решения возникают из высказанных соображений. Случайность получения положительного решения для весьма ограниченного класса вербальных задач не позволяет рассматривать этот метод как системный.

В ТРИЗе [1] элементами являются априорно выбранные множества приемов, составленных на основе изучения большого числа случайно выбранных изобретений. В основном этот подход дает некоторые неявно выраженные подсказки к применению уже известных приемов к решению новой задачи, как правило, из другой области на языке старой задачи. Подробно этот подход проанализирован в [13]. Подход имеет тот существенный недостаток, что выбранное множество приемов не гарантирует получения хотя бы одного решения, не говоря уже о выборе эффективного.

Для всех перечисленных подходов характерно отсутствие даже постановки задачи о том, что делать со структурами, если их число будет огромно, как из них выбрать эффективные.

Надо иметь в виду, что для реальных систем комбинаторным перебором порождаются структуры, образующие множество огромной мощности (порядка  $10^5 \dots 10^9$  структур). В это число вхо-

дят изоморфные структуры (их на два-три порядка больше неизоморфных), а также структуры, не ведущие к цели. После удаления из множества этих типов структур (задача сама по себе весьма трудоемкая даже для современных ЭВМ) необходимо выделить в образовавшемся подмножестве потенциально пригодных структур только эффективные. Поскольку на этом этапе еще нет численных значений параметров элементов, то решать задачу структурного анализа большого числа элементов подмножества весьма непросто из-за слабой развитости методов. Доводить же синтез до параметрического уровня и уже после этого сравнивать структуры экономически нецелесообразно.

В методе *оптимальной реализации* [14] совмещенные процедуры создания схемы из полного графа и вычисления параметров ее элементов управляются методами параметрического синтеза. Из графа удаляют элементы с «малыми» и «большими» значениями параметров. Синтезируется одна схема, которая создавалась под управлением алгоритмов расчета параметров ее элементов, а не исходными требованиями к схеме. Синтез структуры в иерархии проектирования является более ранним этапом, имеющим свой язык и цели. Качество синтезируемых схем по этому методу получается случайной величиной.

*Номинально-структурный* подход, предложенный А.С. Лукьянченко [15, 26], основан на понятиях *номинальной шкалы* – одном из элементов теории измерений, и *структурности*, отражающей целостные свойства системы и процесса ее проектирования.

Математическое описание системы в аппарате номинальных структур использует теорию  $n$ -арных отношений и соответствий в конечных множествах. Подход позволяет решить ряд трудно формализуемых задач, таких, как задачи многокритериального группового выбора, построения обобщенных показателей, анализа и синтеза структур сетей связи, как известная комбинаторная задача построения кратчайшей связующей сети на множестве узлов сети связи, с помощью которой может быть вычислена длина такой сети без ее построения в полном объеме.

*Теория системного синтеза структур* теоретически обоснована в работах автора данной статьи [7, 16,17]. Она позволяет на основе целей, свойств, которыми должны обладать проектируемая система, и ограниченный синтезировать множество структур, потенциально способных реализовывать поставленную цель и свойства на всем множестве возможных решений (на множестве универсум  $U$ ).

Процедура проектирования (сверху вниз) разбита на семь этапов. На каждом из них осуществляются синтез структур соответствующего класса и построение функций выбора, помогающих для следующего этапа отобрать из этого класса только те структуры, которые удовлетворяют требованиям функционирования, изготовления и эксплуатации проектируемой системы в условиях ограничений и взаимодействия с окружающей средой. Здесь важно подчеркнуть, что «алгоритмы синтеза не требуют указания, куда идти, но указывают, куда не надо идти» (В.А. Трапезников), т.е. не требуется перечислять для каждого уровня иерархии все элементы множества решений.

Рассматриваемую процедуру проектирования можно образно представить в виде полого цилиндра, имеющего ступенчато увеличивающуюся книзу толщину стенки. На ступеньках стенки закреплены сетки с переменной величиной и формой ячеек, через которые вниз проходят только структуры, эффективные для данного уровня иерархии. Размер и конфигурация ячеек задаются с помощью функций выбора. Наверху цилиндра находится множество  $U$ , на промежуточных ступенях – отвергнутые структуры данного класса, а внизу – множество конечных эффективных решений. Последние используются для синтеза конструкций и технологий с возможностью и на этих этапах принимать эффективные решения. Принципиальный отказ от нахождения только одного «оптимального» решения обусловлен невозможностью учесть на  $i$ -м этапе проектирования все нюансы ограничений и требований последующих этапов. Например, структура может быть отвергнута на технологическом этапе. Если процесс проектирования был нацелен на выработку самого лучшего решения, то в результате задача вообще не может быть решена в рамках такого подхода. Опять необходимо применять эвристики, которые уведут решение задачи как угодно далеко от «оптимального». В излагаемой процедуре достаточно вернуться на одну или несколько ступеней назад, изменить у ячейки размер либо форму или и то, и другое, чтобы осуществить выбор структуры, удовлетворяющей первоначально не сформулированным технологическим требованиям.

Построение теории стало возможным после того, как была решена задача синтеза всех возможных неизоморфных структур на заданном числе элементов системы и была теоретически обоснована декомпозиция процедур синтеза [16, 17]. Очевидно, без системного подхода невозможно справиться с огромным числом

порождаемых структур и ступени – это классы структур, порождаемые формализованным заданием на проектирование.

Далее излагается проектирование, касающееся функционального, схемного уровня. Для нижеследующих уровней иерархии проектирования – конструкторского и технологического – целесообразно применять те же самые процедуры, что и на предыдущем. Эта же процедура может быть использована и для проектирования организационной структуры. Рассмотрим этапы проектирования (рис. 4).

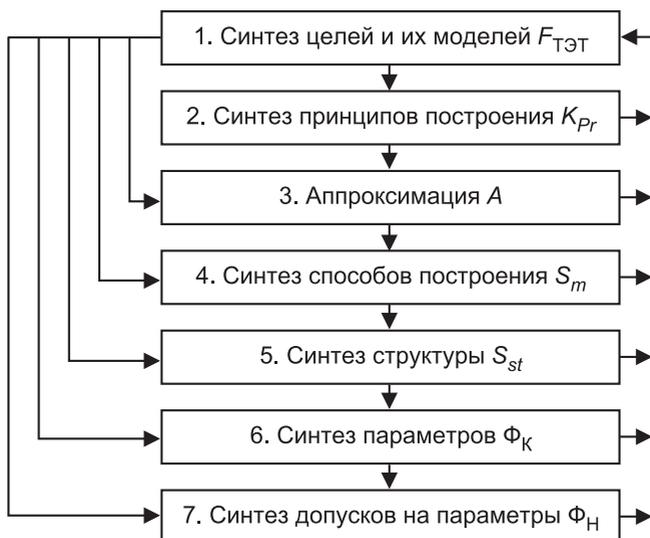


Рис. 4

Первый этап – синтез целей и их моделей, формализация свойств и ограничений  $F_{ТЭТ}$ ; второй – синтез принципов построения  $K_{Pr}$ ; третий – аппроксимация  $A$  (создание идеального облика (обликов), плана, характеристик предмета проектирования); четвертый – синтез способов построения  $S_m$ ; пятый – синтез структуры  $S_{st}$ ; шестой и седьмой – соответственно синтез параметров  $\Phi_K$  и допусков на них  $\Phi_H$ .

Необходимо отметить, что к первому этапу необходимо возвращаться на третьем – седьмом этапах, так как для них различен не только язык описания, но и формализация, и уточнение целей зависят от результатов решения предшествующих задач.

Все этапы проектирования в литературе часто называют просто синтезом, без уточнения предмета синтеза, из-за чего иногда возникают недоразумения. На первом–пятом этапах решаются задачи синтеза структур, а на двух последних осуществляют синтез параметров.

Третий, шестой и седьмой этапы проектирования совпадают по целям с третьим–седьмым этапами подхода Растригина, имеют развитый математический аппарат и решаются достаточно успешно в случае технических задач [12, 25]. Заметим, что совершенствованию именно этих методов посвящается большинство публикаций по синтезу. Остальные этапы по сложности значительно превосходят упомянутые и относятся к разряду изобретательских: синтез оригинальной структуры, нового способа и принципа [7, 17] является основанием для патентования соответственно устройства и способа. Третий этап для художественных и дизайнерских задач также относится к изобретательским, хотя основа в них достаточно технична.

Формулировка и формализация целей в настоящее время ближе к искусству, чем к алгоритмизируемым шагам, хотя и здесь можно сослаться на работы [7, С. 373–378], [3, С. 13], в которых описаны подходы и методики, позволяющие с большим или меньшим успехом решать эти задачи в разных областях человеческой деятельности.

Излагаемая далее процедура проектирования имеет общий характер и применима для проектирования электронных устройств, систем управления [7], портфеля ценных бумаг [19], проектирования системы «оператор – ЭВМ» [6], пошива одежды, построения художественных картин, разработки методик лечения больных [8], создания баз знаний [21], методик обучения [22].

Представим формально процесс проектирования [18] в виде отображения  $\Pi$ , имеющего область определения на множестве значений технических, технологических, экономических и эксплуатационных требований (назовем их кратко ТЭТ).  $\Pi$  имеет значение во множестве структур  $K_p^*$ , во множестве значений параметров  $X^*$  их элементов, допустимых по ТЭТ, и во множестве допусков  $d_\Sigma^*$  на технологический разброс параметров  $X^*$ .

Отображение  $\Pi$  представим композицией (теоретическое обоснование дано в [16–17]) промежуточных отображений

$$\Pi = \Phi_H \circ \Phi_K \circ S_{st} \circ S_m \circ A \circ S_{Pr} \circ F_{TЭТ}. \quad (3)$$

Начинают процесс проектирования с выполнения отображения  $F_{ТЭТ}$ , которое описывает процесс постепенной формализации ТЭТ [7] для всех последующих этапов, делая ТЭТ все более детальными.

$$F_{ТЭТ} : ТЭТ \rightarrow \Phi_{Op}; \Phi_{Op} = (\Phi_{Op_1}, \Phi_{Op_2}, \dots, \Phi_{Op_6}), \quad (4)$$

где  $\Phi_{Op_i}$  –  $i$ -я функция выбора в задаче принятия решения.

При этом для каждого этапа формируется принцип оптимальности ( $Op_i$ ), отражающий представление проектировщика о качестве проектируемой структуры данного этапа. Эти принципы управляют процессом синтеза и постепенно выделяют из совокупности всех возможных структур (из множества универсум  $U$ ) подмножество все меньшей мощности.

На следующем шаге реализуется отображение  $S_{Pr}$ , которое соответствует синтезу или выбору одного из известных принципов построения  $Pr$  проектируемой структуры. В настоящее время широко используются следующие принципы: последовательный и параллельный, с обратной связью, распределенный, иерархический и т.д. (для больших систем это иерархия уровней главного, функционального, элементного, с повторением этих же уровней иерархии при дальнейшей декомпозиции второго и третьего уровня).

Отображение имеет область определения на множестве ТЭТ и универсальном множестве структур  $K_U$ , а значение – во множестве версий структур  $K_{Pr} \subseteq K_U$ , способных реализовать синтезированный принцип. Синтез ведется под управлением функции выбора  $\Phi_{Op_1}$ , являющейся математическим выражением принципа оптимальности  $Op_1$

$$S_{Pr} : \Phi_{Op_1} \cap P_r \rightarrow K_{Pr}; K_{Pr} = \{K_{Pr_i}\}. \quad (5)$$

Сравнение синтезированных принципов, как показали исследования, целесообразно осуществлять по их *функции относительной чувствительности* [11]. В частности, при параллельном принципе построения и при построении структур с контурами обратной связи чувствительность можно существенно уменьшить, при этом качество (надежность, стабильность, повторяемость характеристик и параметров и т.п.) системы улучшается, хотя возможно увеличение ее стоимости.

Отображение  $A$  соответствует этапу формального описания вида объекта проектирования, некоторых его характеристик или параметров. В необходимых случаях можно прибегнуть к теории аппроксимации желаемого вида характеристик [12] и параметров объекта. Такими средствами будет создана математическая модель объекта проектирования. Для технических систем это достаточно частый путь создания моделей. Отображение имеет область определения на множестве значений  $K_{Pr}$  и функции выбора  $\Phi_{Op_2}$ , задающей критерии оптимальной аппроксимации и физической реализуемости на заданных в ТЭТ ограничениях и элементном базисе. В результате решения задачи  $\Phi_{Op_2}(K_{Pr}, Op_2)$  выделяют из множества  $K_{Pr}$  подмножество версий структур  $K_A$ , а область значений во множестве функций заданного класса  $D(\mathbf{Z}, p)$  (формальных описаний вида всего объекта, каких-то его частей, сторон или характеристик)

$$A: \Phi_{Op_2} \cap K_{Pr} \rightarrow D(\mathbf{Z}, p), \quad (6)$$

где  $p$  – переменная;

$\mathbf{Z}$  – вектор коэффициентов.

Оператор синтеза способов построения структур  $S_m$  выделяет из множества  $K_A$  подмножество  $K_{pm}$  структур. Они реализуют не только синтезированный принцип построения, но и удовлетворяют заданным ТЭТ –  $\Phi_{Op_3}$  и функции  $D(\mathbf{Z}, p)$ , т.е.

$$S_m: \Phi_{Op_3} \cap K_A \cap D(\mathbf{Z}, p) \rightarrow K_{pm}, \quad (7)$$

где область значений является множеством способов построения структур  $K_{pm} = \{K_{pmj}\}, j=(1, 2, \dots, \mu)$ .

Способ построения  $K_{pmj}$  – это то, что в патентной литературе называют способом, но в отличие от патента здесь он должен быть изложен не столько вербально, сколько с помощью алфавита описания структур  $K_A$ , некоторых параметров функции  $D(\mathbf{Z}, p)$  и ТЭТ, задающих функции выбора  $\Phi_{Op_3}$ . Фактически это означает, что коэффициенты  $z_i \in \mathbf{Z}$  представляются в виде некоторых структур, анализ которых с помощью функции выбора  $\Phi_{Op_3}$  позволяет выбрать эффективные.

Дальнейшее уменьшение мощности множества  $K_{pm}$  достигается с помощью структурного его анализа [7, 17] и выделения из множества наиболее эффективного способа  $j$ , предназначенного для последующей реализации в процедуре синтеза  $S_{st}$  множества возможных структур:

$$S_{St}: \Phi_{Op_4} \cap D(Z, p) \cap K_{pmj} \rightarrow K_p. \quad (8)$$

Выполнение этого отображения порождает множество эквивалентных (с точки зрения области значений)  $S_{St}$ , структур  $K_p = \{K_{p1}, K_{p2}, \dots, K_{pg}\}$ . Каждая из этих  $r$  структур описывается функцией

$$K_j(p) = U_2(p)/U_1(p) = B(p)/A(p) = (b_0 + b_1p + \dots + b_m p^m)/(a_0 + a_1p + \dots + a_n p^n), \quad (9)$$

где  $U_1(p)$  и  $U_2(p)$  – входные и выходные материальные потоки.

Вид и порядок полиномов числителя и знаменателя функции (9) совпадают с соответствующими коэффициентами полиномов функции (6).

Последнее множество  $K_p$  совместно с исходными ТЭТ является областью определения отображения  $\Phi_K$ , имеющей область значений во множестве эффективных структур с оптимальными параметрами  $X^*$ :

$$\Phi_K: K_p \cap \Phi_{Op_5} \rightarrow K_p^*. \quad (10)$$

Схемотехническое проектирование завершает этап определения допусков на параметры элементов. Этап описывается отображением  $\Phi_H$ , имеющим область определения на множестве  $X^*$  оптимальной структуры, а область значений во множестве  $d_{\Sigma}^*$ , или

$$\Phi_H: K_p^* \cap \Phi_{Op_6} \rightarrow d_{\Sigma}^*. \quad (11)$$

Полная реализации системного подхода осуществляется, если на каждом шаге процедуры проектирования порождается множество эффективных решений, предоставляя тем самым возможность проводить оптимизацию на последующих шагах синтеза.

Далее приведен пример применения теории структурного синтеза для одной из экономических задач.

**Синтез структур портфеля ценных бумаг (ЦБ).** Процесс проектирования (3) портфеля ЦБ [19] начнем с характеристики ТЭТ. Здесь технические требования (ТТ) описывают: *a*) цель инвестиций, выраженную через желаемую (норму) доходности портфеля, и *б*) ограничения, накладываемые на объем инвестиций  $IC$ , на типы рынков и на элементы системы, которыми в данном случае являются финансовые инструменты (облигации, акции, фьючерсы, опционы и т.д.). Параметрами  $X$  инструментов являются цены покупки и продажи, доходности банков.

Технологические ограничения (ТО) на рынке ЦБ описывают: *a*) возможность управлять портфелем ЦБ в пассивном и активном режиме, а

для последнего – в режимах *on line* или дневных торгов; б) время подачи заявок на выполнение операции; в) объем лота; г) время перечисления денег на счет инвестора и торговой системы и т.п.

Эксплуатационные требования (Экст) задают информационную поддержку о внутри- и внешнеэкономических и политических условиях, прогнозирующее и анализирующее программное обеспечение, совместно поддерживающие принятие решений, направленных на достижение цели.

Экономические требования (ЭТ) задают ограничения на уровень допустимого риска, уровень трансакционных затрат, срок инвестиций и т.п.

Формализация ГЭТ, описываемая отображением (4), начинается с построения кривых предпочтения инвестора и с уточнения цели. В соответствии с заданным уровнем доходности инвестиций, их объемом  $IC$  и уровнем риска составляются критерии  $\Phi_{Op_1}$ , необходимые для синтеза принципов (стратегии) формирования структуры портфеля ЦБ (5).

Отображение (5) имеет область определения на множестве ГЭТ и универсальном множестве структур  $K_U$  (множестве видов рынков).

Критерии эффективности для конкретного инвестора связаны с компромиссом между его желанием получить определенный доход и минимизацией риска его неполучения. Следовательно, необходимо выстраивать множество эффективных структур портфеля, используя известные (последовательное, параллельное и с обратной связью объединение портфелей различных инструментов) и вновь синтезируемые принципы вложения финансовых средств. В общем случае используют следующие инструменты: облигации, акции, фьючерсы, опционы, валюта и т.д.

Обратная связь вводится при хеджировании рисков и реализуется с помощью деривативов (фьючерсных, опционных контрактов и т.д.), заключенных на один и тот же базовый актив.

После выбора принципа построения портфеля можно осуществить аппроксимацию (6) изменения доходности портфеля во времени в течение срока жизни  $T_{ж}$  портфеля с выбранным принципом при ограничениях на риски  $\Phi_{Op_2}$ . Помимо статистических алгоритмов оценки рисков также можно применять функции относительной чувствительности к изменению рыночных параметров инструментов [11]. В основу решения задачи (6) можно положить рыночные доходности соответствующих портфелей. Таким образом, формируется математическая модель портфеля ЦБ, позволяющая в дальнейшем оценивать качество управления портфелем и своевременно вносить в его инструменты необходимые изменения. Очевидно, что поле привлекаемых инструментов для решения задачи (6) существенно сужается.

Областью значений отображения (7) является аппроксимирующая функция  $D(Z, p)$  и  $\Phi_{Op_3}$ , формализующее ТО, Экст и ЭТ. Областью значений  $S_m$  являются способы построения портфеля с распределением доходностей и объемов между видами подпортфелей. Способы сводятся к изменению коэффициентов у всего класса структур  $K_{pm}$  с целью обеспечения возможности достижения равенства соответствующих коэффициентов у  $K_A$  и  $K_{pm}$  перераспределением объемов вложенных средств в от-

дельные виды подпортфелей и времени их существования без изменений структуры. В результате поле поиска подходящих инструментов после решения задачи (7) будет еще более сужено.

Синтез структуры (8) отдельного подпортфеля сводится к реализации конкретного способа построения, задающего объем вложений, доходность и риск, при ограничениях  $\Phi_{OpA}$ , задаваемых в ЭкТ и ЭТ. Структура подпортфеля определяется составом и объемом средств, выделяемых для каждого из инструментов. Вместе со сроком жизни эти инструменты образуют некоторую синтетическую ЦБ, удовлетворяющую критериям эффективности портфеля. Конечно, без применения срочных инструментов здесь не обойтись.

Структура подпортфеля описывает временную последовательность покупки и продажи различных инструментов

$$K_j(p) = U_2(p)/U_1(p) = B(p)/A(p) = \\ = (b_0 + b_1p + \dots + b_m p^m)/(a_0 + a_1p + \dots + a_n p^n),$$

где  $U_1(p)$  и  $U_2(p)$  – денежные потоки соответственно при инвестициях в портфель ЦБ и выводе средств из портфеля при продаже ЦБ.

В каждом временном интервале, в котором не изменяются инвестиции и состав ЦБ в портфеле, инвестиции  $U_1(p)$  дисконтируются, а величина  $U_2(p)$  изменяется согласно текущей оценке стоимости портфеля. Поэтому качество управления портфелем изменяется.

Для подпортфеля задача (8) состоит из этапов: а) распределение инвестиционного капитала  $IC$  между отдельными ценными бумагами; б) определение момента вхождения в рынок по каждой ЦБ и прогнозирования тренда ее стоимости на время получения минимально допустимой прибыли. Для достижения этих целей, а также в ходе выполнения процедур синтеза двух заключительных этапов применяют методы технического анализа и искусственного интеллекта.

Задача параметрического синтеза  $\Phi_K$  состоит в прогнозировании цены покупки для каждого из инструментов, определенных в результате решения задачи (8); в отслеживании уровня получаемой доходности по каждому из инструментов и принятии решения о сохранении его в подпортфеле или продаже и в постановке приказов на продажу, ограничивающих допустимый уровень потерь.

Заключительный этап (11) синтеза портфеля состоит в определении допусков на отклонения в ценах покупки и продажи инструментов, на их доходность и риски, которые должны вестись непрерывно в течение жизни каждого инструмента в портфеле.

• 1. Половинкин А.И. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) / А.И. Половинкин, Н.К. Бобков и др.; под ред. А.И. Половинкина. – М.: Радио и связь, 1981.

2. Андрейчиков А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2001.
3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997.
4. Волгин Л.И. Методы топологического преобразования электрических цепей / Л.И. Волгин. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1982.
5. Глоризов Е.Л. Морфологический синтез нелинейных логических схем / Е.Л. Глоризов // Изв. вузов СССР, Радиоэлектроника. – 1977. – № 6. – С. 78–85.
6. Гололобов Л.И. Применение теории системного структурного синтеза в проектировании системы «оператор – ЭВМ» / Л.И. Гололобов // В сб. трудов VI Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. – С. 407–410.
7. Захаров В.К. Электронные устройства автоматики и телемеханики: учеб. для вузов / В.К. Захаров, Ю.И. Лыпарь. – 3-е изд. – Л.: Энергоатомиздат, 1984.
8. Лыпарь Ю.И. Синтез структур методик лечения болезней / Ю.И. Лыпарь, Е.В. Новикова // В сб. тр. VII Междунар. научно-практ. конф. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 458–460.
9. Казарновский А.С. Структурно-функциональная модель сложного производственного объекта / А.С. Казарновский, Г.Ф. Ененко // Управляющие системы и машины. – 1974. – № 5. – С. 3–7.
10. Казарновский А.С. Совершенствование организационных структур промышленных предприятий: вопросы методологии / А.С. Казарновский, П.А. Перлов, В.Т. Радченко. – Киев: Наукова думка, 1981.
11. Калниболотский Ю.М. Расчет чувствительности электронных схем / Ю.М. Калниболотский, Н.Н. Казанджан, В.В. Нестер. – Киев: Техніка, 1982.
12. Лазарев Ю.Ф. MatLAB 5.x. / Ю.Ф. Лазарев. – Киев: Изд. группа ВНУ, 2000.
13. Лабковский Б.А. Наука изобретать / Б.А. Лабковский. – СПб.: Нордмет-Издат., 1999.
14. Ланнэ А.А. Оптимальная реализация линейных электронных RLC-схем / А.А. Ланнэ, Е.Д. Михайлова, Б.С. Саркисян, Я.Н. Матвийчук. – Киев: Наукова думка, 1981.
15. Лукьянченко А.С. Анализ и факторизация коммуникационных структур / А.С. Лукьянченко // Техника средств связи. Сер. АСУ, 1979, вып. 1. – С. 59–72.
16. Лыпарь Ю.И. Структурный синтез электронных цепей / Ю.И. Лыпарь. – Л.: Изд-во ЛПИ, 1982.
17. Лыпарь Ю.И. Автоматизация проектирования избирательных усилителей и генераторов / Ю.И. Лыпарь. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983.
18. Лыпарь Ю.И. Теория системного структурного синтеза / Ю.И. Лыпарь // В сб. трудов Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – С. 43–45.
19. Лыпарь Ю.И. Системный синтез структур портфеля ценных бумаг / Ю.И. Лыпарь // В сб. трудов VI Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. – С. 244–246.
20. Лыпарь Ю.И. Системная теория структурного синтеза электронных схем / Ю.И. Лыпарь // В сб. трудов: Вычислительная техника, автоматика и радиоэлектроника. – СПб: Изд-во СПбГПУ, 2002. – С. 120–127.
21. Лыпарь Ю.И. База знаний для систем проектирования и обуче-

ния / Ю.И. Лыпарь // В сб. тезисов докладов V междунар. конф.: Региональная информатика-96. – СПб., 1996. – С. 251–252. 22. Лыпарь Ю.И. Некоторые применения теории системного структурного синтеза / Ю.И. Лыпарь, С.В. Сазонова // В сб. тр.: Инноватика. – СПб: Изд-во СПбГПУ, вып.2, 2002. – С. 96–105. 23. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем / Д.А. Поспелов. – М.: Энергия, 1968. 24. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растринин. – М.: Радио и связь, 1980. 25. Рыжиков Ю.И. Решение научно-технических задач на персональном компьютере / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА принт, 2000. 26. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи. – М.: Радио и связь, 1983. 27. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику / С.В. Яблонский. – М.: Высшая школа, 2001. *Ю.И. Лыпарь*

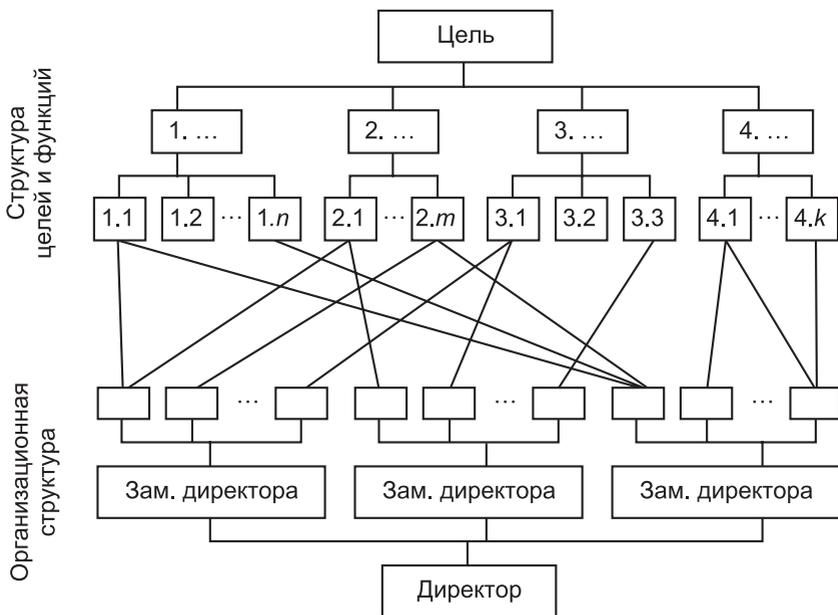
**СИСТЕМНО-ЦЕЛЕВОЙ ПОДХОД** к проектированию организационных структур предприятий (см. *Организационная структура*) разработан под руководством Б.З. Мильнера [1, 2, 5 и др.]. Этот подход был положен в основу общепромышленных научно-методических рекомендаций по формированию оргструктур [3].

Системно-целевой подход заключается в построении структуры целей, определении на ее основе функций управления и их организационном оформлении.

Для реализации подхода следует разработать методику структуризации целей и функций, учитывающую специфику предприятия, методику расчета объема управленческих работ по функциям управления, решить проблему перехода от структуры целей и функций к структуре органов управления.

Преимущества этого подхода заключаются в возможности учитывать особенности объекта управления и условия его деятельности, изменять и расширять состав функций, проектировать разнообразные организационно-правовые формы предприятий. Трудности в использовании подхода связаны с проблемой перехода от совокупности целей и функций к составу и подчиненности структурных звеньев, обеспечивающих их реализацию.

В случае корректировки существующей организационной структуры обычно ее берут за основу, распределяют по ее подразделениям новые функции (идея распределения функций по подразделениям оргструктуры иллюстрируется на рисунке), выявляют функции, не выполняемые существующими подразделениями, уточняют положения о подразделениях или при необходимости изменяют наименования подразделений, делят перегруженные подразделения, пересматривают распределение подразделений по подчиненности заместителям директора.



Такой подход в принципе можно применить и при создании новых предприятий, формируя варианты их организационной структуры на основе анализа действующих предприятий, а также рекомендаций, накопленных в теории разработки оргструктур. В частности, можно выбрать вид оргструктуры, используя сведения о видах организационных структур (линейная, функциональная, программно-целевая, матричная), предложить варианты оргструктуры, распределить функции по подразделениям этих вариантов и выбрать из них лучший.

При выборе варианта следует иметь в виду, что организационная структура создается для того, чтобы руководитель мог сохранять целостное представление о системе управления. Для обеспечения этого оргструктура должна обладать рядом свойств:

- подразделения оргструктуры должны обеспечивать выполнение всех необходимых функций управления;
- расчленение на каждом уровне должно быть соразмерным, а выделенные части – логически независимыми; исследования показали, что равномерно структурированные системы обладают большей целостностью и устойчивостью;

- число уровней во всех ветвях структуры должно быть одинаковым (вытекает из предыдущего требования, но выделено в силу его особой значимости для организации эффективного управления);

- признаки декомпозиции (структуризации) в пределах одного уровня (или по крайней мере узла) должны быть едиными; это обеспечивает лучшую управляемость;

- в структуре не должно быть так называемых «вырожденных» ветвей, т.е. таких, которые не расчленены хотя бы на 2 составляющие, поскольку в противном случае подчиненные одна другой неразветвленные ветви практически взаимно дублируются, снижая эффективность системы управления;

- число уровней иерархии и число компонентов в каждом узле должны быть  $K = 7 \pm 2$  (в силу гипотезы Миллера или числа Колмогорова). Невыполнение этого требования затрудняет принятие решений. Содержательно требования этой гипотезы можно объяснить ограничением возможностей оперативной памяти человека, его способностью анализировать в оперативной памяти не более  $7 \pm 2$  составляющих и связей между ними (порядка 140). Исследования оргструктур крупных корпораций в США показали целесообразность даже нижней границы – 5.

Приведенные требования не всегда совместимы (что связано с особенностями конкретных организаций), и на практике нужно искать компромиссы. Однако следует по возможности стремиться к их выполнению и сравнивать предлагаемые варианты оргструктуры с позиции выполнения этих требований.

Важным критерием оценки оргструктуры является сравнительный анализ ее вариантов в отношении обеспечения целостности и устойчивости, с одной стороны, и предоставления свободы в проявлении инициатив работникам предприятия – с другой, т.е. оценка вариантов оргструктуры с позиции централизации-децентрализации управления. Такие оценки можно получить с помощью подхода к оценке целостности и степени свободы проявления свойств элементов (см. *Закономерность целостности*).

• 1. Мильнер Б.З. Организация программно-целевого управления / Б.З. Мильнер. – М.: Наука, 1980. 2. Мильнер Б.З. Системный подход к организации управления / Б.З. Мильнер, Л.И. Евенко, В.С. Рапопорт. – М.: Экономика, 1983. 3. Научно-методические рекомендации по фор-

мированию оргструктур управления объединением и предприятием. – М.: ГКНТ, 1978. 4. О в с и е в и ч Б.Л. Формирование организационных структур / Б.Л. Овсевич. – Л.: Наука, 1979. 5. О р г а н и з а ц и о н н ы е с т р у к т у р ы у п р а в л е н и я п р е д п р и я т и е м / Под ред. Б.З. Мильнера. – М.: Экономика, 1975. 6. С и с т е м н ы й а н а л и з в э к о н о м и к е и о р г а н и з а ц и и п р о и з в о д с т в а : учебн. для вузов/Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 7. В о л к о в а В.Н. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н. Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1990. 8. Ч у д е с о в а Г.П. Преобразование организационной структуры при изменении формы собственности предприятия / Г.П. Чудесова. – СПб.: СПбГТУ, 1995.

*В.Н. Волкова, Г.П. Чудесова*

**СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ** – термин, введенный в 70-е гг. XX в. для обобщения прикладных научных направлений, связанных с исследованием и проектированием сложных систем. В этот период по мере развития научно-технического прогресса усложняются выпускаемые изделия и технология производства промышленной продукции, расширяются ее номенклатура и ассортимент, увеличивается частота сменяемости выпускаемых изделий и технологий, возрастает наукоемкость продукции, по мере повышения жизненного уровня населения растут потребности. Все это приводит к усложнению взаимоотношений человека с природой, к истощению ресурсов Земли, к экологическим проблемам. В результате усложняются процессы управления экономикой, возникает необходимость управления самим научно-техническим прогрессом.

Для исследования названных и других проблем с неопределенностью развиваются различные прикладные направления – *исследование операций* (см.), *кибернетика* (см.), *системотехника* (см.), *системология* (см.) и другие междисциплинарные направления, опирающиеся на *теорию систем* (см.). Для того чтобы не затруднять практических работников изучением особенностей этих направлений, их стали объединять общим термином *системные исследования*.

С 1969 г. в издательстве «Наука» выходит ежегодник «Системные исследования» [2].

- 1. В о л к о в а В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е, 2003. 2. С и с т е м н ы е и с с л е д о в а н и я : Ежегодник. – М.: Наука, 1969–1984.

*В.Н. Волкова*

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ (СА)** признается в настоящее время наиболее конструктивным из направлений системных исследований.

Этот термин впервые появился в 1948 г. в работах корпорации RAND в связи с задачами военного управления [7]; получил распространение в отечественной литературе после перевода книги С. Оптнера «Системный анализ деловых и промышленных проблем» [9]; широко использовался в работах Центрального экономико-математического института [15], в работах Ю.И. Черняка [16 и др.], в работах томской школы системных исследований [10, 11 и др.]; введен в учебные планы вузов в конце 1980-х гг. Ф.И. Перегудовым (заместителем министра высшего и среднего специального образования СССР того периода).

Термин *системный анализ* трактуется в публикациях неоднозначно. В одних работах СА определяется как «приложение системных концепций к функциям управления, связанным с планированием» [6, С. 38] или даже со стратегическим планированием и целевой стадией планирования [15, 16]. В других термин СА употребляется как синоним термина «анализ систем» [5] или «системное управление организацией» [17].

Некоторые авторы даже в определении СА подчеркивают, что это методология исследования целенаправленных систем [16].

На основе обобщения различных точек зрения в [1, 12] дается следующее определение.

Системный анализ:

1) применяется в тех случаях, когда задача (проблема) не может быть сразу представлена и решена с помощью формальных, математических методов, т.е. имеют место большая начальная неопределенность проблемной ситуации и многокритериальность задачи;

2) уделяет внимание процессу постановки задачи и использует не только формальные методы, но и методы качественного анализа; в [1, 12] эти группы методов названы *методы формализованного представления систем* – МФПС (см.) и *методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов* – МАИС (см.);

3) опирается на основные понятия теории систем и философские концепции, лежащие в основе исследования общесистемных закономерностей;

4) помогает организовать процесс коллективного принятия решения, объединяя специалистов различных областей знаний;

5) для организации процесса исследования и принятия решения требует обязательной разработки *методики системного анализа* (см.), определяющей последовательность этапов проведения анализа и методы их выполнения, объединяющей методы из групп МАИС и МФПС;

6) исследует процессы целеобразования и разработки средств работы с *целями* (см. *Цель*), в том числе занимается разработкой методик структуризации целей;

7) основным методом СА является расчленение большой неопределенности на более обозримые, лучше поддающиеся исследованию (что и соответствует понятию *анализ*) при сохранении целостного (*системного*) представления об объекте исследования и проблемной ситуации (благодаря применению целевого *подхода*, см. *Подходы к анализу и проектированию систем*).

Образно это можно сформулировать словами Гёте:

«... Любой предмет желая изучить,  
чтоб ясное о нем познание получить,  
Ученый прежде душу изымает,  
затем предмет на части расчленяет,  
И видит их....».

Но в отличие от продолжения у Гёте:

«Да жаль, духовная их связь  
тем временем исчезла, унеслась...»,

системный анализ сохраняет и обеспечивает эту духовную связь, т.е. целостное представление об объекте и процессе принятия решения.

Первые четыре особенности характерны для всех направлений *системных исследований* (см.). В определении СА необходимо наряду с этими особенностями отразить еще три (5, 6, 7), уточняющие отличие СА от других системных направлений.

Независимо от того, применяется термин «системный анализ» только к планированию развития предприятия, региона или к исследованию системы в целом, включая и цели, и организационную структуру, и процессы принятия текущих решений, работы этого направления отличаются от других направлений системных исследований тем, что в них предлагается методика проведения системного исследования, организации процесса принятия решения, делается попытка предложить подходы к выполнению этапов методики в конкретных условиях. При этом выбор

методов и приемов выполнения этапов методики СА базируется на использовании понятий и закономерностей теории систем.

И второе важное отличие – работа *с целями* (их исследование, формулирование, структуризация или декомпозиция). При этом наиболее важным отличием от других направлений, рассматривающих цель как нечто внешнее, задаваемое средой или надсистемой, СА рассматривает формирование цели внутри системы, т.е. занимается целеобразованием.

Системный анализ нашел широкое применение в различных сферах деятельности: при исследовании и проектировании сложных технических комплексов, при моделировании процессов принятия решений в ситуациях с большой начальной неопределенностью, при исследовании и совершенствовании управления технологическими процессами, при исследовании систем организационного управления на уровнях предприятий, непромышленных организаций, регионов, государства в целом, при совершенствовании производственных и организационных структур предприятий и организаций, при разработке автоматизированных систем различного рода и т.п.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е, 2003.
- 2. Голубков Е.П. Системный анализ в управлении народным хозяйством / Е.П. Голубков. – М.: МИНХ, 1975.
- 3. Голубков Е.П. Использование системного анализа в отраслевом планировании / Е.П. Голубков. – М.: Экономика, 1977.
- 4. Голубков Е.П. Использование системного анализа в принятии плановых решений / Е.П. Голубков. – М.: Экономика, 1982.
- 5. Квейд Э. Анализ сложных систем / Э. Квейд. – М.: Сов. радио, 1969.
- 6. Клиланд Д. Системный анализ и целевое управление / Д. Клиланд, В. Кинг. – М.: Сов. радио, 1979.
- 7. Лопухин М.М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971.
- 8. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981.
- 9. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер. – М.: Сов. радио, 1969.
- 10. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ / Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976.
- 11. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ: учеб. пособие / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989.
- 12. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.
- 13. Системный анализ и научное знание // В Сб. Ин-та философии АН СССР. – М.: Наука, 1978.
- 14. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983.
- 15. Целевая стадия планирования и проблемы принятия технико-экономических решений. – М.: ЦЭМИ, 1972. –

С. 6–18. 16. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. 17. Янг С. Системное управление организацией / С. Янг. – М.: Сов. радио, 1972. 18. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1974.

*В.Н. Волкова*

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД** – термин, который широко использовался в первые годы становления теории систем в двух смыслах: 1) в смысле методологического направления философии; 2) в прикладном аспекте, как синоним понятия комплексный подход.

Во втором случае многие работы только постулировали необходимость комплексности, многоаспектного рассмотрения проблемы, что в принципе уже было полезно, однако в этих работах не предлагались конкретные методы и методики, помогающие реализовать такой подход.

В настоящее время термин *системный подход* используется в основном в смысле методологического направления философии.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 2-е, 1999. 2. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ / Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 3. Уёмов А.И. Системный подход и общая теория систем / А.И. Уёмов. – М.: Мысль, 1978.

*В.Н. Волкова*

**СИСТЕМОЛОГИЯ.** Термин был введен в философской литературе в 1965 г. И.Б. Новиком [4], впервые использован в 1971 г. В.Т. Куликом для названия широкой области теории систем [3], использовался Б.С. Флейшманом [4] (в широком понимании, в смысле кибернетики У.Р. Эшби).

В.В. Дружинин и Д.С. Конторов вначале для названия своего варианта теории систем использовали также термин «системология» [1], но в последующем предпочли термин «системотехника» [2].

Термин использовался также в ряде вузов для названия учебных курсов (в частности, А.А. Денисовым на факультете технической кибернетики в Ленинградском политехническом институте).

- 1. Дружинин В.В. Проблемы системологии / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Сов. радио, 1976. 2. Дружинин В.В. Системотехника / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1985. 3. Кулик В.Т. Современная теория организации систем – системология / В.Т. Кулик. – Киев: Знание, 1971. 4. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б.С. Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982.

*В.Н. Волкова*

**СИСТЕМОТЕХНИКА** – термин, предложенный в 1962 г. Ф.Е. Темниковым (основателем первой в стране кафедры системотехники в Московском энергетическом институте) при переводе книги Г. Гуда и Р. Макола [2] как эквивалент английского «System Engineering». Редакции не нравился буквальный перевод «системная инженерия» или «инженерия систем», что в принципе более соответствовало содержанию книги и становлению теории систем в стране.

В связи с неточным переводом термин довольно быстро стал использоваться в основном в приложениях системных методов только к техническим направлениям [3, 4 и др.], а для других приложений теории систем были предложены термины *системология* (см.), *системный подход* (см.), *системный анализ* (см.). Поэтому одни и те же авторы иногда использовали для наименования своих вариантов теории систем разные термины. В частности, В.В. Дружинин и Д.С. Конторов вначале для названия своего варианта теории систем пользовались термином *системология*, а позднее перешли к термину *системотехника* [3].

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 3-е изд., 2003. 2. Гуд Г.Х. Системотехника: введение в проектирование больших систем / Г.Х. Гуд, Р.Е. Макол. – М.: Сов. радио, 1962. 3. Дружинин В.В. Системотехника / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1985. 4. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. 5. Холл А. Опыт методологии для системотехники / А. Холл. – М.: Сов. радио, 1975. В.Н. Волкова

**СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИЛИ СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ**, – направление, предложенное Д.А. Поспеловым.

**История возникновения.** Метод ситуационного управления возник в связи с необходимостью моделирования процессов принятия решений в системах с активным элементом (человеком). В его основе лежат три основные предпосылки.

Первая предпосылка – это психология, которая начала изучать принципы и модели принятия решений человеком в оперативных ситуациях. Известны работы советских психологов в этой области – В.Н. Пушкина, Б.Ф. Ломова, В.П. Зинченко и др. [1, 2, 3]. В.Н. Пушкин сформулировал так называемую *модельную теорию мышления* [1]. Он показал, что психологический механизм

регулирования актов поведения человека тесно связан с построением в структурах мозга информационной модели объекта и внешнего мира, в рамках которого осуществляется процесс управления на основе восприятия человеком информации извне и уже имеющегося опыта и знаний. Основой построения модели являются понятийные представления об объектах и отношениях между ними, отражающие семантику выделенной сферы деятельности человека (предметной области). Модель объекта имеет многоуровневую структуру и определяет тот информационный контекст, на фоне которого протекают процессы управления. Чем богаче такая информационная модель объекта и выше способности манипулирования знаниями, тем выше качество принимаемых решений, многообразнее поведение человека. В.Н. Пушкин впервые выделил три важные особенности процесса принятия решений [1]: наличие возможности классификации ситуаций в соответствии с типовыми решениями по управлению; принципиальная открытость больших систем; существенная ограниченность языка описания пространства состояний и решений объекта управления.

Второй предпосылкой метода ситуационного управления стали представления, полученные в исследованиях по семиотике – науке о *знаковых системах*. Это работы Ю.А. Шрейдера, Ю.Д. Апресяна. Была определена трехаспектная структура знака в любой знаковой системе: имя знака, отражающее его синтаксический аспект; содержание знака, выражающее его семантический аспект; назначение знака, определяющее его прагматический аспект (треугольник Фреге). В прикладной семиотике знаки, вариантами которых являются слова, предложения, тексты, стали рассматриваться как системы, замещающие реальные объекты, процессы, события внешнего мира [23]. Совокупности знаков с отношениями между ними, таким образом, стали моделирующими псевдофизическими аналогами реальных систем функционирования и управления. Именно поэтому ситуационное управление называли еще и *семиотическим моделированием*, поскольку знаковый язык достаточен для описания и процессов функционирования объекта с требуемой степенью приближения.

Третья предпосылка связана с разработками в области *информационно-поисковых систем* и попытками создания формального языка описания и представления технических наук с целью авто-

матизации работ по реферированию научных публикаций и организации процессов поиска, хранения и представления информации. В рамках этих исследований Э.Ф. Скороходько был разработан и исследован язык, получивший затем название языка *rx*-кодов [4]. Свою реализацию этот язык нашел в информационно-поисковой системе БИТ, которая успешно и довольно долго эксплуатировалась в Институте кибернетики АН УССР.

На основе модельной теории мышления В.Н. Пушкина, языка *rx*-кодов Э.Ф. Скороходько и семиотики Д.А. Поспелов, а затем Ю.И. Клыков в 1965 г. сформулировали новую кибернетическую концепцию управления большими системами в виде метода ситуационного управления [1–9].

#### *Сущность метода*

- За основу управления принято понятие *ситуация* как основной объект описания, анализа и принятия решений. Следовательно, необходимы соответствующие средства – описания, классификации, обучения и трансформации ситуаций в соответствии с принимаемыми решениями.

- Классификация ситуаций обосновывалась существованием, исходя из анализа структуры задач управления в больших системах, на каждом уровне управления множества ситуаций, число которых несоизмеримо велико по сравнению с множеством возможных решений по управлению. Задача принятия решений трактовалась как задача поиска такого разбиения множества ситуаций на классы, при котором каждому классу соответствовало решение, наиболее целесообразное с позиции заданных критериев функционирования. При наличии такого разбиения поиск решения в конкретной ситуации сводился к поиску класса и соотнесения ему решения по управлению. Однако такая постановка задачи справедлива для систем управления, в которых число потенциально возможных ситуаций (ПВС) существенно превышает (иногда на несколько порядков) число возможных решений по управлению. Этот случай соответствует контекстно-независимому способу вывода решений, когда все множество ПВС разбивается на классы таким образом, чтобы каждому классу в соответствие ставилось решение по управлению. Случай, когда множества ситуаций и решений были либо соизмеримы по мощности, либо достаточно больше, чтобы этот факт можно было установить, был рассмотрен и разработан затем в работах Л.С. Загадской и ее школы [12 – 18].

- За основу языка описания всего множества ситуаций были взяты идеи языков *лх*-кодов и синтагматических цепей. Роль множества объектов предметной области играли их знаковые эквиваленты в естественном языке, т.е. слова-имена, а в роли отношений выступали слова-имена, соответствующие реальным связям между объектами или процессами. В качестве грамматики языка ситуационного управления (ЯСУ) выступали правила порождения новых понятий и отношений, их преобразования и классификации (см. *Язык ситуационного управления*).

- Важнейшая идея метода – формирование семиотической модели объекта путем обучения принятию решений. При этом рассматривались два режима обучения: экспертом, хорошо знающим исследуемую предметную область, либо на основе анализа множества конкретных ситуаций и решений по управлению. Очевидно, что последний случай более длителен, не гарантирует полноту описания, требует наличия статистики ситуаций и принятых в них решений, что далеко не всегда возможно. Поэтому всеобщей практикой стало в основном использование первого подхода к обучению. Тем не менее наличие в ЯСУ средств обобщения и классификации ситуаций обеспечивает принципиальную возможность создания моделей, способных к усовершенствованию функций принятия решений в изменяющихся условиях работы объекта управления. Другими словами, создается возможность «выращивания» модели объекта для заданных условий функционирования.

**Развитие ситуационного моделирования.** В 1973 г. Л.С. Загадская (Болотова) [1, 7–18] разработала еще один, новый тип систем ситуационного управления, рассматривавший класс систем управления, в котором мощности множеств возможных ситуаций и решений по управлению сопоставимы или неизвестны. Предлагалось все множество ситуаций разбивать на классы таким образом, чтобы каждому классу в соответствие ставилась *структура типового решения*. На следующем этапе решения эта структура доопределялась в процессе интерпретации и конкретизации решения и с учетом имеющихся ограничений на ресурсы. Таким образом, каждому типовому решению по управлению  $U_i$  в соответствие ставится его структура  $M_i$ , и, следовательно, кроме множества  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ , строится множество структур типовых решений  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ .

Затем для каждой структуры выявлялся необходимый контекст-пласт знаний, имеющий фреймовую структуру и включающий правила интерпретации ситуаций в пределах данной структуры и множество процедур для их трансформации и имитации. Была разработана также логико-семиотическая модель вывода решений на иерархии структур принятия решений [14, 15].

Очевидно, что во втором случае существенно усложняется проблема построения модели предметной области (МПО). Разработка МПО до сих пор является искусством, требует применения высочайшей квалификации системных аналитиков. Необходимо ответить на ряд вопросов:

- Каким образом задаются границы выделенной предметной области?
- Каким образом формируется непротиворечивый язык описания всех множеств ситуаций и процессов для МПО со сложной, иерархической и распределенной структурой?
- Каким образом формируется система знаний о МПО, достаточная для достижения поставленных целей?
- Каким образом «проявляются» необходимые взаимодействия между участниками процессов управления и принятия решений, как они описываются?
- Каким образом принимаются решения в условиях неполноты, неопределенности и неоднозначности?

В результате исследования и разработки прикладных систем ситуационного управления была создана сквозная методология и технология проектирования систем ситуационного управления большими системами, включая необходимые инструментальные средства и системы на базе языков РЕФАЛ и ЛИСП [18].

Как следует из описания *языка ситуационного управления* (см.) и организации ситуационной модели управления, уже тогда, в 70-е гг. XX в., системы ситуационного управления (ССУ) имели все признаки современных экспертных систем (ЭС) по меньшей мере 2-го поколения, т.е. динамических ЭС. Это и наличие семиотической модели объекта управления и процессов его функционирования в виде системы правил продукционного типа, и естественно-языковой интерфейс с разработчиками и пользователями, и наличие встроенной логики времени, обеспечивающей работу ССУ в режиме реального времени и моделирования. Это и инструментальные программные средства реализации ССУ на базе языков ЛИСП и РЕФАЛ. Более того, отечественные специали-

ты создавали большие системы и даже внедряли их в практику в составе промышленных АСУ.

*Примеры.*

- Система ситуационного управления «Авиаремонт», выполненная Одесским отделением Института экономики АН УССР как часть АСУ «Авиаремонт» для ЦНИИАСУ (Рига).

- Система ситуационного диспетчерского управления взлетом и посадкой самолетов, разработанная для ВНИИРА (Ленинград).

- Система планирования сеансов спутниковой связи.

- Ряд систем специального назначения и др. [18–22].

На Западе, а затем и в нашей стране, развивались эвристическое программирование (60-е гг. XX в.), *искусственный интеллект* (см.) – ИИ (70-е гг. XX в.), но у нас в стране, за занавесом, плохо представляли, что делается за рубежом. Те, кто имел доступ к американским и западным источникам, не понимали данного направления и считали, что ИИ – это что-то совсем другое и никакого отношения к ситуационному управлению не имеет. Все изменилось в 1975 г., когда в Тбилиси состоялась IV Международная конференция по ИИ, на которую приехали практически все крупные ученые мира в области искусственного интеллекта. Вот тогда стало ясно, что и наши специалисты, и зарубежные практически занимаются одним и тем же, но с разных точек зрения.

Отечественные специалисты шли «сверху» и пытались решить проблемы, методологически и концептуально ясные, но еще не обеспеченные базовыми средствами – ни теоретическими, ни инструментальными. Конференция многим помогла осознать и определить свое место в международном процессе движения к искусственному разуму. На последующих школах, семинарах, всесоюзных симпозиумах по ситуационному управлению уже в 1975 г. были четко сформулированы проблемы, тормозящие развитие ситуационного управления. Это в первую очередь разработка моделей представления знаний и инструментальных систем программной поддержки ССУ.

К 1980 г. существовали десятки ССУ разной степени разработанности. Большинство из них – демонстрационные и исследовательские образцы. Коммерческих образцов не было вообще. До промышленных образцов доводились немногие по ряду причин: отсутствие инструментальных программных систем, доведенных до стадии коммерческих образцов; отсутствие культуры доведе-

ния своих программных средств до коммерческой стадии; отсутствие понимания новой парадигмы в широкой среде разработчиков АСУ; недофинансирование возможности и выгоды создания коммерческих инструментальных систем-оболочек.

Ученые-западники шли к ИИ «снизу», от игр в кубики, крестики-нолики и т.п. Их интересовали интеллектуальные роботы и планирование их поведения. Поэтому эти задачи и сегодня являются классическими при обучении теоретическим основам ИИ. Именно на них были разработаны все основные модели представления знаний: продукционные, семантические сети, фреймы.

С 1977 г. началось расслоение в рядах «ситуационщиков». Школы Д.А. Поспелова, В.А. Вагина, Л.Т. Кузина и некоторые другие, ближе стоявшие к теоретическим исследованиям по роду своего положения (АН СССР, вузы), быстро перестроились на зарубежную терминологию и освоили достижения Запада. Это было легко сделать, поскольку разница была в основном терминологическая.

В начале 80-х гг. появились *экспертные системы* (см.), и тут выяснилось, что по своей сути они вроде бы совпадают с ССУ, как у нас их и представляли. И термин этот оказался более удачным, быстро вошел в моду. В результате уже к началу 90-х гг. XX в. почти все «ситуационщики» занимались ЭС.

Таким образом, получилось, что ситуационное управление сыграло в нашей стране роль основы для большого числа специалистов по *искусственному интеллекту* (см.).

- 1. Пушкин В.Н. Оперативное мышление в больших системах / В.Н. Пушкин. – М.: Энергия, 1965. 2. Ломов Б.Ф. Человек и техника / Б.Ф. Ломов. – М.: Сов. радио, 1966. 3. Зинченко В.П. Формирование зрительного образа / В.П. Зинченко, Н.Ю. Вергилес. – М.: МГУ, 1970. 4. Скороходько Э.Ф. Информационно-поисковая система БИТ / Э.Ф. Скороходько. – Киев: Наукова думка, 1968. 5. Поспелов Д.А. Мышление и автоматы / Д.А. Поспелов, В.Н. Пушкин. – М.: Сов. Радио, 1972. 6. Поспелов Д.А. Принципы ситуационного управления / Д.А. Поспелов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1971. – № 2. – С. 35–39. 7. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами / Ю.И. Клыков. – М.: Энергия, 1974. 8. Шрейдер Ю.А. Семиотические основы информатики / Ю.А. Шрейдер. – М.: ИПКИР, 1974. 9. Апресян Ю.Д. Лексическая семантика / Ю.Д. Апресян. – М.: Наука, 1975. 10. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. 11. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений: подход к изучению естественного и построению искусственного интеллекта /

Е.А. Александров. – М.: Радио и связь, 1975. 12. Загадская Л.С. Моделирование системы управления морским портом методом ситуационной модели / Л.С. Загадская, Ю.И. Клыков. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1974. 13. Загадская Л.С. Практическое применение ситуационной модели управления / Л.С. Загадская, Ю.И. Клыков // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1970. – № 6. – С. 47–54. 14. Загадская Л.С. Методика проектирования ситуационных моделей управления / Л.С. Загадская, О.В. Соколова. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1973. 15. Загадская Л.С. Организация ситуационных моделей управления в режиме обучения / Л.С. Загадская, О.В. Соколова. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1974. 16. Соколова О.В. Описание модульного варианта системы программного обеспечения ситуационного управления / О.В. Соколова, Л.С. Загадская, Ю.И. Клыков. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1974. 17. Хорошевский В.Ф. Принципы создания языка ситуационного управления / В.Ф. Хорошевский, О.В. Соколова, Л.С. Загадская, Ю.И. Клыков. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1974. 18. Загадская Л.С. Реализация базовых процессов в системе ситуационного управления / Л.С. Загадская, В.С. Лозовский, А.И. Сокольников, В.Ф. Горячук. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1980. 19. Пономарев В.Ф. Об одном подходе в семиотическом моделировании транспортных систем / В.Ф. Пономарев, А.В. Колесников, И.А. Кириков. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1980. 20. Жолондзь В.Я. Реализация ситуационной модели управления специальным автотранспортом на базе языка Кобол / В.Я. Жолондзь. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1980. 21. Колесников А.В. Применение ситуационного метода в диспетчерском управлении морским рыбным портом / А.В. Колесников, В.Ф. Пономарев. – М.: Совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1980. 22. Ковригин О.В. Экспертные медицинские диагностирующие системы / О.В. Ковригин, Н.Д. Смольянинов, А.Я. Чмырь // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1982. – № 5. – С. 38–44. 23. Поспелов Д.А. Прикладная семиотика / Д.А. Поспелов, Г.С. Осипов // Новости искусственного интеллекта. – 1999. – № 1. – С. 9–35. Л.С. Болотова

**СЛОЖНАЯ СИСТЕМА.** Первоначально, а иногда и до сих пор термины *большая* и *сложная* система используются как синонимы. Некоторые исследователи даже связывали сложность с числом элементов.

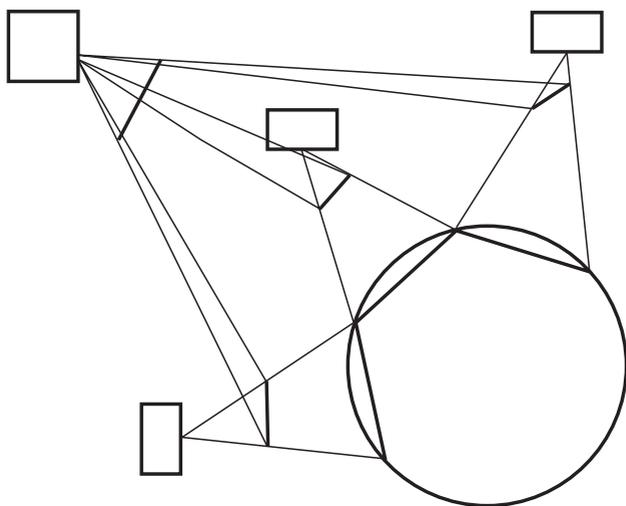
Например, Г.Н. Поваров [2] в зависимости от числа элементов, входящих в систему, выделяет четыре класса систем: *малые* ( $10 \dots 10^3$  элементов), *сложные* ( $10^4 \dots 10^6$ ), *ультрасложные* ( $10^7 \dots 10^{30}$ ), *суперсистемы* ( $10^{30} \dots 10^{200}$ ). В то же время существует точка зрения, что *большие* системы (см.) и *сложные* – это разные классы систем.

При этом некоторые авторы связывают понятие *большая с величиной системы*, числом элементов (часто относительно однородных), а понятие *сложная* – со *сложностью отношений, алгоритмов*, или *сложностью поведения* [2].

Существуют и более убедительные обоснования различия понятий *большая* и *сложная* система. В частности, Ю.И. Черняк *большой системой* называет «такую, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам», а *сложной* – «такую систему, которая строится для решения многоцелевой, многоаспектной задачи» [4, С. 22].

Поясняя эти понятия на примерах, Ю.И. Черняк подчеркивает, что в случае *большой системы* объект может быть описан как бы на одном языке, т.е. с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям, подсистемам. А *сложная система* отражает объект «с разных сторон в нескольких моделях, каждая из которых имеет свой язык», для согласования же этих моделей нужен особый *метаязык*. При этом подчеркивалось наличие у *сложной системы* «сложной, составной цели» или даже «разных целей» и «одновременно многих структур у одной системы (например, технологической, административной, коммуникационной, функциональной и т.д.)» [4, С. 22].

Для того чтобы точнее пояснить понятие *сложной системы*, Ю.И. Черняк иллюстрирует его рисунком.



В последующем Ю.И. Черняк уточняет эти определения, в частности, при определении большой системы вводит понятие «априорно выделенных подсистем» [5, С. 28–29], а при определении сложной системы – понятие «несравнимые аспекты характеристики объекта» и включает в определение необходимость использования «нескольких языков» и «разных моделей» [5, С. 32].

Ю.И. Черняк также в явном виде связывает эти понятия с понятием *наблюдателя* (см.): для изучения большой системы достаточно одного наблюдателя (имеется в виду не число людей, принимающих участие в исследовании или проектировании системы, а относительная однородность их квалификации; например, инженер), а для сложной системы необходимо несколько наблюдателей принципиально разной квалификации (например, инженер-машиностроитель, инженер-автоматчик, инженер-вычислитель, экономист, а возможно, и юрист, психолог и т.д.).

Предлагались различные классификации сложных систем.

Б.С. Флейшман за основу классификации принимает сложность поведения системы [3].

Одна из наиболее полных и интересных классификаций по уровням сложности предложена К. Боулдингом [1] (см. *Классификации систем*).

В классификации К. Боулдинга каждый последующий класс (от простейших неживых до социальных и непознанных систем) включает в себя предыдущий, характеризуется большим проявлением свойств открытости и стохастичности поведения, более ярко выраженными проявлениями закономерностей *иерархичности* (см. *Закономерность иерархичности*) и *историчности* (см. *Закономерность историчности*), а также более сложными «механизмами» функционирования и развития.

В последующем сложность системы стали связывать со сложностью *связей* (см. *Связь*), сложностью их *организованности* (см. *Введение*). К сложным системам относятся *диффузные системы* (см.), *самоорганизующиеся системы* (см.).

- 1. Боулдинг К. Общая теория систем – скелет науки / К. Боулдинг // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 106–124. 2. Методологические проблемы кибернетики: В 2 т. – М.: МГУ, 1970. 3. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б.С. Флейшман. – М.: Сов. радио, 1971. 4. Черняк Ю.И. Анализ и синтез систем в экономике / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1970. 5. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. В.Н. Волкова

**СЛОИ (УРОВНИ СЛОЖНОСТИ)** – вид многоуровневой структуры, предложенный М. Месаровичем для организации процессов принятия решений.

Слой, или уровни сложности, принимаемого решения выделяются для уменьшения неопределенности ситуации. Иными словами, определяется совокупность последовательно решаемых проблем. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышестоящей проблемы определяло бы ограничения (допустимую степень упрощения) при моделировании на нижележащем уровне, т.е. снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы.

Многослойную иерархию можно проиллюстрировать рис. 1: каждый слой представляет собой блок  $D_i$ , принимающий решения и вырабатывающий ограничения  $X_j$  для нижележащего  $(i-1)$ -го блока.

В качестве примера рассмотрим многослойную иерархию принятия решения по управлению каким-либо процессом. В ней можно выделить три основных аспекта проблемы принятия решения в условиях неопределенности, приведенные на рис. 2.

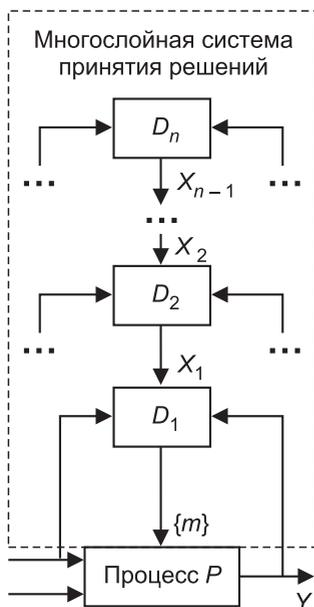


Рис. 1

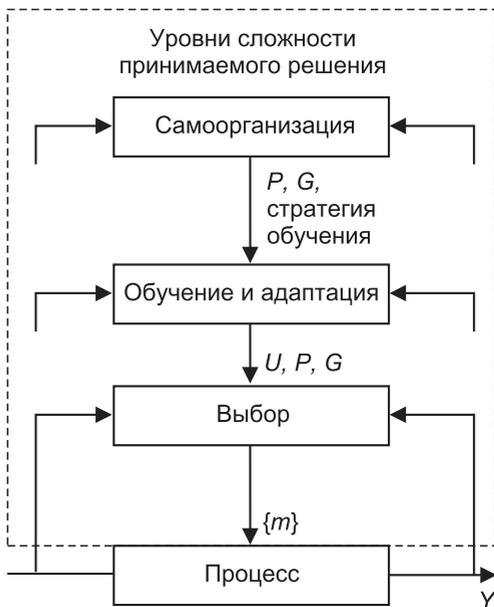


Рис. 2

Нижний слой, самый «близкий» к управляемому процессу, – слой выбора. Задача этого слоя – выбор способа действий  $m$ . Принимающий решения элемент (блок) получает данные (информацию) об управляемом процессе и, применяя алгоритм, полученный на верхних слоях, находит нужный способ действия, т.е. последовательность управляющих воздействий на управляемый процесс. Алгоритм может быть определен непосредственно как функциональное отображение  $D$ , дающее решение для любого набора начальных данных.

Для примера предположим, что заданы выходная функция  $P$  и функция оценки  $G$ , а выбор действий из набора  $\{m\}$  основан на применении к  $P$  оценки  $G$ . Используя теоретико-множественные представления, выходную функцию можно определить как отображение  $P: M \times U \rightarrow Y$ , где  $M$  – множество альтернативных действий,  $Y$  – множество возможных результатов на выходе (или «выходов»),  $U$  – множество неопределенностей, адекватно отражающее отсутствие знаний о зависимости между действием  $m$  и выходом  $Y$ .

Аналогично функция оценки  $G$  есть отображение  $G: M \times Y \rightarrow V$ , где  $V$  – множество величин, которые могут быть связаны с характеристиками качества работы системы. Если множество  $U$  состоит из единственного элемента или является пустым, т.е. относительно результата на выходе для данного действия  $m$  нет неопределенности, выбор может основываться на оптимизации: найти такое  $m'$  в  $M$ , чтобы величина  $v' = G(m', P(m'))$ , была меньше, чем  $v = G(m, P(m))$ , для любого другого действия  $m \in M$ . Если  $U$  – более богатое множество, приходится предлагать некоторые другие процедуры для выбора способа решения. Возможно, при этом придется ввести и некоторые другие отображения, помимо  $P$  и  $G$ . Но в общем случае для того, чтобы определить задачу выбора на первом слое, необходимо уточнить множество неопределенностей  $U$ , требуемые отношения  $P$ ,  $G$  и т.д. Это осуществляется на верхних слоях.

Вышележащий по отношению к рассматриваемому слою – *слой обучения*, или *адаптации*. Задача этого слоя – конкретизировать множество неопределенностей  $U$ , с которым имеет дело слой выбора. Это множество  $U$  рассматривается здесь как множество, включающее в себя все незнание о поведении системы и отражающее все гипотезы о возможных источниках и типах таких неопределенностей.  $U$  может быть получено с помощью наблюдений и внешних источников информации. Назначение рассматриваемого слоя – сузить множество неопределенностей  $U$  и таким образом упростить модель слоя выбора. В случае стационарности системы и среды множество  $U$  может быть предельно сужено, вплоть до одного элемента, что соответствует идеальному обучению. Однако в общем случае  $U$  может включать не только существующие, но и предполагаемые системой принятия решения неопределенности, и в случае необходимости  $U$  может быть полностью изменено, расширено, в том числе за счет изменения ранее принятой базисной гипотезы.

Третий, в данном случае верхний – *слой самоорганизации*. На этом слое выбирают структуру, функции и стратегию, используемые на нижележащих слоях, таким образом, чтобы по возможности приблизиться к отображению цели, которая обычно задается в форме вербального описания. Если цель не достигается, могут быть изменены функции *P* и *G* на первом слое или стратегия обучения – на втором.

Многослойные системы принятия решений полезно формировать для решения задач планирования и управления промышленными предприятиями, отраслями, народным хозяйством в целом. При постановке и решении таких проблем нельзя раз и навсегда определить цели, выбрать конкретные действия: экономические и технологические условия производства непрерывно изменяются. Все это можно отразить в многослойной модели принятия решений.

Примером приложения идеи выделения слоев могут служить многоуровневые экономико-математические модели планирования и управления отраслями, народным хозяйством, разработанные в нашей стране в 70–80-х гг. XX в. ([2] и др.), а позднее – и промышленными предприятиями (см., например, работы В.А. Дуболазова [3], гл. 5 в [4] и др.).

- 1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахаха. – М.: Мир, 1973. 2. Многоуровневые модели перспективного планирования/Под ред. А.М. Алексеева. – М.: Экономика, 1979. 3. Соколицын С.А. Многоуровневая система оперативного управления ГПС / С.А. Соколицын, В.А. Дуболазов, Ю.Н. Домченко. – Л.: Политехника, 1991. 4. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов/Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. В.Н. Волкова

**СМЕШАННЫЕ ИЕРАРХИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СВЯЗЯМИ.** В реальных системах организационного управления (особенно на уровне региона, государства) может быть использовано одновременно несколько видов иерархических структур – от древовидных до многоэшелонных. Такие структуры называли *смешанными*. При этом основой объединения структур могут служить *страты* (см.), и поэтому в принципе можно считать их развитием стратифицированного представления.

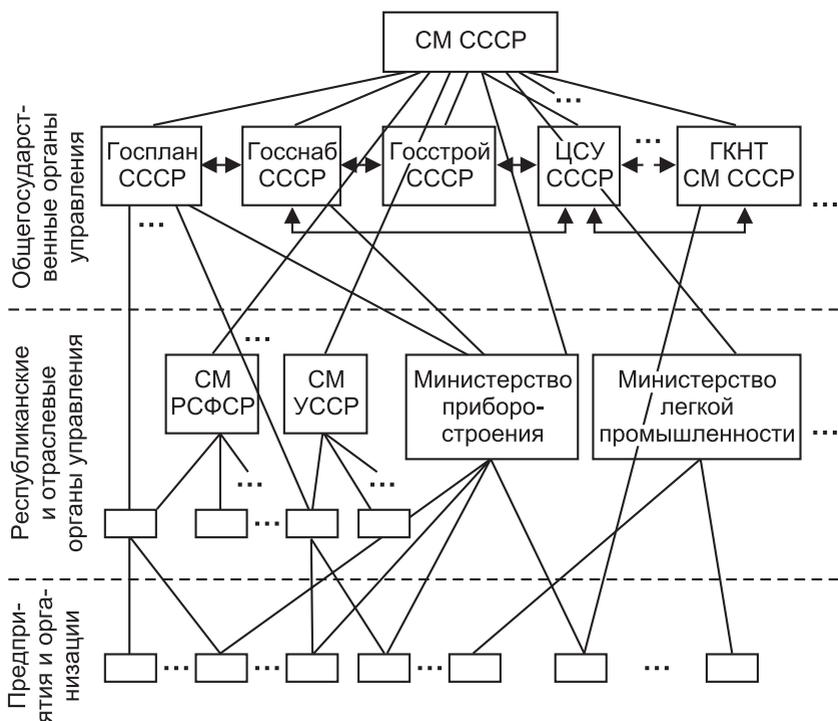
В таких смешанных иерархических структурах могут быть как вертикальные связи разной силы (управление, координация), так

и горизонтальные взаимодействия между элементами (подсистемами) одного уровня.

Впервые идея структур такого вида предложена В.М. Глушковым при разработке общегосударственной автоматизированной системы управления (ОГАС) [3, С. 141].

В качестве примера приведем модель структуры управления государством, которая была положена в основу концепции ОГАС. В нашей стране управление всегда осуществлялось с использованием смешанного территориально-отраслевого принципа. В соответствии с этим принципом органы территориального и отраслевого управления не могут рассматриваться как подчиненные одни другим. Это всегда затрудняло графическое представление структуры управления страной, особенно оно проявилось в связи с необходимостью представления структуры функциональной части ОГАС, что и потребовало применения нового вида структур.

На рисунке приведена упрощенная структура взаимоотношения между государственными, республиканскими и отраслевыми органами управления и предприятиями и организациями, существовавшая в СССР в 70-е гг. XX в.



За основу принято многоуровневое представление: на верхнем уровне расположены общегосударственные (территориальные) и отраслевые органы управления (отраслевые министерства); на среднем – республиканские (союзных республик) органы управления, в числе которых нередко были и республиканские отраслевые министерства; на нижнем – предприятия и организации. Для простоты на рисунке не показан еще один уровень управления – региональный, т.е. уровень областей, краев, автономных республик. В этой структуре существовала древовидная иерархическая подчиненность исполнительных органов управления регионального, республиканского и общегосударственного уровней. В частности, Госплан СССР имел аналогичные органы управления в союзных республиках, при усилении принципа регионального управления в период реформ 70-х гг. – плановые комиссии при исполнительных органах управления областями, краями и т.д. Аналогично функционировали Госнаб и ряд других общегосударственных органов управления.

В то же время предприятия и организации имели, как правило, двойное подчинение отраслевым министерствам и территориальным (региональным, республиканским) органам управления, т.е. действовала иерархия со «слабыми» связями (см. *Иерархическая система*).

В свою очередь, между общегосударственными органами управления при принятии решений по сложным проблемам устанавливались горизонтальные взаимодействия для согласования решений, взаимного обмена информацией и т.д. Аналогичные связи существовали между соответствующими органами республиканского управления. В период предоставления большей самостоятельности регионам и развития хозяйственной самостоятельности предприятий (хозрасчет, самофинансирование и т.п.) горизонтальные связи стали возникать и на нижних уровнях. Представление структуры организационного управления страной в форме, подобной рисунку, помогает принимать решения о преобладании в разные периоды развития экономики разных принципов – территориального и отраслевого.

Разумеется, на рисунке иллюстрирован только общий принцип взаимоотношений между различными органами управления страной, а реальная структура формируется с помощью соответствующих нормативно-правовых и нормативно-методических документов, в которых регламентируются конкретные взаимодействия между органами управления.

Смешанный характер носит и *организационная структура* (см.) современного предприятия (объединения, акционерного общества и т.п.). Линейный принцип управления реализуется в оргструктурах с помощью древовидных иерархических структур; линейно-функциональные оргструктуры представляют собой иерархию со «слабыми» связями; программно-целевые структуры основаны на приоритете горизонтальных связей; матричные (тензорные) – на равноправии составляющих многомерной организационной структуры.

- 1. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов/Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 40–43. 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 43–44. 3. Глушков В.М. Что такое ОГАС? / В.М. Глушков, В.Я. Валях. – М.: Наука, 1981. В.Н. Волкова

**СОСТОЯНИЕ** – понятие, с помощью которого обычно характеризуют мгновенную фотографию, «срез» системы, остановку в ее развитии. Его определяют либо через входные воздействия и выходные сигналы (результаты), либо через макропараметры, макросвойства системы (давление, скорость, ускорение). Так, говорят о состоянии покоя (стабильные входные воздействия и выходные сигналы), о состоянии равномерного прямолинейного движения (стабильная скорость) и т.д.

Если рассмотреть элементы  $a$  (компоненты, функциональные блоки), учесть, что «входы» можно разделить на управляющие  $u$  и возмущающие  $x$  (неконтролируемые) и что «выходы» (выходные результаты) зависят от  $a$ ,  $u$  и  $x$ , т.е.  $g = f(a, u, x)$ , то в зависимости от задачи состояние может быть определено как  $\{a, u\}$ ,  $\{a, u, g\}$  или  $\{a, u, x, g\}$ .

Если система способна переходить из одного состояния в другое (например,  $s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow \dots$ ), то говорят, что она обладает поведением (см. Введение).

Состояние, которое система в отсутствие внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) способна сохранять сколь угодно долго, называют состоянием равновесия (см. Введение).

- 1. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов/Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 43. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 2-е, 1999. – С. 30. В.Н. Волкова

**СРЕДА.** На первых этапах системного анализа важно уметь отделить (ограничить, как иногда предлагают называть этот первый этап исследователи систем, чтобы точнее его определить) систему от среды, с которой взаимодействует система. Иногда даже определения системы, применяющиеся на начальных этапах исследования, базируются на отделении системы от среды

(см., напр., определения Дж. Миллера, А. Раппопорта, Л.А. Блумфельда в [4]).

Частным случаем выделения системы из среды является определение ее через *входы* и *выходы*, посредством которых система общается со средой. В кибернетике и теории систем такое представление системы называют «*черным ящиком*» (см.). На этой модели базировались начальное определение системы У.Р. Эшби [7], определения Д. Эллиса и Ф. Людвига, Р. Кершнера, Дж. Клира и М. Валяха (см. ссылки на их работы в [4]).

Сложное взаимодействие системы с ее окружением отражено в определении В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина, данным ими во вступительной статье к [2, С. 12]: «...2) она образует особое единство со средой; 3) как правило, любая исследуемая система представляет собой элемент системы более высокого порядка; 4) элементы любой исследуемой системы, в свою очередь, обычно выступают как системы более низкого порядка».

Это определение является основой *закономерности коммуникативности* (см.). Соплосуется с этим определением и развивает его предлагаемое в одной из *методик системного анализа целей* (см.) разделение сложной среды на надсистему, или вышестоящие системы; нижележащие, или подведомственные системы; системы актуальной, или существенной среды (см. *Методика структуризации целей и функций, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание*).

Такому представлению о среде соответствует определение, предложенное А.Д. Холлом и Р.Е. Фейджином [2, С. 258]: «Для данной системы окружающая среда есть совокупность всех объектов, изменение свойств которых влияет на систему, а также тех объектов, чьи свойства меняются в результате поведения системы».

Выделяет систему из среды *наблюдатель* (см.), который отделяет (отграничивает) элементы, включаемые в систему, от остальных, т.е. от среды, в соответствии с целями исследования (проектирования) или предварительного представления о проблемной ситуации.

При этом возможны три варианта положения «*наблюдателя*» (см.) [1, 5, 6], который:

1) может отнести себя к среде и, представив систему как полностью изолированную от среды, строить замкнутые модели (в этом случае среда не будет играть роли при исследовании модели, хотя может влиять на ее формирование);

2) включить себя в систему и моделировать ее с учетом своего влияния и влияния системы на свои представления о ней (ситуация, характерная для экономических систем);

3) выделить себя и из системы, и из среды и рассматривать систему как открытую, постоянно взаимодействующую со средой, учитывая этот факт при моделировании (такие модели необходимы для развивающихся систем).

В последнем случае практически невозможно учесть все объекты, не включенные в систему и отнесенные к среде; их множество необходимо сузить с учетом цели исследования, точки зрения наблюдателя (ЛПР) путем анализа взаимодействия системы со средой, включив этот «механизм» анализа в методику моделирования (что и делается в методиках системного анализа).

Уточнение, или конкретизация определения системы в процессе исследования влечет за собой соответствующее уточнение ее взаимодействия со средой и определение среды. В этой связи важно прогнозировать не только состояние системы, но и состояние среды. В последнем случае следует учитывать неоднородность среды, наряду с естественно-природной средой существуют искусственные – техническая среда созданных человеком машин и механизмов, экономическая среда, информационная, социальная среда.

В процессе исследования граница между системой и средой может деформироваться. Уточняя модель системы, наблюдатель может выделять в среду некоторые составляющие, которые он первоначально включал в систему. И, наоборот, исследуя корреляцию между компонентами системы и среды, он может посчитать целесообразным выделять среды, имеющие сильные связи с элементами системы, включить в систему.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997, 2-е изд., 1999. – С. 21–22. 2. Исследования по общей теории систем: Сб. переводов/Под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – С. 12, 258–260. 3. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 538–539. 4. Садовский В.Н. Основания общей теории систем: логико-методологический анализ / В.Н. Садовский. – М.: Наука, 1974. 5. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов/Под ред. С. А. Валуева, В. Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 29–30. 6. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. – С. 23. 7. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Инстр. лит, 1959.

*В.Н. Волкова*

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ** – класс методов формализованного представления систем, которые применяются в тех случаях, когда предварительный анализ проблемной ситуации показывает, что она не может быть представлена в виде *хорошо организованной системы* (см.), тогда рекомендуется представить ситуацию в виде *плохо организованной, или диффузной, системы* (см.) и обратиться прежде всего к статистическим методам.

Статистические представления сформировались как самостоятельное научное направление в середине XX в., хотя возникли значительно раньше (с историей становления статистических представлений можно ознакомиться, например, в [11, 14]).

Основу этих представлений составляет отображение явлений и процессов с помощью случайных (стохастических) событий и их поведения, которые описываются соответствующими вероятностными (статистическими) характеристиками и статистическими закономерностями.

Термин *стохастические* уточняет понятие *случайный*, которое в обыденном смысле принято связывать с отсутствием причин появления событий, с появлением не только повторяющихся и подчиняющихся каким-то закономерностям, но и единичных событий; процессы же, отображаемые статистическими закономерностями, должны быть жестко связаны с заранее заданными, определенными причинами, а случайность означает, что они могут появиться или не появиться при наличии заданного комплекса причин.

Статистические отображения системы в общем случае (по аналогии с аналитическими) можно представить [4, 5, 6] (см. символический образ на рис. 1) как бы в виде «размытой» точки (размытой области) в  $n$ -мерном пространстве, в которую переводит систему (ее учитываемые в модели свойства) оператор  $\Phi[S_x]$ . «Размытую» точку следует понимать как некоторую область, характеризующую движение системы (ее поведение); при этом границы области заданы с некоторой вероятностью  $p$  (под вероятностью события понимается  $p(A) = m/n$ , где  $m$  – число появлений события  $A$ ,  $n$  – общее число опытов; если при  $n \rightarrow \infty$  ( $m/n \rightarrow \text{const.}$ ), т.е. «размыты», и движение точки описывается некоторой случайной функцией.

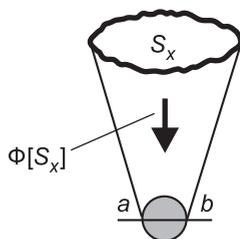


Рис. 1

Закрепляя все параметры этой области, кроме одного, можно получить срез по линии  $a - b$ , смысл которого – воздействие данного параметра на поведение системы, что можно описать статистическим распределением по этому параметру. Аналогично можно получить двухмерную, трехмерную,  $n$ -мерную картины статистического распределения.

Статистические закономерности можно представить в виде дискретных случайных величин и их вероятностей или в виде непрерывных зависимостей распределения событий, процессов.

Для дискретных событий соотношение между возможными значениями случайной величины  $x_i$  и их вероятностями  $p_i$  называют законом распределения и либо записывают их в виде ряда (таблица), либо представляют в виде зависимостей  $F(x)$  (рис. 2, а) или  $p(x)$  (рис. 2, в).

$X$	$x_1$	$x_2$	...	$x_i$	...	$x_n$
$p(x)$	$p_1$	$p_2$	...	$p_i$	...	$p_n$

При этом

$$F(x) = \sum_i p_i(x_i). \quad (1)$$

Для непрерывных случайных величин (процессов) закон распределения представляют (соответственно дискретным законам) либо в виде функции распределения (интегральный закон распределения – рис. 2, б), либо в виде плотности вероятностей (дифференциальный закон распределения – рис. 2, в). В этом случае  $p(x) = dF(x)/dx$  и  $\Delta F(x) = p(x)\Delta x$ , где  $p(x)$  – вероятность попадания случайных событий в интервал от  $x$  до  $x+\Delta x$ .

Для полной группы несовместных событий имеют место условия нормирования:

функции распределения

$$\sum_{i=1}^n p_i(x_i) = 1 \quad (2)$$

и плотности вероятности

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x)dx = F(\infty) - F(-\infty) = 1 - 0 = 1. \quad (2a)$$

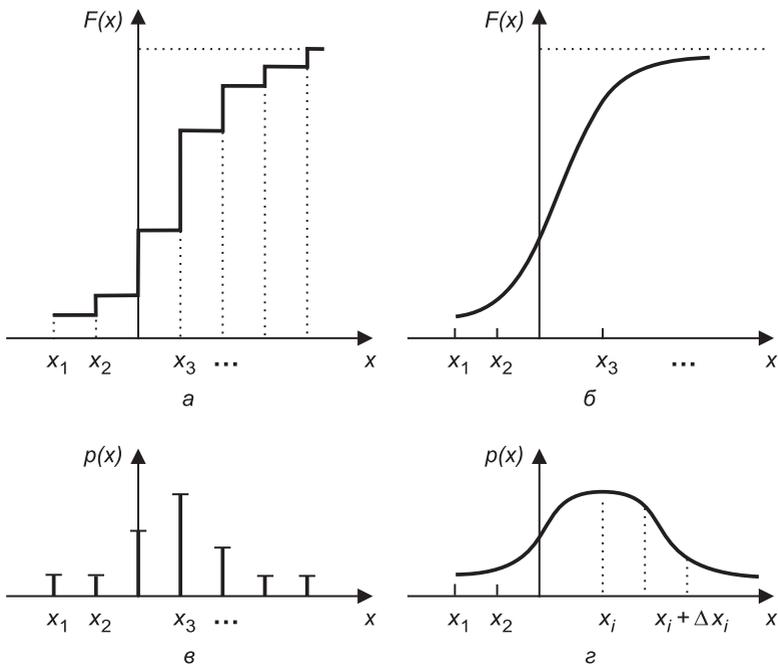


Рис. 2

В монографиях и учебниках применяют тот или иной вид зависимостей, приведенных на рис. 2, более подходящий для соответствующих приложений.

Закон распределения является удобной формой статистического отображения системы. Однако получение закона (даже одномерного) или определение изменений этого закона при прохождении через какие-либо устройства или среды представляет собой трудную, часто невыполнимую задачу. Поэтому в ряде случаев пользуются не распределением, а его характеристиками – начальными и центральными моментами.

Наибольшее применение получили:

1-й начальный момент – математическое ожидание, или среднее значение случайной величины

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i p_i(x_i) \quad \text{– для дискретных величин,} \quad (3)$$

$$m_x = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx \quad \text{– для непрерывных величин;}$$

2-й центральный момент – дисперсия случайной величины:

$$\begin{aligned}\sigma_x^2 &= \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i(x_i) \quad \text{– для дискретных величин;} \\ \sigma_x^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 p(x) dx \quad \text{– для непрерывных величин.}\end{aligned}\tag{4}$$

На практике иногда используется не дисперсия  $\sigma_x^2$ , а среднее квадратическое отклонение  $\sigma_x$ .

Связь между системами в общем случае характеризуется ковариацией – моментом связи, для двумерного распределения обозначаемой  $\text{cov}(x, y)$ , или  $m_{xy}$ , или  $M[(x - m_x)(y - m_y)]$ .

Можно использовать ковариацию нормированных отклонений – коэффициент корреляции

$$r = \text{cov}(x', y') - M \left[ \frac{(x - m_x)(y - m_y)}{\sigma_x \sigma_y} \right],\tag{5}$$

где  $x' = (x - m_x)/\sigma_x$ ,  $y' = (y - m_y)/\sigma_y$  – нормированные отклонения;  
 $\sigma_x, \sigma_y$  – среднеквадратические отклонения.

Практическое применение получили в основном одномерные распределения, что связано со сложностью получения статистических закономерностей и доказательства адекватности их применения для конкретных приложений, которое базируется на понятии *выборки*.

Под *выборкой* понимается часть изучаемой совокупности явлений, на основе исследования которой получают статистические закономерности, присущие всей совокупности и распространяемые на нее с какой-то вероятностью.

Для того чтобы полученные при исследовании выборки закономерности можно было распространить на всю совокупность, выборка должна быть представительной (репрезентативной), т.е. обладать определенными качественными и количественными характеристиками. Качественные характеристики связаны с содержательным аспектом выборки, т.е. с определением, являются ли элементы, входящие в выборку, элементами исследуемой совокупности, правильно ли отобраны эти элементы с позиции цели исследования (с этой точки зрения выборка может быть случайной, направленной или смешанной). Количественные характеристики представительности выборки связаны с определением объема выборки, достаточного для того, чтобы на основе ее ис-

следования можно было делать выводы о совокупности в целом; уменьшение объема выборки можно получить на основе эргодического свойства, т.е. путем увеличения длительности статистических испытаний (в большинстве практических случаев вопрос о количественных характеристиках выборки является предметом специального исследования).

На базе статистических представлений развивается ряд математических теорий:

- теория вероятностей и математическая статистика [3, 12, 15 и др.], объединяющая различные методы статистического анализа (регрессионный, дисперсионный, корреляционный, факторный и т.п.);

- теория статистических испытаний, основой которой является метод Монте-Карло, а развитием – теория статистического имитационного моделирования;

- теория выдвижения и проверки статистических гипотез, возникшая для оценки процессов передачи сигналов на расстоянии и базирующаяся на общей теории статистических решающих функций А.Вальда [2]. Частным случаем теории выдвижения гипотез, важным для теории систем, является байесовский подход к исследованию процессов передачи информации в процессах общения, обучения и других ситуациях в организационных системах;

- теория потенциальной помехоустойчивости, начала которой положены работами В.А. Котельникова [10], проводившимися независимо от теории решающих функций;

- обобщающая последние два направления теория статистических решений, в рамках которой, в свою очередь, возник ряд интересных и полезных для практики направлений.

Перечисленные направления в большинстве своем носят теоретико-прикладной характер и возникали из потребностей практики. Однако есть и ряд дисциплин, которые носят более выраженный прикладной характер. В их числе – статистическая радиотехника, статистическая теория распознавания образов, экономическая статистика, теория массового обслуживания, а также развившиеся из направлений, возникших на базе аналитических представлений, стохастическое программирование, новые разделы теории игр и т.п.

Расширение возможностей отображения сложных систем и процессов по сравнению с аналитическими методами можно

объяснить тем, что в случае применения статистических представлений процесс постановки задачи как бы частично заменяется статистическими исследованиями, позволяющими, не выявляя все детерминированные связи между изучаемыми объектами (событиями) или учитываемыми компонентами сложной системы, на основе выборочного исследования (исследования репрезентативной выборки) получать статистические закономерности и распространять их на поведение системы в целом.

Однако не всегда можно получить статистические закономерности, не всегда может быть определена репрезентативная выборка, доказана правомерность применения статистических закономерностей. Если же не удастся доказать репрезентативность выборки или для этого требуется недопустимо большое время, то применение статистических методов может привести к неверным результатам.

В таких случаях целесообразно обратиться к методам, объединяемым под общим названием – методы дискретной математики, которые помогают разрабатывать языки моделирования, модели и методики постепенной формализации процесса принятия решения.

Статистические и теоретико-множественные методы инициировали возникновение теории «размытых» множеств Л. Заде [9], которая, в свою очередь, явилась началом развития нового направления – теории нечетких формализаций (см. *Нечеткие, или размытые, множества*) и т.д.

Отметим, что понятия исходных направлений не всегда сохраняются в неизменном виде; в частности, в теории Заде дается иная трактовка понятия *вероятности* (см.) по сравнению со статистической.

- 1. Архитектура математики/Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Знание, 1972.
- 2. Вальд А. Статистические решающие функции / А.Вальд // Сб.: Теория игр. Позиционные игры/Под ред. Н.Н. Воробьева и И.Н. Врублевской. – М.: Наука, 1997.
- 3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972.
- 4. Волкова В.Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974.
- 5. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 96–101.
- 6. Волкова В.Н. Методы формализованного представления систем: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. – СПб.: СПбГТУ, 1993.
- 7. Гнеденко Б.В. Математика в современном мире / Б.В. Гнеденко. – М.: Просвещение, 1980.
- 8. Денисов А.А. Теория больших систем управления: учеб. пособие для вузов / А.А. Денисов, Д.Н. Колес-

ников. – Л.: Энергоиздат, 1982. 9. Заде Л. Теория линейных систем / Л. Заде, Г. Дзоер. – М.: Наука, 1970. 10. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости / В.А. Котельников. – М.: Госэнергоиздат, 1956. 11. Рыбников К.А. История математики: учебник / К.А. Рыбников. – М.: Изд-во МГУ, 1994. 12. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский. – Киев: Техніка, 1977. 13. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов/Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 14. Стройк Д.Я. Краткий очерк истории математики / Д.Я. Стройк. – М.: Наука, 1990. 15. Юл Д. Э. Теория статистики / Д.Э. Юл, М. Г. Кендал. – М.: ЦСУ, 1960.

*В.Н. Волкова*

**СТЕПЕНЬ ЦЕЛЕСООТВЕТСТВИЯ** – понятие, введенное в прикладных задачах применения *информационного подхода к анализу систем* (см.) [1, 5].

В соответствии с этим подходом введена оценка *логической информации* (см.), или *потенциала* в форме [5]:

$$H_{ri} = -q_i \log p_i, \quad (1)$$

где  $p_i$  – вероятность недостижения цели при использовании оцениваемой компоненты;

$q_i$  – вероятность использования  $i$ -й компоненты в системе в процессе ее функционирования, управления.

Для удобства оценки степени влияния  $i$ -й компоненты (технического, программного средства, варианта устройства и т.п. или их совокупности) на реализацию целей системы предложено использовать сопряженную вероятность  $(1-p_i')$ :

$$H_{ri} = -q_i \log(1-p_i'), \quad (2)$$

где  $p_i'$  – вероятность достижения цели при использовании оцениваемой компоненты, т.е. собственно степень целесообразности.

Логарифмическая форма оценки целесообразности  $H_{ri}$  названа в [5] прагматической информацией, учитывает не только степень достижения цели  $p_i'$ , но и вероятность использования  $q_i$  оцениваемой компоненты, что важно для практических приложений.

Оценка степени целесообразности используется в ряде *методов организации сложных экспертиз* (см.) [1–4, 5, 7 и др.].

• 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е, 2003. – С. 57, 205–212. 2. Волкова В.Н. Методы организации сложных экспертиз: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во

СПбГТУ, 1998. 3. Волкова В.Н. Применение методов и моделей системного анализа при управлении проектами: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 4. Волкова В.Н. Применение системного анализа при управлении созданием и развитием предприятий и организаций: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.В. Кукушкин, С.В. Широкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 5. Денисов А.А. Информационные основы управления / А.А. Денисов. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. 6. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов/Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 7. Широкова С.В. Разработка информационных моделей системного анализа проектов сложных технических комплексов: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1994. А.А. Денисов

**СТОХАСТИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (СП)** – раздел теории оптимизации, посвященный изучению и решению экстремальных задач, в которых отсутствует точная информация о значениях целевой функции и/или ограничениях. В таких задачах обычно целевая функция и/или ограничения зависят от одного или нескольких случайных параметров.

Термин *стохастическое программирование* появился в начале 50-х гг. XX в., когда Данциг, Чарнс и Купер стали анализировать задачи *линейного программирования* (см.) со случайными коэффициентами, возникающие при планировании в ситуациях с неопределенностью и риском.

При решении задач СП нельзя обойтись детерминированными методами и приходится использовать специальные стохастические процедуры. В задачах СП максимизации или минимизации обычно подлежит некоторая характеристика случайной функции, например ее математическое ожидание. При этом в некоторых постановках задач СП допускается выполнение ограничения в виде равенства (или неравенства) с некоторой положительной вероятностью.

- 1. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования / Ю.М. Ермольев. – М.: Наука, 1976. 2. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации / Д.Б. Юдин. – М.: Сов. радио, 1974. В.Д. Ногин

**СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ (СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ)** – термин, который стал широко использоваться в экономике и управлении предприятиями и организациями в 60–70-е гг. XX в.

Первые системы планирования в мировой практике (1900–1950 гг.) были основаны на составлении ежегодных финансовых смет-бюджетов по статьям расходов на различные цели. Их главная задача состояла в управлении издержками. В этот период развития хозяйственных отношений осуществление финансового планирования считалось достаточным условием для эффективного функционирования экономических субъектов. В развитии методологии стратегического менеджмента (СМ) этот этап называют «управление на основе контроля над исполнением», при этом возможная реакция организаций на изменения определялась после совершения событий.

В 1950–1970 гг. с ускорением темпов экономического развития и соперничества компании не могут больше полагаться на формирование бюджета, как на систему подготовки к решению будущих конкурентных проблем. Чтобы повысить конкурентоспособность в новых условиях, они перешли к долгосрочному планированию, которое быстро доказало свою полезность и было принято большинством крупных и значительным числом средних фирм. На данном этапе методология процесса управления базировалась на основе «экстраполяции прошлых тенденций».

Основоположником СМ считают И.Ансоффа [1, 15], который предложил новую концепцию стратегического планирования, основанную не на прогнозе вероятностных тенденций развития организации, а на предпринимательском подходе.

По мере нарастания кризисных явлений (энергетический кризис 1970 г.), ужесточения конкуренции прогнозы на основе экстраполяции перестали отвечать требованиям динамично меняющейся внешней среды. Финансовое и долгосрочное планирование интегрировалось в стратегическое планирование, назначение которого заключалось в определении будущей рыночной позиции, чтобы компания могла адекватно отреагировать на ее изменения. Новый метод получил название «управление на основе предвидения изменений».

В 1970–1990 гг. западные фирмы переходят от стратегического планирования к СМ своей деятельности, который также называют рыночным, подчеркивая при этом внешнюю ориентацию управления организацией. Такой подход к управлению позволяет хозяйствующим субъектам перейти от реактивной формы управления (принятие управленческих решений как реакция на текущие проблемы) к управлению на основе анализа и прогнозов.

Это позволяет не только реагировать на изменения внешней среды, но и создавать их, влиять на них. Использование термина «стратегический менеджмент» вместо термина «стратегическое планирование» подразумевает акцент на предпринимательском подходе и учете заинтересованности сотрудников организации.

Методологический принцип современного стратегического управления заключается в построении стратегии не от прошлого к настоящему, а от будущего через прошлое к настоящему.

Таким образом, возникновение методологии стратегического управления, как и *инновационного менеджмента* (см.), принято рассматривать с позиции эволюции систем планирования как реакции хозяйствующих субъектов на усложнение внешних условий ведения бизнеса.

Термин «стратегия» заимствован из военного лексикона и в различных определениях трактуется неоднозначно: в одних – как определение *целей* (см.), т.е. перспективных (стратегических) направлений деятельности предприятия с учетом его предназначения (миссии); в других – как отображение целей, в форме плана (т.е. с указанием сроков, исполнителей и других условий реализации целей); в третьих – как нахождение путей достижения целей; в четвертых – как выбор методов, набор правил для принятия решений или даже выбор средств для достижения целей.

Иными словами, термин «стратегия» используется на всех этапах принятия решений – от формулирования целей до выбора методов и средств их реализации.

Имеются рекомендации об определении перечня этапов на основе анализа основных принципов и условий СМ.

Так, Б. Карлоф [4] считает необходимыми для реализации стратегического управления пять условий: 1. Умение моделировать ситуацию на основе целостного представления. 2. Способность выявить необходимость изменений (с учетом многообразия переменных – от эффективности производственных затрат до дифференциации диапазона продукции, включая оценку качества продукции, риска и т.п.). 3. Способность разрабатывать стратегию изменений. 4. Способность использовать в ходе изменений надежные методы. 5. Способность воплощать стратегию в жизнь.

Эти условия также можно рассматривать как этапы стратегического управления.

На всех этапах СМ могут быть использованы подходы, методы и методики системного анализа. И в то же время достижения,

подходы, выработанные в теории СМ независимо от теории систем, практический опыт, отраженный в конкретных рекомендациях, содержащихся в работах по СМ, полезны для развития системного анализа.

Основные из них следующие.

**Миссия и стратегические цели.** Первоочередной задачей СМ является устойчивое присутствие на перспективных и стабильных рынках с конкурентоспособной по цене, качеству и методам продвижения продукцией разнообразного и непрерывно совершенствующегося (с учетом потребностей рынка) ассортимента.

*Миссия* – это понятие, которое иногда используют как определение цели или концепции бизнеса. Рассматриваются также модели, в соответствии с которыми имеет место последовательность «миссия – концепция – цель» [9]. При этом исследователи отмечают сложность работы с понятием *цель*, и поэтому предлагают понятия, заменяющие этот термин другими, применительно к выбору основных направлений деятельности предприятия.

В настоящее время все более широкое распространение получает использование понятия *ключевой компетенции*, которое удобнее трактуется на практике, чем достаточно сложное понятие *цель* (см.), и вносит важный вклад в приближение теории целеобразования к практике управления конкретными предприятиями и организациями.

**Ключевая компетенция.** Д. Кэмпбел [5] определяет компетенцию как свойство или ряд свойств, присущий всем или большинству компаний отрасли. Лишь обладая ими, организация может участвовать в предпринимательской деятельности. А ключевая (стержневая) компетенция – это отличительная особенность, свойство или ряд свойств, специфичных для конкретной организации, которая позволяет производить товары качеством выше среднего и использовать свои ресурсы и компетенции более эффективно.

В качестве основных свойств ключевой компетенции рассматривают: потенциальный доступ к разным рынкам; добавление значительной потребительной стоимости конечному продукту; возможность использования ее только в рамках определенной бизнес-системы; незаменимость – не может быть заменена другой компетенцией и др.

Выявление ключевых компетенций рассматривается как одно из главных составляющих успеха организации, неотъемлемая часть СМ, поскольку именно благодаря ей компания способна

удерживать свое положение на рынке и побеждать конкурентов. Определение конкурентного преимущества выступает как основная цель бизнес-стратегии. Ключевая компетенция обуславливает предприятию лидерство на рынке, и чтобы не утратить это лидерство, надо все время защищать и совершенствовать свои преимущества. Чтобы правильно оценивать ситуацию и эффективно корректировать свои действия, необходимо понимать, что ключевая компетенция формируется из ряда компетенций, составляющих основу деятельности предприятия. Для анализа ключевых компетенций развивается направление управления ими (Competence Management).

**Основные принципы формирования ключевой компетенции.** При определении ключевой компетенции учитываются две основные категории: ресурсы и компетенции, которые образуют внутренние условия организации, представляющие собой совокупность производственно-технологических, финансово-экономических, социокультурных, организационно-технических и административных условий. Моделирование внутренних условий закладывает принципиальную основу для дальнейшего анализа. Совместно с внешними условиями (экономическими, политико-правовыми, социокультурными, технологическими) они определяют набор ресурсов, доступных организации, а также форму и содержание ее бизнес-процессов, в результате которых появляется продукт, удовлетворяющий общественные потребности.

В основе любой стратегии должны лежать конкурентные преимущества. Они позволяют предприятию иметь рентабельность выше средней для фирм данной отрасли или данного рыночного сегмента (что обеспечивается более высокой эффективностью использования ресурсов) и завоевывать прочные позиции на рынке. При выработке стратегии конкуренции необходимо, с одной стороны, иметь ясное представление о сильных и слабых сторонах деятельности предприятия, его позиции на рынке, а с другой – понимать структуру национальной экономики в целом и отрасли, в которой работает предприятие. В историческом аспекте теория конкурентных преимуществ пришла на смену теории сравнительных преимуществ. Сравнительные преимущества, лежащие в основе конкурентоспособности страны или фирмы, определяются наличием и использованием находящихся в изобилии факторов производства, таких, как трудовые и сырьевые ресурсы, капитал, инфраструктура и т.д. Но по мере развития технологических инноваций и глобализации бизнеса изменяется структура международной конкуренции, и на смену сравнительным преимуществам приходит новая парадигма – конкурентные преимущества. Это означает следующее.

Преимущества изменяются под воздействием инновационного процесса (изменяются технологии производства, методы управления, способы доставки и сбыта продукции и т.д.). Поэтому для удержания конкурентных преимуществ требуется постоянное внедрение нововведений (см. *Инновационный менеджмент*).

Глобализация бизнеса вынуждает компании учитывать национальные и международные интересы. Государство, территория рассматриваются как основа стратегии компании, а не только как место, где компания осуществляет свою деятельность.

Таким образом, источниками ключевой компетенции являются: структура, репутация, инновации, стратегические активы.

Выбор ключевой компетенции – сложный процесс, включающий в себя рассмотрение многих аспектов в комплексе. Прежде всего фирма должна проанализировать пять конкурентных сил: потенциальных участников рынка, покупателей, поставщиков, товары-субституты, конкурентов. Ключевые компетенции могут иметь разнообразные формы в зависимости от специфики отрасли, товара и рынка. При определении ключевых компетенций важно ориентироваться на запросы потребителей и убедиться в том, что эти преимущества воспринимаются ими как таковые.

Главное требование – отличие от конкурентов должно быть реальным, выразительным, существенным.

Конкурентные преимущества не являются вечными, они завоевываются и удерживаются только при постоянном совершенствовании всех сфер деятельности, что является процессом трудоемким и, как правило, дорогостоящим. Возможности сохранения конкурентных преимуществ зависят от ряда факторов: 1. Источники конкурентных преимуществ. 2. Очевидность источников конкурентных преимуществ. 3. Инновации. 4. Отказ от имеющегося конкурентного преимущества для приобретения нового.

**STEP- и SWOT-анализ** – модели для анализа факторов социальных (Social), технологических (Technological), экономических (Economical), политических (Political) в отношении сильных (Strengths) и слабых (Weakness) сторон, возможностей (Opportunities) и угроз (Threats).

SWOT-анализ представляет собой матричный анализ деятельности организации, интегрирующий в себе исследование возможностей предприятия в контексте вызовов среды и ответов бизнеса. SWOT– это аббревиатура: strong – сильный; weak – слабый; opportunity– возможность; threat – угроза.

В теории системного анализа STEP- и SWOT-анализ соответствуют двум этапам *методики системного анализа* (см.) – этапу формирования структуры целей и функций и этапу оценки составляющих этой структуры.

STEP-анализ можно рассматривать как одну из методик структуризации, рекомендуемую определять подцели верхнего уровня на основе анализа социальных, технологических, экономических и политических факторов. При этом для обеспечения полноты выявления факторов целесообразно учитывать одну из важных закономерностей теории систем – *закономерность коммуникативности* (см.), т.е. проводится анализ факторов надсистемы, подведомственных систем, актуальной среды и собственно системы.

SWOT-анализ определяет критерии качественной оценки факторов с точки зрения сильных, слабых сторон, возможностей и угроз. Применение оценок, рекомендуемых в методике ПАТТЕРН (см.), расширяет состав критериев оценок. В то же время оценки, рекомендуемые в SWOT-анализе, являются уточнением оценок, рекомендуемых в ПАТТЕРН, и их полезно использовать в других методиках системного анализа.

Оценки в SWOT-анализе иногда представляют в виде двухмерной матрицы с осями SW и OT, что позволяет получить более обобщенные оценки: SO («сильные», т.е. большие возможности), ST (сильные угрозы), WO (слабые возможности), WT (слабые угрозы).

**Модели генерации стратегий на основе матриц БКГ, Ансоффа, Портера, или методы портфельного анализа.** Основным приемом портфельного анализа является построение двумерных матриц, по одной оси которых фиксируются значения внутренних факторов (оценка конкурентоспособности подразделений организации), по другой – внешних (оценка перспектив развития рынка). С помощью этих матриц продукты (или иные бизнес-единицы) можно сравнивать один с другим по ряду критериев (темпы продаж, конкурентная позиция, стадия жизненного цикла, доля рынка, привлекательность и т.п.).

Главными достоинствами портфельного анализа являются возможность некоторого логического структурирования и наглядность отображения стратегических проблем, относительная простота представления результатов при использовании качественных критериев анализа.

Наиболее известна и универсальна матрица Ансоффа [1] со значениями осей, приведенными в табл. 1. Достоинством ее является применимость ко всем видам бизнеса.

Таблица 1

		Продукты	
		Освоенные	Новые
Рынки	Освоенные	Совершенствование деятельности (обработка рынка)	Развитие продукта
	Новые	Развитие рынка	Диверсификация

Дальнейшим этапом развития портфельного анализа стали работы Брюса Хендерсона, основателя Бостонской консалтинговой группы (БКГ). Осями первой матрицы БКГ были рост рынка/доля рынка (табл. 2). Для большей наглядности элементам матрицы присвоены специфические названия [2].

«Звезды» – это предприятия, завоевавшие большую долю рынка в растущих отраслях экономики, «Дойные коровы» – в зрелых отраслях, «Собаки» – предприятия, завоевавшие небольшую долю рынка в отраслях, переживающих стагнацию. «Знак вопроса» (или их иногда называют «Телята») характеризует предприятия, завоевавшие небольшую долю рынка в быстро развивающихся отраслях.

Таблица 2

		Относительная доля рынка	
		Высокая	Низкая
Степень расширения рынка	Высокая	«Звезды»	«Знак вопроса»
	Низкая	«Дойные коровы»	«Собаки»

Модель Портера [16] учитывает факторы, наиболее значимые для конкурентной позиции предприятия (табл. 3).

Таблица 3

Стратегическая цель	Стратегическое преимущество	
Для отрасли	Неповторимость продукта с точки зрения покупателя	Преимущества в себестоимости
Для сегмента рынка	Дифференцирование	Лидерство в части затрат
	Концентрация на сегменте	

В последующем на идеях матриц БКГ были предложены трехмерные матрицы [3, 6], оси которой образуют комплексные показатели: привлекательность рынка, конкурентная позиция предприятия, конкурентоспособность товара.

На идеях матриц разрабатываются формализованные модели и автоматизированные процедуры для их реализации [6].

- 1. Ансофф И. Стратегическое управление / И. Ансофф. – М., 1989.
- 2. Градов А.П. Стратегия экономического управления предприятием / А.П. Градов. – СПб: Изд-во СПбГТУ, 1993.
- 3. Дихтль Ю.А. Практический маркетинг: учеб. пособие; пер. с нем. / Ю.А. Дихтль, Х. Хершген. – М.: Высшая школа, 1995.
- 4. Карлофф Б. Деловая стратегия / Б. Карлофф. – М.: Экономика, 1991.
- 5. Кэмпбелл Д. Стратегический менеджмент: учебник / Д. Кэмпбелл. – М., 2003.
- 6. Кузин Б.И. Методы и модели управления фирмой / Б.И. Кузин, В.Н. Юрьев, Г.М. Шахдинаров. – СПб.: Питер, 2001.
- 7. Маркова В.Д. Стратегический менеджмент / В.Д. Маркова, С.А. Кузнецова. – М., 2003.
- 8. Панов А.И. Стратегический менеджмент / А.И. Панов. – М., 2002.
- 9. Стратегия и тактика антикризисного управления / Под

общ. ред. А.П. Градова и Б.И. Кузина. – СПб.: Изд-во «Специальная литература», 1995. 10. Траут Д. Сила простоты / Д. Траут. – СПб.: 2002. 11. Ефремов В.С. Ключевая компетенция организации как объект стратегического анализа / В.С. Ефремов, И.А. Ханьков // Менеджмент в России и за рубежом. – 2002. – № 2. – С. 8–11. 12. Ефремов В.С. Организации, бизнес-системы и стратегическое планирование/ В.С. Ефремов // Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – № 2. – С. 3. 13. Коробейников О.П. Интеграция стратегического и инновационного менеджмента / О.П. Коробейников, А.А. Трифилова // Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – № 4. – С. 25. 14. Мельничук Д.Б. Семь граней стратегического управления предприятием / Д.Б. Мельничук // Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – № 5. – С. 3. 15. Ansoff H.I. Checklist for Competitive and Competence Profiles, Corporate Strategy / H.I. Ansoff. – New York, 1985. 16. Porter M.E. Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitivs /M.E Porter. – New York, 1980. 17. Ресурсы Internet: www.dis.ru, www.cfm.ru  
В.А. Баринов

**СТРАТЫ** – класс *многоуровневых иерархических структур* (см.). Термин предложен М.Месаровичем [1]. Аналогичные представления структур предлагались Ю.И.Черняком и Ф.Е.Темниковым.

При отображении сложных систем основная проблема состоит в том, чтобы найти компромисс между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемом или проектируемом объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта. Один из путей решения этой проблемы – задание системы семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования. Для каждого уровня существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывается поведение системы на этом уровне. Такое представление названо *стратифицированным*, а уровни абстрагирования – *стратами* [1].

В качестве простейшего примера стратифицированного описания в [1] приводится отображение ЭВМ в виде двух страт (рис. 1): нижняя – *физические* операции (система описывается на языке физических законов, управляющих работой и взаимодействием ее механических и электронных элементов), верхняя – *математические и логические* операции (программирование и реализация программ, осуществляемые с помощью абстрактных, нефизических понятий, информационные потоки, команды языков программирования и т.п.).

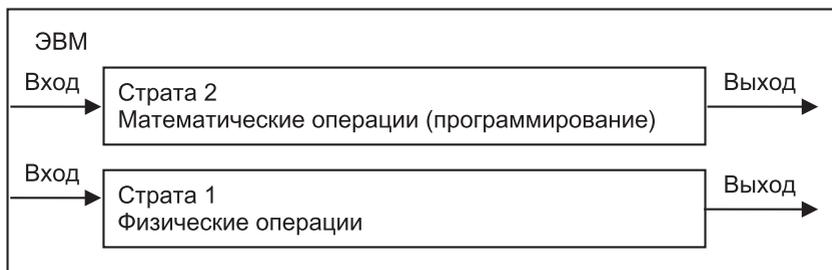


Рис. 1

При этом отмечается, что в принципе может представлять интерес описание системы (ЭВМ) и на других уровнях абстрагирования, помимо названных двух основных. При конструировании некоторых электронных компонентов может представить интерес страта атомной физики, а при разработке сложного программного обеспечения систем с разделением времени – системная страта.

Аналогичное представление используется при разработке банков и баз данных, в которых принято выделять *физический* уровень хранения данных, *логический* уровень и *системно-логический* уровень.

В стратифицированном виде можно представить и проблему моделирования текста: буквы – слова – предложения – абзацы – текст.

При этом могут быть введены правила преобразования элементов одного уровня в другой (синтеза или, наоборот, разборки текста), что иногда полезно при создании автоматизированных информационных систем и систем аналитико-синтетической обработки текстов, при разработке языков моделирования и автоматизации проектирования (см. *Язык автоматизации моделирования*).

Примером стратифицированного описания может также служить предложенное Ю.И. Черняком в [4] выделение уровней абстрагирования системы – от философского или теоретико-познавательного описания ее замысла до материального воплощения (рис. 2).

Такое представление помогает понять, что одну и ту же систему на разных стадиях познания и проектирования можно (и нужно) описывать различными выразительными средствами, т.е. как бы на разных «язы-

Система	
Страта 6:	Философское или теоретико-познавательное описание замысла системы
Страта 5:	Представление системы на языке выбранной научной теории
Страта 4:	Проектное представление системы
Страта 3:	Конструкция (конструкторская документация)
Страта 2:	Технология (технологическая документация)
Страта 1:	Материальное воплощение системы

Рис. 2

ках»: *философском* или *теоретико-познавательном* – вербальное описание замысла, концепции; *представление системы на языке научно-исследовательском* – в форме моделей разного рода, помогающих глубже понять и раскрыть замысел системы; *проектном* – техническое задание и технический проект, для разработки и представления которого могут понадобиться математические расчеты, принципиальные схемы; *конструкторском* – конструкторские чертежи, сопровождающая их документация; *технологическом* – технологические карты, стандарты и другая технологическая документация; *материальное воплощение, реализация системы* – детали, блоки, собранное изделие или созданная система, принципы функционирования которой отражены в соответствующей документации (инструкциях, положениях и т.п.).

Стратифицированное представление может использоваться и как средство последовательного углубления представления о системе (рис. 3), ее детализации: чем ниже опускаемся по иерархии страт, тем более детальным становится раскрытие системы; чем выше поднимаемся, тем яснее становятся смысл и значение всей системы. Объяснить назначение системы с помощью элементов нижней страты в сложных системах практически невозможно.

Например, изучение принципов построения и функционирования отдельных клеток организма, каким бы детальным оно ни было, не позволяет понять построение и функционирование органов, которые состоят из этих клеток, а изучение органов не позволит полностью понять функционирование всего организма в целом. Но, с другой стороны, чтобы правильно понять и реализовать общий замысел системы, сконструировать систему, необходимо реализовать нижележащие страты.

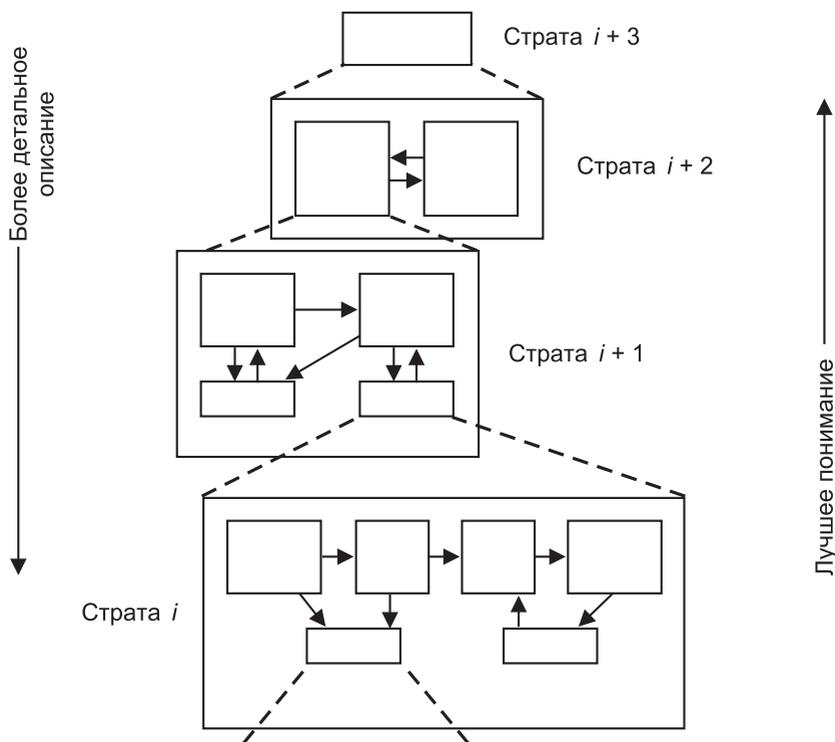


Рис. 3

Изложенное отображает в структуре суть одной из основных закономерностей теории систем – *закономерность целостности* (см.), что помогает приблизить теоретические исследования закономерностей к практическому их применению. В 60-е гг. XX в. идею детализации системы на каждом последующем уровне предложил Ф.Е. Темников (см. *Многоуровневые иерархические структуры*). Это было первое статифицированное представление систем, хотя термин *страты* в тот период еще не использовался.

Начинать изучение системы можно с любой страты, в том числе и находящейся в середине стратифицированной модели. На каждой страте могут разрабатываться и применяться свои модели, но система сохраняется до тех пор, пока не изменяется представление о ней на верхней страте, т.е. сохраняется концепция, замысел, которые раскрываются, детализируются в стратифицированной модели на каждом уровне.

Страты могут выделяться по разным принципам. Например, при представлении системы управления предприятием страты могут соответствовать сложившимся уровням управления: управление *технологическими* процессами (собственно производственным процессом) и *организационное* управление предприятием. Если предприятие входит в объединение, то к этим двум стратам может быть добавлен уровень управления объединением.

- 1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. 2. Тихонов В.И. Совершенствование структуры функциональной части АСУ автомобильным производством / В.И. Тихонов, В.Н. Авдийский, В.Н. Волкова, М.И. Старовойтова. – Тольятти: Филиал ЦНИИТЭИ Автопрома, 1988. 3. Темников Ф.Е. Прикладные программы исследования операций и принятия решений / Ф.Е. Темников, В.Н. Волкова, И.В. Макарова // В сб.: Прикладные проблемы исследования операций и систем. – М.: МДНТП, 1969. – С. 52–61. 4. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. В.Н. Волкова

**СТРУКТУРА** (от лат. structure – строение, расположение, порядок) – отражение определенных взаимосвязей, взаиморасположения составных частей системы, ее устройства (строения) [1].

Система может быть представлена простым перечислением элементов, или «черным ящиком» (моделью «вход – выход»). Однако чаще всего при исследовании объекта такое представление недостаточно, так как требуется выяснить, что собой представляет объект, что в нем обеспечивает выполнение поставленной цели, получение требуемых результатов. В этих случаях систему отображают путем расчленения на подсистемы, компоненты, элементы с взаимосвязями, которые могут носить различный характер, и вводят понятие структуры.

При этом в сложных системах структура включает не все элементы и связи между ними (в предельном случае, когда пытаются применить понятие структуры к простым, полностью детерминированным объектам, понятия структуры и системы совпадают), а лишь наиболее существенные компоненты и связи, которые мало меняются при текущем функционировании системы и обеспечивают существование системы и ее основных свойств. Иными словами, структура характеризует организованность системы, устойчивую упорядоченность элементов и связей.

Структурные связи обладают относительной независимостью от элементов и могут выступать как инвариант при переходе от

одной системы к другой, перенося закономерности, выявленные и отраженные в структуре одной из них, на другие. При этом системы могут иметь различную физическую природу.

Иными словами, понятие *структура* – это система без качественного наполнения («структура есть система минус субстрат»).

Одна и та же система может быть представлена разными структурами в зависимости от стадии познания объектов или процессов, от аспекта их рассмотрения, цели создания. При этом по мере развития исследований или в ходе проектирования структура системы может изменяться.

Структуры могут быть представлены в матричной форме, в форме теоретико-множественных описаний, с помощью языка топологии, алгебры и других средств моделирования систем.

Структуры, особенно иерархические, могут помочь в раскрытии неопределенности сложных систем. Иными словами, структурные представления систем могут являться средством их исследования. В связи с этим полезно выделить и исследовать определенные виды (классы) структур.

**Виды структур.** *Сетевая структура* (см.), или *сеть*, представляет собой декомпозицию системы *во времени* (рис. 1, а). Такие структуры могут отображать порядок действия технической системы (телефонная сеть, электрическая сеть и т.п.), этапы деятельности человека (при производстве продукции – сетевой график, при проектировании – сетевая модель, при планировании – сетевой план и т.д.). В виде сетевых моделей представляются методики системного анализа.

*Иерархические структуры* (см.) представляют собой декомпозицию системы *в пространстве* (рис. 1, б – д). Все компоненты (*вершины, узлы*) и связи (*дуги, соединения узлов*) существуют в этих структурах одновременно (не разнесены во времени). Такие структуры могут иметь не два (как для простоты показано на рис. 1, б, в), а большее число уровней декомпозиции (структуризации).

Структуры типа рис. 1, б, в которых каждый элемент нижележащего уровня подчинен одному узлу (одной вершине) вышестоящего (и это справедливо для всех уровней иерархии), называют *древовидными* структурами, структурами типа «*дерева*», на которых выполняется отношение древесного порядка, иерархически структурами с «*сильными*» связями.

Структуры типа рис. 1, в, в которых элемент нижележащего уровня может быть подчинен двум и более узлам (вершинам) вы-

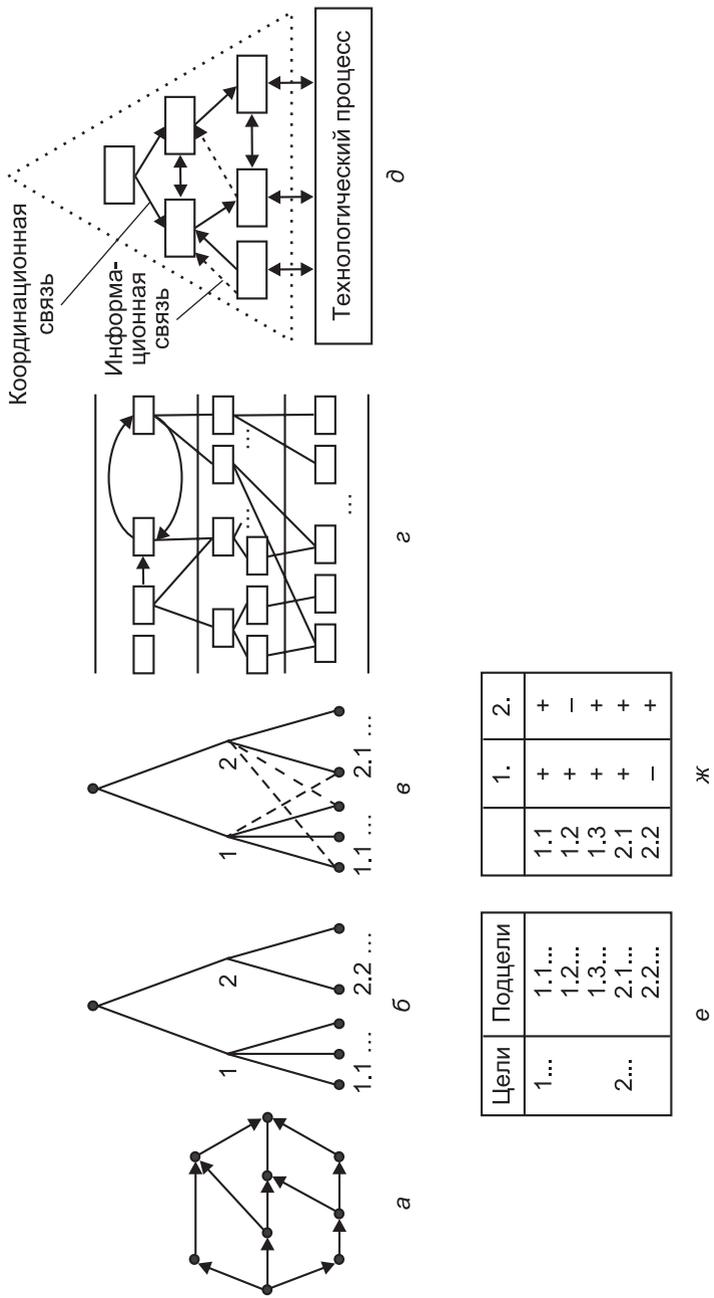


Рис. 1

шестоящего, называют иерархическими структурами со «слабыми» связями.

*Матричные структуры* (см.). Иерархическим структурам, приведенным на рис. 1, б, в, соответствуют *матричные* структуры рис. 1, е, ж. Отношения, имеющие вид «слабых» связей между двумя уровнями на рис. 1, в, подобны отношениям в матрице, образованной из составляющих этих двух уровней на рис. 1, ж.

*Многоуровневые иерархические структуры* (см.). В теории систем М. Месаровича [5] предложены особые классы иерархических структур, отличающиеся различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего, для названия которых он предложил следующие термины: «страты» (см.), «слои» (см.), «эшелоны» (см.) (рис. 1, д).

*Смешанные иерархические структуры* (см.) бывают с вертикальными и горизонтальными связями (рис. 1, з).

*Структуры с произвольными связями* могут иметь любую форму, объединять принципы разных видов структур и нарушать их.

**Сравнительный анализ структур.** При выборе структуры для представления конкретной системы следует учитывать их особенности и возможности.

Сетевые структуры используются в тех случаях, когда системе удастся отобразить через описание материальных и информационных процессов, происходящих в ней, т.е. представить последовательностью изготовления изделий, прохождения документов и т.д.

Предпочтительно представление во времени и процессов проектирования новых систем. Однако такое представление практически невозможно для сложных технических комплексов, особенно при проектировании организационных систем управления. В этих случаях вначале используют расчленение системы в пространстве, т.е. представление ее различными видами иерархических структур. Наиболее предпочтительно получение древовидной структуры, которая более четко отражает взаимоотношения между компонентами системы. Такое представление предпочтительно при организации производства сложных технических комплексов: древовидное расчленение изделия позволяет определить основные структурные единицы (цехи, участки и т.п.) производ-

ственной структуры, уточнение взаимодействия между которыми затем ведется с помощью сетевых структур.

В организационных системах взаимоотношения между структурными единицами *организационной структуры* (см.) гораздо более сложны. Их не всегда удается сразу отобразить с помощью древовидной структуры. Используются иерархии со «слабыми связями», матричные структуры, а для сложных корпораций – многоуровневые структуры типа страт, эшелонов, смешанные структуры с вертикальными и горизонтальными связями.

От вида структур зависит важная характеристика любой системы – степень ее *целостности* (см. *Закономерность целостности*), устойчивости.

Для сравнительного анализа структур используются информационные оценки степени целостности  $\alpha$  и коэффициента использования компонентов системы  $\beta$  (см. *Информационный подход к анализу систем*), которые могут интерпретироваться как оценки устойчивости оргструктуры при предоставлении свободы элементам или как оценки степени централизации-децентрализации управления в системе.

Эти оценки получены из соотношения, определяющего взаимосвязь системной  $C_c$ , собственной  $C_o$  и взаимной  $C_v$  сложности системы (см. *Информационная сложность*):

$$C_c = C_o + C_v. \quad (1)$$

*Собственная сложность*  $C_o$  представляет собой суммарную сложность (содержание) элементов системы вне связи их между собой (в случае прагматической информации – суммарную сложность элементов, влияющих на достижение цели).

*Системная сложность*  $C_c$  характеризует содержание системы как целого (например, сложность ее использования).

*Взаимная сложность*  $C_v$  характеризует степень взаимосвязи элементов в системе (т.е. сложность ее устройства, схемы, структуры).

Разделив члены выражения (1) на  $C_o$ , получим две важные сопряженные оценки:

$$\alpha = C_v / C_o, \quad (2)$$

$$\beta = C_c / C_o, \quad (3)$$

причем  $\beta = 1 - \alpha$ .

Оценка (2) характеризует степень целостности, связности, взаимозависимости элементов системы; для организационных систем  $\alpha$  может быть интерпретирована как характеристика устойчивости, управляемости, степени централизации управления.

Оценка (3) показывает самостоятельность, автономность частей в целом, степень использования возможностей элементов. Для организационных систем  $\beta$  удобно называть коэффициентом использования элементов в системе.

Знак минус в выражении (2) введен для того, чтобы  $\alpha$  было положительным, поскольку  $C_B$  в устойчивых системах, для которых характерно  $C_o > C_c$ , формально имеет отрицательный знак. Связанное (остающееся как бы внутри системы) содержание  $C_B$  характеризует работу системы на себя, а не на выполнение стоящей перед ней цели (чем и объясняется отрицательный знак  $C_B$ ). Последнее особенно важно учитывать при формировании оргструктур предприятий и других организаций.

Для пояснения принципов оценки структур приведем упрощенный пример сравнительного анализа иерархических структур (рис. 2), которые могут отображать либо схемы коммутаций верхнего узла технической системы с элементами нижнего уровня, либо варианты организационной структуры системы управления, включающие разное число заместителей директора (второй сверху уровень иерархии) и подчиненных им управленческих подразделений.

Предположим, что целью всех этих структур является выбор из 8 элементов нижнего уровня структур. При наличии элемента, способного осуществлять выбор из 8, задача решается с помощью этого элемента, приведенного на рис. 2, *a*. Если же такого элемента не существует, то задачу можно решить с помощью элементов, обладающих меньшими способностями, – ключей с переключениями для выбора из 4 или из 2 положений, или помощников, распределяющих между собой ответственность за выбор исполнителей решения (варианты структур приведены на рис. 2, *b–d*).

В изображении иерархических структур способ вычленения элементов не определен, и их «читать» можно неодинаково. Так, элементами можно считать каждую ветвь иерархической структуры (каждое положение ключа или каждое структурное подразделение), полагая, что ветвь имеет два возможных состояния («участвует» – «не участвует» в принятии решения по выбору),

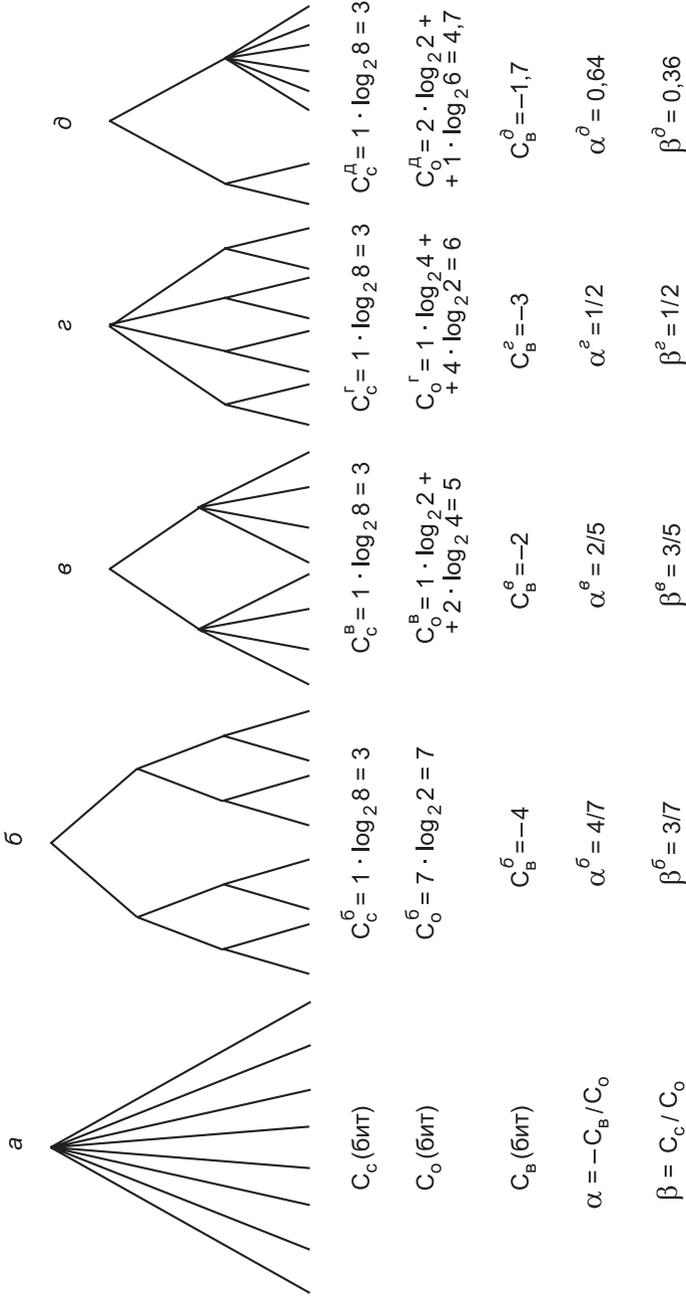


Рис. 2

т.е.  $\Delta A = 1$  ветвь, а минимальная единица информации  $J = 1$  бит. Можно разделить структуру на элементы и с учетом того, что основной функциональный элемент, осуществляющий выбор, – узел, и тогда элементами будут наборы узлов, приведенные на рис. 2, *e–и* для структур рис. 2, *б–д* соответственно, и тогда  $\Delta A = 1$  узел (или ключ), а каждый элемент также будет оцениваться минимальным значением  $J = 1$  бит, но с разными «способностями», которые оцениваются числом ветвей, подчиненных узлу (или состояний ключа), отражаемых в оценке  $H$ . Тогда при равновероятном выборе для узлов с двумя состояниями  $H = \log_2 2 = 1$  бит, для узлов с 4 состояниями  $H = \log_2 4 = 2$  бита и т.д.

Сравнительные оценки вариантов структур, предназначенных для достижения одной и той же цели, – выбор из 8 состояний нижнего уровня иерархии – приведены на рис. 2. При расчете  $C_c$  система рассматривается как один элемент, т.е.  $J_c$  принимается равной единице.

Сопоставляя структуры с использованием приведенных на рис. 2 оценок, можно сделать, например, следующие выводы.

Увеличение  $\beta$  можно трактовать как децентрализацию управления, а  $\alpha$  – как степень централизации управления. Тогда при стремлении к демократизации, децентрализации управления, к более эффективному использованию возможностей сотрудников или структурных подразделений, предоставлению им большей самостоятельности следует выбрать структуру, приведенную на рис. 2, *в*. При стремлении сохранить целостность предприятия, усилить централизованное управление следует отдать предпочтение структурам, приведенным на рис. 2, *б*, а из двухуровневых структур – рис. 2, *г*.

Выбранный вариант структуры будет содействовать или, напротив, препятствовать проведению в жизнь принятых принципов управления, т.е. как бы ни стремился руководитель предоставить больше самостоятельности структурным подразделениям и сотрудникам структуры, рис. 2, *б* и *г* будут препятствовать проведению этой политики.

Исследования структур с различным числом уровней иерархии показали, что по мере увеличения их числа степень целостности существенно возрастает: в двухуровневых структурах  $\alpha$  колеблется вокруг значения 0,5, а в структурах с числом уровней 5–6 и более  $\alpha$  приближается к 0,9, т.е. существенно возрастает связанное, остающееся как бы внутри системы  $C_v$ .

Возрастает степень целостности  $\alpha$  и при увеличении числа составляющих второго сверху уровня иерархической структуры, например, в организационных структурах при увеличении числа заместителей директора, что подтверждается практикой.

Наименьшая централизация характерна для наиболее неравномерной структуры (рис. 2, *д*). Однако у подобных структур, когда одной из вершин подчинено значительно большее число составляющих, чем другой, есть существенный недостаток: малое различие в оценках верхнего уровня и перегруженного узла нижележащего уровня оценки  $H$ , в данном случае удобно трактовать как потенциал, значимость, характеристику влияния соответствующей вершины на принятие решений.

Так, в варианте структуры рис. 2, *г* крайне малое различие потенциалов системы в целом ( $H_c = 3$  бита) и вершины, которой подчинены 6 составляющих ( $H_2 = 2,7$  бита), приводит к тому, что помощник, возглавляющий последнюю вершину, начинает вести себя практически независимо от руководителя системы в целом. Этот недостаток довольно часто проявлялся на практике, но его пытались объяснить квалификацией, авторитетом или характером соответствующих руководителей, в то время как информационный анализ структур показывает, что это зависит от структуры, а не от характеристики и предпочтений конкретного руководителя.

Обратим внимание на тот факт, что пример сравнительного анализа рассмотренных вариантов иерархического представления одной и той же системы (предназначенной для решения задачи выбора из 8 элементов нижнего уровня) иллюстрирует возможность нахождения системы между двумя крайними состояниями – абсолютной целостностью (рис. 2, *а*) и аддитивностью, расчленением системы на независимые части, осуществляемым различными способами (рис. 2, *е–и*). Соответственно в зависимости от способа выделения частей одна и та же система может характеризоваться различной целостностью.

Эта особенность системного анализа сложных объектов путем представления их разнородными элементами принципиально отличает методологию системного исследования от *методов формализованного представления систем* (см.), используемых для исследования и проектирования технических систем, собираемых из вполне конкретных деталей и узлов.

Легко видеть, что в случае модификации деталей и комплектующих, например, при сборке автомобилей получаются различные модели автомобилей, качественно отличающиеся одна от другой, т.е. и в этом примитивном изменении элементов получается качественно иная целостность.

В случае же сложных систем с неопределенностью, когда мы выделяем части системы и формируем структуры в процессе исследования, анализ диалектики части и целого с использованием информационного подхода приобретает особо важное значение, помогает понять, что, расчлняя систему по-разному, мы фактически получаем качественно различные варианты представления целостности. Это и объясняет возможность использования структурных представлений как средства исследования сложных систем с начальной неопределенностью.

Иерархические представления систем могут быть не только древовидными, поэтому интерес представляет анализ структур иных видов.

В случае иерархических структур со «слабыми» связями элементы, подчиняющиеся двум или более узлам вышележащего уровня, их можно как бы «расщепить», подчинив части разным вышележащим узлам; тогда можно проводить расчеты аналогично рассмотренным.

При этом целесообразно относительно оценить «расщепляемые» составляющие, что в случае оценки, например, организационных структур линейно-функционального типа, можно охарактеризовать численностью управленческого персонала, занимающегося выполнением частей «расщепленной» функции.

В случае, если такие оценки не удастся получить, либо реальные процессы необходимо представлять иерархическими структурами типа «страт» или «эшелонов», или же большое число и разнообразие связей между компонентами системы приводят к «проклятию размерности», следует использовать полевое описание системы в пространстве ее структуры [2, 3, 4].

Тогда, обозначив через  $N$  «мощность» объекта управления (имея в виду его способность производить любого рода продукцию, включая информационную, в соответствии со своим назначением), и через  $r$  – плотность  $N$  в каждой точке соответствующего пространства, потребуем, чтобы с учетом ограничений на пропускную способность системы управления потенциал  $H$  в каждой точке был максимален:

$$H = \frac{1}{4\pi} \int \frac{R\rho}{r} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{RdN}{r} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где  $r$  – число инстанций между данной точкой и каждой остальной в пространстве управления;

$R$  – доля общего числа функций объекта, участвующих во взаимодействии с каждой точкой. Это обеспечивает максимальную управляемость и связность (целостность) системы, а тем самым и выбор наилучшего варианта структуры системы управления.

С примерами такой оценки произвольных структур разного вида можно познакомиться в [2, 4].

- 1. Б С Э. Изд. 2-е. – Т. 41. – С. 154. 2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 29, 31–45. 3. Денисов А.А. Теоретические основы кибернетики: информационное поле / А.А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1975. 4. Денисов А.А. Иерархические системы / А.А. Денисов, В.Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989. 5. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. 6. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. 7. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов/под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 36–44. В.Н. Волкова

**СТРУКТУРИЗАЦИЯ (ДЕКОМПОЗИЦИЯ)** – расчленение системы на части при ее исследовании или проектировании.

Первоначально был более широко распространен термин *декомпозиция*. Однако в 70-е гг. XX в. С.П. Никаноров предложил различать эти понятия: термин *декомпозиция* применять в случае расчленения технических объектов, для которых известна причина возникновения целостности (новых свойств у целого, собранного изделия) и выполняется закономерность *аддитивности* (см.), а термин *структуризация* – когда неизвестны причины возникновения целостности, т.е. на каждом уровне иерархии свойства целого не равны сумме свойств элементов и наблюдается неопределенность, частично раскрываемая расчленением, но не объясняемая полностью, как это имеет место в смысле декомпозиции, т.е. при сборке или разборке технических объектов, благодаря конструкции и технологии, отраженным в соответствующих нормативно-технических документах.

Во многих работах по системному анализу между терминами *структуризация* и *декомпозиция* различий не делается.

В то же время для названия методик расчленения систем или их целей на части, как правило, используется термин *структуризация*.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / Волкова В.Н., Денисов А.А. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997, 1999.
- 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 36–44. В.Н. Волкова

**СТРУКТУРНО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (СЛМ)** – подход, возникший в 70-е гг. XX в. в инженерной практике и основанный на использовании для реализации идей комбинаторики структурных представлений разного рода, с одной стороны, и средств математической лингвистики – с другой. В расширенном понимании подхода в качестве языковых (лингвистических) средств используются и другие методы дискретной математики (языки, основанные на теоретико-множественных представлениях, на использовании средств математической логики, семиотики).

В разных вариантах СЛМ используются разные средства. Общим для них является использование языкового (лингвистического) представления исходной информации и правил ее преобразования, т.е. понятий *тезауруса* (см.), или словаря первичных терминов – элементов, из которых формируется модель, и грамматики – правил объединения элементов при ее формировании, и формы графического представления результатов моделирования. Поэтому в случае применения для реализации подобных моделей ЭВМ (и особенно при появлении средств графического представления информации) можно сразу говорить не о средствах структурно-лингвистического моделирования, а о разработке языка моделирования или автоматизации моделирования, языка автоматизации проектирования. Иногда это удобнее для пользователя, но разработчику такого языка полезно все же исходить из основных положений СЛМ и использовать накопленный опыт создания таких моделей и средств их формирования и представления.

В основу формирования структурно-лингвистической модели могут быть положены средства: *теоретико-множественных представлений* (см.), т.е. правила формирования пар, троек, *n*-ок из первичных элементов подмножеств; *математическая логика*

(см.), т.е. функция алгебр логики; *математическая лингвистика* (см.); *семиотические представления* (см.), допускающие произвольные правила, близкие к правилам естественного языка.

В зависимости от того, какие из этих направлений дискретной математики положены в основу языка, вместо термина «структурно-лингвистическое моделирование» используют другие термины – «графо-семиотическое», «сигнатурное» (знаковое) [4] моделирование и т.п. Однако, учитывая, что все названные направления дискретной математики – теория множеств, математическая логика, математическая лингвистика, семиотика – отличаются одно от другого в основном исходными понятиями и видом отношений или правил комбинирования элементов, а общие принципы построения языков моделирования на их основе одинаковы, все подходы, сочетающие знаковые (в широком смысле) представления и графические (структурные), объединяют в единое направление – СЛМ.

Структурно-лингвистические модели могут быть многоуровневыми. На первом уровне моделей элементы могут объединяться в группы, образуя новые понятия, на следующем – эти новые понятия могут вступать в какие-либо отношения между собой, образуя еще более обобщенные компоненты модели, и т.д. При этом могут использоваться разные правила грамматики: на первом уровне это обычно правила типа «помещения рядом» (конкатенация, сцепление, формирование пар, троек,  $n$ -ок из элементов подмножеств исходного уровня модели), правила подстановки вместо одного элемента (символа, его обозначающего) нескольких; на последующих уровнях это могут быть операции типа «условного следования за», позволяющие формировать из компонентов предшествующего уровня модели принятия решений типа сетевых, и т.п.

Структурно-лингвистический подход является хорошей основой для разработки моделей *постепенной формализации модели принятия решения* (см.), которые должны базироваться на переменном использовании различных методов системного анализа – *методов, направленных на активизацию использования интуиции и опыта специалистов* (см.), и *методов формализованного представления систем* (см.).

- 1. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. 2. Системный анализ в экономике и организации производ-

ства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 50, 70,72, 84, 356–357, 369–383. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 77–81, 130, 302–312, 319, 440–449, 463–474. 4. Темников Ф.Е. Сигнатурные модели и их применение при проектировании сложных систем / Ф.Е. Темников, В.Н. Волкова, А.В. Созинов // В сб.: Методы анализа и реконструкции сложных систем. – Рига: Зинатне, 1972. – С. 96–98. *В.Н. Волкова*

**СЦЕНАРИЙ** – метод подготовки и согласования представлений о проблеме или анализируемом объекте, изложенный в письменном виде. Получил широкое распространение в 60–70-е гг. XX в.

Первоначально этот метод предполагал подготовку текста, содержащего логическую последовательность событий или возможные варианты решения проблемы, развернутые во времени. Однако позднее обязательное требование временных координат было снято, и сценарием стали называть любой документ, содержащий анализ рассматриваемой проблемы и предложения по ее решению или по развитию системы, независимо от того, в какой форме он представлен.

Как правило, на практике предложения для подготовки подобных документов писались экспертами вначале индивидуально, а затем формировался согласованный текст.

Сценарий предусматривал не только содержательные рассуждения, помогающие не упустить детали, которые невозможно учесть в формальной модели (в этом, собственно, и заключается основная роль сценария), но и содержал, как правило, результаты количественного технико-экономического или статистического анализа с предварительными выводами. Группа экспертов при подготовке сценария пользовалась правом получения от предприятий и организаций необходимых сведений, консультаций.

На практике по типу сценариев разрабатывались прогнозы в отраслях промышленности. Разновидностью сценариев можно считать комплексные программы научно-технического прогресса и его социально-экономических последствий, которые разрабатывались в период реформ 70-х гг. XX в. специальными комиссиями при АН СССР, Госплане СССР и Госкомитете по науке и технике при Совете Министров СССР на последующие 20 лет.

Роль экспертов по системному анализу при подготовке сценария – помочь привлекаемым ведущим специалистам соответствующих областей знаний выявить общие закономерности раз-

вития системы; проанализировать внешние и внутренние факторы, влияющие на ее развитие и формулирование целей; провести анализ высказываний ведущих специалистов в периодической печати, научных публикациях и других источниках научно-технической информации; создать вспомогательные информационные фонды, способствующие решению соответствующей проблемы.

В последнее время понятие сценария расширяется в направлении как областей применения, так и форм представления и методов их разработки: в сценарий вводятся количественные параметры и устанавливаются их взаимозависимости, предлагаются методики подготовки сценария с использованием ЭВМ, методики целевого управления подготовкой сценария.

Сценарий позволяет создать предварительное представление о проблеме (системе) в ситуациях, которые не удастся сразу отобразить формальной моделью. Однако сценарий – это все же текст со всеми вытекающими последствиями (синонимия, омонимия, парадоксы), обуславливающими возможность неоднозначного его толкования. Поэтому сценарий следует рассматривать как основу для разработки более формализованного представления о будущей системе или решаемой проблеме.

- 1. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1974. 2. Теория прогнозирования и принятия решений / под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высшая школа, 1977. В.Н. Волкова



**ТЕЗАУРУСНЫЙ ПОДХОД** – один из подходов к исследованию систем, при котором изучение системы начинается как бы «снизу», т.е. не с определения целей и структуризации системы (подход «сверху»), а с перечисления ее элементов и установления связей между ними. Обычно, характеризуя такой подход, его называют *морфологическим* (в широком смысле), *лингвистическим*, методом *языка системы*, «тезаурусным», не делая особых различий между этими наименованиями. Однако термин *тезаурусный* подчеркивает, что речь идет не о простом перечислении системы, а о формировании уровней ее изучения, подобно формированию тезауруса в широком смысле как понятия, отражающего богатство языка представления системы.

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 3. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. В.Н. Волкова

**ТЕКТОЛОГИЯ** (от греч. «тектон» – строитель) – термин, введенный для наименования теории организационного управления нашим соотечественником Александром Александровичем Малиновским, опубликовавшим свой труд о всеобщей организационной науке под псевдонимом А.А. Богданов [1].

Тектология была разработана в начале XIX в. (еще до Л. фон Берталанфи) и является важным вкладом в становление системных представлений.

Однако в силу исторических причин предложенная Богдановым всеобщая организационная наука (тектология) не нашла распространения и практического применения в тот период.

Труды Богданова, в том числе его романы [2] и тектология [3], переизданы в 80–90-е гг. XX в.

- 1. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука: тектология. В 2 кн. / А.А. Богданов. – М., 1905–1924. 2. Богданов А.А. Вопросы социализма: работы разных лет / А.А. Богданов. – М.: Политиздат, 1990. 3. Богданов А.А. Тектология / А.А. Богданов. – М.: Экономика, 1989.

В.Н. Волкова

**ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ** (ТМП) здесь рассматриваются как класс *методов формализованного представления систем* (см.). Символически отображение системы в виде множества, состоящего из совокупности подмножеств, показано на рис. 1.

Теоретико-множественные представления базируются на понятиях *множество, элементы множества, отношения на множествах*.

Система может быть представлена совокупностью множеств или подмножеств разнородных компонентов.

Понятие «множество» относится к числу интуитивно постигаемых понятий, которым

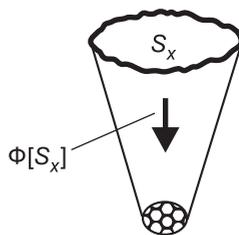


Рис. 1

трудно дать определение. Это понятие содержательно эквивалентно понятиям «совокупность», «собрание», «ансамбль», «коллекция», «семейство», «класс» и другим обобщающим понятиям.

Один из основоположников теории множеств\* Георг Кантор определял множество как «многое, мыслимое нами как единое».

Множества могут задаваться следующими способами:

1) списком, перечислением (интенциональным путем), например,

$$\{a_i\}, \text{ где } i = 1 \dots n, \quad (1)$$

или

$$\langle a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \rangle, \quad (1a)$$

где  $a_i \in A$ ,  $\in$  – знак вхождения элементов в множество;

2) путем указания некоторого *характеристического свойства*  $A$  (экстенционально). Например, «множество натуральных чисел», «множество рабочих данного завода», «множество планет солнечной системы», «множество  $A$ » и т.д.

В основе теоретико-множественных преобразований лежит принцип перехода от одного способа задания множества к другому:

$$A = \langle a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \rangle, \quad (2)$$

или

$$\langle a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \rangle \rightarrow A. \quad (2a)$$

Переход от интенционального способа задания множества к экстенциональному называют принципом *свертывания*.

В множестве могут быть выделены *подмножества*. Вхождение элементов в любое множество или подмножество описывается знаком принадлежности  $\in$ , а вхождение подмножества в множество записывается  $B \subset A$ . Это означает, что все элементы подмножества  $B$  являются одновременно элементами множества  $A$ :

$$\begin{array}{lll} b_1 \in B & b_1 \in A & \\ b_2 \in B & b_2 \in A & \\ \dots & \dots & \\ b_n \in B & b_n \in A & \rightarrow B \subset A \end{array}$$

---

\*Независимо от Г. Кантора математическую теорию бесконечных множеств создал чешский ученый Б. Больцано, основной труд которого опубликован много лет спустя после его смерти.

Важным является понятие *пустое множество* – множество, в котором в данный момент нет ни одного элемента:  $D = \emptyset$ .

При использовании ТМП в соответствии с концепцией Кантора можно вводить любые отношения. В случае уточнения этих отношений применительно к множествам удобно пользоваться наглядными диаграммами Эйлера–Венна, примеры которых для операции объединения ( $\cup$ ), пересечения (& или  $\cap$ ), дополнения (отрицания, обозначаемого знаком « $\neg$ » над именем множества либо знаком « $\neg$ » перед именем множества или его элемента) приведены на рис. 2.

Теории, развивавшиеся на базе ТМП, первоначально использовали отношения, подобные функциям алгебры логики, и в первую очередь – бинарной алгебры логики Буля (см. *Математическая логика*).

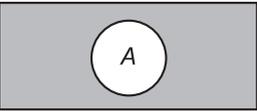
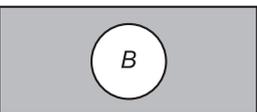
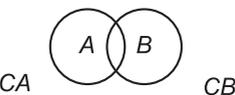
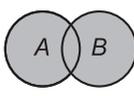
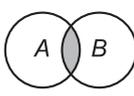
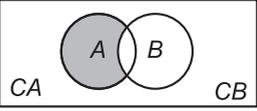
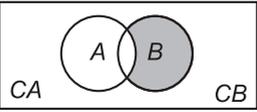
В большинстве работ [1, 2, 3, 7, 12 и др.] ТМП излагаются на примере теории чисел, для развития которой достаточно основных элементарных отношений  $\in, \notin, \subset, \not\subset, \subseteq, \cup, \cap, \neg$ .

По мере приложения ТМП к более сложным проблемам отношения начинают заимствоваться из математической лингвистики (которую теория множеств, в свою очередь, помогает развивать), а при отображении особо сложных проблемных ситуаций с неопределенностью разрабатываемую или исследуемую систему отображают множествами с отношениями произвольного типа (так, например, в случае применения ТМП в ситуационном моделировании используются отношения «быть над», «быть под», «находиться рядом» и т.п., которые допустимо обозначать в разрабатываемом на этой основе языке моделирования произвольными символами, удобными ЛПР).

Особого внимания заслуживает преобразование множеств путем установления взаимоотношений между элементами разных исходных множеств.

Из двух или нескольких множеств можно сформировать установлением отношений между элементами этих множеств новое множество. Это новое множество, как правило, следует рассматривать как состоящее из принципиально новых элементов.

Например, объединяя элементы из множества «конденсаторы  $C$ » и множества «катушки индуктивности  $L$ », получим новое множество «колебательные контуры  $KK$ » (если, конечно, введенное отношение между исходными элементами отображает необходимые действия по объединению соответствующих выводов конденсаторов и катушек индуктивности). Аналогично можно отобразить процесс бракосочетания: из множеств «женихи  $Y$ » и «невесты  $G$ » в ЗАГСе путем соответствующей

Наименование	Диаграмма	Обозначение
Множество $A$		$A$
Дополнение $C$ множества $A$		$CA, \bar{A}, \neg A$
Множество $B$		$B$
Дополнение $C$ множества $B$		$CA, \bar{B}, \neg B$
Множество $A$ Множество $B$ и их дополнения $C$		$A, B, CA, CB$
Объединение $A$ и $B$		$A \cup B, C(CA \cap CB),$ $\overline{CA \cap CB}$
Пересечение $A$ и $B$		$A \cap B, C(CA \cup CB),$ $\overline{CA \cup CB}$
Пересечение множества $A$ и дополнения множества $B$		$A \cap CB$
Дополнение объединения множества $A$ и дополнения множества $B$		$C(A \cup CB)$

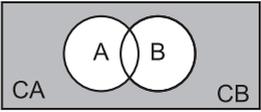
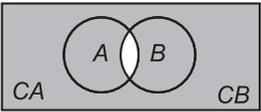
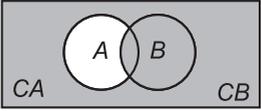
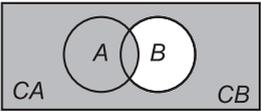
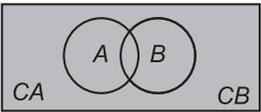
Наименование	Диаграмма	Обозначение
Дополнение объединения множеств $A$ и $B$		$C(A \cup B)$ $CA \cap CB$
Дополнение пересечений множеств $A$ и $B$		$C(A \cap B)$ $CA \cup CB$
Дополнение пересечения множеств $A$ и дополнения множества $B$		$C(A \cap B)$ $CA \cup CB$
Объединение множества $A$ и дополнения множества $B$		$C(A \cap B)$ $CA \cup CB$
Дополнение множеств $A$ и $B$ и их дополнений $CA$ и $CB$		$C(A \cap B)$ $CA \cup CB$

Рис. 2

операции (процедуры регистрации брака) формируется множество «Семьи  $C$ », элементы которого  $c_x = \langle y_i r_k g_j \rangle$ , где  $y_i \in Y, g_j \in G, r_k \in R_a, R_b$  – множество взаимоотношений между людьми, имеющих принципиально новый смысл для общества.

При этом важно отметить, что не только установление какого-либо вида специальных отношений, как в приведенных примерах, но и формирование элементов нового множества путем простого «помещения рядом» элементов исходных множеств позволяет получать эффект появления нового смысла, что обеспечивается доосмыслением взаимоотношений человеком на основе его предшествующего опыта. Это важно при моделировании ситуаций с большой исходной неопределенностью, когда неизвестен характер взаимоотношений между элементами разных групп

(подмножеств), выявленных для отображения системы, проблемной ситуации.

Данный эффект используется при моделировании процесса *автоматизации формирования и анализа структур целей и функций* (см.), в теории морфологического моделирования (см. *Морфологический подход*).

При использовании таких преобразований необходимо предварительно оценивать перебор. При получении нового множества из элементов 2, 3 или более исходных подмножеств с математической точки зрения имеет место операция *размещения с повторениями*, при использовании которой число получаемых компонентов

$$K = k_1 \times k_2 \times \dots \times k_n, \quad (3)$$

где  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – количества элементов в подмножествах  $M_1, M_2, \dots, M_n$ , что дает существенно меньший перебор, чем формирование сочетаний (число которых  $C_n^m = n!/m!(n-m)!$ ).

Между теоретико-множественными описаниями разных систем или их частей можно устанавливать соответствия. Для характеристики сходства множеств (подмножеств) можно использовать понятия *гомоморфизма* (см.), *изоморфизма* (см.), *автоморфизма*, отношения *рефлексивности*, *симметричности*, *транзитивности* (см. *Семиотические представления*), заимствованные теорией множеств из других разделов математики.

Для отображения систем важными понятиями являются понятия *ординарного* и *экстраординарного* множеств. Если множество сформировано из геометрических фигур, например треугольников, и принято условие, что формирование нового множества осуществляется в той же плоскости, то полученное новое множество будет также плоской геометрической фигурой, а, возможно, даже и треугольником. Такие множества относят к классу ординарных. Аналогично можно посмотреть на множество колебательных контуров, которые так же, как конденсаторы и катушки индуктивности, являются элементами радиотехнических устройств.

Однако, учитывая принципиально новые свойства колебательного контура, можно эту же ситуацию трактовать как формирование экстраординарного множества с принципиально новыми свойствами элементов. При формировании экстраординарного множества в примере с семьей изменяются не только свойства множества, но и суть и даже наименования исходных элементов («жених» → «муж», «невеста» → «жена»).

Важным понятием для освоения и использования ТМП является понятие *континуума* (от лат. continuum – непрерывный) – связного обобщающего множества (т.е. как бы единого непре-

рывного пространства), в рамках которого осуществляются операции над множествами (их изъятие, добавление новых, объединение, пересечение и т.п.).

В простейших случаях континуум может быть задан границей, которая не изымается даже в случае, если исключаемое множество (подмножество) вплотную смыкается с этой границей (в примерах, приведенных на рис. 2, роль континуума играет прямоугольник). Роль континуума может играть пустое множество, значительно больших потенциальных размеров, чем входящие в него подмножества. Но в более общем случае, особенно при отображении *открытой системы* (см.), в которую могут постоянно включаться новые подмножества с непредсказуемыми границами, континуум формируется как внешняя граница всех пересекающихся или другим образом взаимодействующих подмножеств, с помощью которых отображается система.

Понятно, что в случае моделирования развивающихся систем континуум постоянно видоизменяется, и его изменения, в том числе сохранение связности, нужно постоянно уточнять.

Благодаря тому, что в соответствии с первоначальной концепцией Кантора в случае применения теории множеств допустимо введение любых произвольных отношений, ТМП стали использоваться как обобщающий язык при сопоставлении различных направлений математики и других дисциплин, явились основой для возникновения новых научных направлений или развития существующих.

В частности, ТМП получили широкое распространение для уточнения ряда математических направлений (первой теорией, для которой на основе этих представлений были получены важные новые результаты, была *теория чисел*); сыграли большую роль в становлении комбинаторики, топологии, в разработке теории «размытых» множеств Л. Заде [6]; на их основе создавались первые информационно-поисковые языки, языки автоматизации моделирования; на ТМП базируется вариант математической теории систем М. Месаровича [9].

Использование ТМП при моделировании систем позволяет организовать взаимодействие и взаимопонимание между специалистами различных областей знаний. С их помощью можно записать различные определения системы и выбрать из них то, которое в наибольшей степени отражает концепцию исследователей, проектировщиков.

Конкретная система при первоначальном описании может быть отображена теоретико-множественной формулой, включающей наборы различных элементов (например,  $A, B, C$ ), отношений между ними ( $R$ ), которые могут быть также разделены на подмножества ( $R_1, R_2, R_3$  и т.д), свойств элементов ( $Q_a, Q_b, Q_c$ ) и свойств отношений ( $Q_r$ ); могут быть учтены множества входных воздействий  $X$  и выходных результатов  $Y$  [3]:

$$S = \langle A, B, C, R, Q_a, Q_b, Q_c, Q_r, X, Y \rangle. \quad (4)$$

Затем, по мере накопления сведений о системе, теоретико-множественная формула (4) может измениться и отразить взаимоотношения между группами множеств:

$$S = \langle \{x_i\} R_1 \{a_j\} R_2 \{b_k\} R_3 \{c_d\} \rangle, \quad (5)$$

а в дальнейшем описание может уточняться: могут быть введены подмножества и отношения между ними и их элементами; деление на подмножества может быть повторено неоднократно, и таким образом с помощью ТМП может быть отображена многоуровневая структура; отношения могут быть уточнены в виде набора правил преобразования множеств или подмножеств.

Как уже было отмечено, при использовании ТМП в принципе можно вводить любые отношения. Однако при произвольных отношениях в формализованном с их помощью описании проблемной ситуации довольно быстро могут обнаружиться неразрешимые противоречия – *парадоксы*, *апории* или *антиномии*, что не позволяет оперировать с получаемыми теоретико-множественными моделями таким же образом, как с классическими математическими соотношениями, гарантируя достоверность получаемых результатов.

В качестве примеров парадоксов приводят обычно: *парадокс лжеца* (нельзя дать положительного ответа на вопрос: «Ты лжешь?»), *парадокс парикмахера*, которому отдано распоряжение «брить всех мужчин в полку, которые не бреются сами».

Действительно, если попытаться формально записать ситуацию парадокса парикмахера, то возникает неразрешимое противоречие: парикмахер  $X$  принадлежит множеству одновременно мужчин  $M_1$ , которые не бреются сами и которых по распоряжению он *обязан брить*, и множеству тех мужчин  $M_2$ , которые *бреются сами* и которых согласно распоряжению он брить не дол-

жен, и эти множества  $M_1$  и  $M_2$  не пересекаются и не входят одно в другое, т.е. должно иметь место:  $X \in M_1, X \in M_2, M_3 = M_1 \cap M_2 = \emptyset$ , что невозможно.

С примерами антиномий можно познакомиться в популярной брошюре Н.Я. Виленкина [2], в которой наряду с известными парадоксами приводятся ситуации возможности получения в случае применения ТМП «безразмерных гостиниц» лемовского героя Йона Тихого\*.

Примеры парадоксов легко можно найти во многих высказываниях неформализованного текста, например, «Ты должен сам любить меня» (если «должен», то «не сам»; если «сам», то никому ничего «не должен»).

На этом свойстве текстов основаны некоторые психологические тесты.

Эта принципиальная особенность текстов не позволяет однозначно отразить с их помощью проблемные ситуации и требует перевода текстов в формализованные описания с использованием специализированных знаковых систем, языков, в которых по возможности устранены парадоксы. Для разработки таких языков могут быть использованы ТМП, которые позволяют выявлять и устранять парадоксы, ограничивая при этом свободу выбора отношений, т.е., строго говоря, огрубляя качественное описание, уменьшая его полноту.

Такие ограничения в случае применения ТМП можно делать осознанно, фиксировать и пересматривать при необходимости. При разработке языков моделирования полезно ознакомиться с конструктивной теорией множеств (см., например, в [7]).

- 1. Бурбаки Н. Теория множеств / Н. Бурбаки. – М.: Мир, 1965. 2. Виленкин Н.Я. Рассказы о множествах / Н.Я. Виленкин. – М.: Наука, 1969.
- 3. Волкова В.Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974. 4. Волкова В.Н. Методы формализованного представления систем: учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1993. 5. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 102–109. 6. Заде Л. Теория линейных систем / Л. Заде, Г. Дзоер. – М.: Наука, 1970. 7. Карри Х. Основания математической логики / Х. Карри. – М.: Мир, 1969. 8. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженеров / О.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 9. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, И. Такахара. – М.: Мир, 1978. 10. Сигорский В.П. Матема-

\*Лем С. Звездные дневники Йона Тихого. – Собр. соч. – Т. 7. – 1994.

тический аппарат инженера / В.П. Сигорский. – Киев: Техніка, 1977. 11. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов/Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 12. Черч А. Введение в математическую логику / А. Черч. – М.: Иностр. лит., 1960. – С. 66–80. В.Н. Волкова

**ТЕОРИЯ ИГР (ТИ)** – раздел современной математики, изучающий математические модели конфликтных ситуаций, т.е. таких, при которых интересы участников либо противоположны (эти модели называются *антагонистическими играми*), либо не совпадают, хотя и не противоположны (*игры с противоположными интересами, неантагонистические игры*).

Основоположниками ТИ являются Дж. фон Нейман и О. Morgenштерн [14]. Они попытались математически описать характерные для экономики явления как некоторую игру. Например, они ставили задачу оптимизации поведения субъектов рынка.

В последующем ТИ стала рассматриваться как теория принятия решений, реализующих поставленные цели в условиях неопределенности информационной ситуации. Однако в ТИ рассматриваются и игры с полной информацией (т.е. в условиях определенной ситуации). Разумеется, ТИ, как и любая другая математическая теория, не охватывает все разнообразные задачи в конфликтных ситуациях. Она рассматривает ситуации, характеризующиеся определенной системой правил-ограничений и имеющих некоторую формальную структуру.

Суть игры в том, что каждый из участников принимает такие решения (выбирает стратегию действий), которые, как он полагает, обеспечивают ему наибольший выигрыш или наименьший проигрыш, причем этому участнику игры ясно, что результат зависит не только от него, но и от действий партнера (или партнеров).

Особое место среди условий, в которых приходится принимать решения, занимают условия *конфликта*. Конфликтом естественно называть всякое явление, применительно к которому имеет смысл говорить, кто и как в этом явлении участвует, каковы его возможные исходы, кто в этих исходах заинтересован и, наконец, в чем состоит эта заинтересованность.

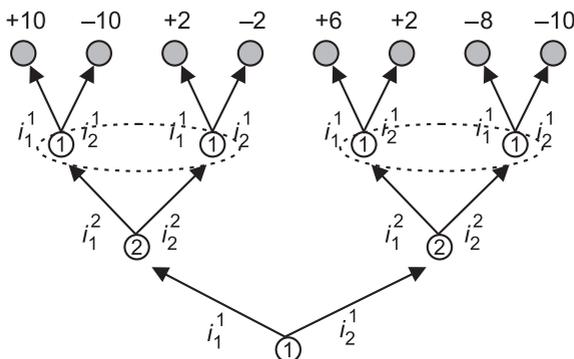
В рамках ТИ принимаемые решения выступают как достаточно упрощенные и идеализированные схемы реальных явлений. ТИ есть теория математических моделей.

Для формального описания игры необходимо, чтобы были определены:

- множество возможных ходов  $M_i$  для каждого игрока  $u_j$ ;
- платежная функция (функция полезности)  $F$ , определенная для заключительной ситуации  $b$  или для каждой точки  $b_i$  из множества заключительных ситуаций;
- правила выделения множеств  $M'_i$  из множества  $M_i$  для каждой ситуации  $b_i$  и игрока  $u_j$  (правила выбора ходов).

Наиболее развита теория *матричных позиционных игр двух лиц*, основные положения которой изложены, например, в [2–7, 10–17].

Геометрически такую игру можно представить на рисунке в виде «дерева» игры. Узлы этого «дерева» соответствуют возможным ситуациям в игре, а заключительным ситуациям – «закрашенные» узлы. Номер игрока, делающего ход, при данной ситуации указан внутри каждого из узлов. Множества  $M_i$  изображаются множеством ветвей, выходящих из данного узла. Около заключительных ситуаций написано распределение выигрышей и проигрышей между игроками после окончания игры.



Любая последовательность ходов, сделанных игроками в процессе игры, определяет партию игры. Число различных партий равно числу заключительных ситуаций и является важным признаком при исследовании игр.

Выбор игроком  $u_i$  того или иного хода на данном шаге игры называется ходовой альтернативной стратегией игрока, а набор указаний, который позволяет игроку в любой ситуации игры (точнее, при любой информации об игре) выбирать ход – полной стратегией игры, или просто стратегией игрока  $u_i$ .

При обозначении ходовых стратегий на рисунке верхний индекс указывает номер игрока, которому принадлежит эта стратегия, нижний –

порядковый номер ходовой стратегии в множестве стратегий данного игрока.

Пунктирной линией на рисунке обведены вершины «дерева», которые игрок по правилам игры не может различать на данном шаге. Например, на третьем шаге игрок 1, если он выбрал на первом шаге ход  $i_1^1$ , знает, что игрок 2 может выбрать либо  $i_1^2$ , либо  $i_2^2$ , но не может знать, какой именно из ходов выбрал игрок 2, т.е. игрок 1 не знает, в какой из этих двух возможных ситуаций, ограниченных пунктиром, находится в данный момент игра. Совокупность ситуаций, попавших внутрь пунктирной линии, называется информационным множеством. В играх с полной информацией такие множества состоят из одной ситуации.

Стратегия выбирается игроком на основе некоторой решающей функции, определенной на множестве стратегий. Эта функция может быть представлена, например, в виде платежной матрицы, которая называется матрицей игры. Для игры, «дерево» которой приведено на рисунке, матрица имеет вид таблицы, где  $S_1^1 = i_1^1, i_1^1$ ;  $S_2^1 = i_1^1, i_2^1$ ;  $S_3^1 = i_2^1, i_1^1$ ;  $S_4^1 = i_2^1, i_2^1$  – последовательности ходов игрока  $u_1$ ;  $S_1^2 = i_1^2$ ;  $S_2^2 = i_2^2$  – последовательности ходов игрока  $u_2$ .

$$\begin{array}{cc}
 & S_1^2 & S_2^2 \\
 S_1^1 & \left[ \begin{array}{cc} +10 & +2 \end{array} \right] \\
 S_2^1 & \left[ \begin{array}{cc} -10 & -2 \end{array} \right] \\
 S_3^1 & \left[ \begin{array}{cc} +6 & -6 \end{array} \right] \\
 S_4^1 & \left[ \begin{array}{cc} +2 & -10 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Положительные элементы матрицы соответствуют выигрышам игрока  $u_1$ , отрицательные – выигрышам игрока  $u_2$ .

Действия игрока направлены на поиск стратегии, при которой его выигрыш максимален. Для игрока  $u_1$  полная стратегия оптимальна при

$$\max_i \{ \min_j a_{ij} \}, \quad (1)$$

где  $a_{ij}$  – элементы матрицы игры;  $i = 1, 2, \dots, l$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;

$l$  – число полных стратегий игрока  $u_1$ ;

$m$  – число полных стратегий игрока  $u_2$ .

Оптимальная стратегия для игрока  $u_2$  будет достигнута при

$$\min_j \{ \max_i a_{ij} \},$$

где  $i = 1, 2, \dots, l$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ .

Эти оптимальные стратегии называются максиминной и минимаксной соответственно.

Если выполняется равенство (теорема о минимаксе)

$$\max_i \{ \min_j a_{ij} \} = \min_j \{ \max_i a_{ij} \}, \quad (2)$$

то говорят, что игра имеет седловую точку, и элемент матрицы, определяемый на основании (2), называется *ценой* игры.

Игры с седловой точкой называются *играми с чистыми стратегиями*.

Такие игры заканчиваются, как только игроки, произведя полный анализ матрицы игры, выберут свои оптимальные стратегии.

Однако в матрице игры может не быть седловой точки.

Например, для игры с матрицей  $\begin{bmatrix} +10 & -5 \\ -10 & +5 \end{bmatrix}$

$$\max_i \{ \min_j a_{ij} \} = -5; \quad \min_j \{ \max_i a_{ij} \} = 5. \quad (3)$$

В этих случаях игрокам при выборе стратегии следует избегать какой-либо закономерности, так как на основе анализа его игры противник может разгадать принятую закономерность и пользоваться случайным набором полных стратегий (выбор может определяться законом распределения полных стратегий). Иными словами, игры, в матрице которых нет седловой точки, не могут быть описаны в рамках аналитических представлений, для их описания требуется привлекать вероятностные оценки.

Стратегия, определяемая последовательным выбором полных стратегий на основе закона распределения этих стратегий, называется *смешанной*. В отличие от нее стратегии, рассмотренные ранее, называют *чистыми* стратегиями.

Цена игры в играх со смешанными стратегиями определяется в виде математического ожидания, которое характеризует максиминную смешанную стратегию игрока  $u_1$  и минимаксную смешанную стратегию игрока  $u_2$ .

Возможность минимаксных и максиминных стратегий (чистых и смешанных) определяется фундаментальной теоремой ТИ, доказанной Дж. фон Нейманом в 1928 г., – теоремой о минимаксе [14]:

«Для антагонистических игр двух лиц всегда существуют оптимальные смешанные стратегии для игроков  $u_1$  и  $u_2$ , и оптималь-

ная смешанная стратегия для  $u_1$  является его смешанной минимаксной стратегией».

Смысл принципа минимакса можно выразить следующим образом: стремление «противника» максимизировать наши минимальные потери равнозначно нашему стремлению минимизировать наши максимальные потери.

В наиболее простом случае речь идет о противоборстве только двух противников (например, двух конкурентов, борющихся за рынок сбыта). В более сложных случаях в игре участвуют многие, причем они могут вступать между собой в постоянные или временные коалиции, союзы.

Игра двух лиц называется *парной*. Когда в игре участвуют  $N$  игроков – это игра  $N$  лиц, а в случае образования коалиций игра называется *коалиционной*.

Имеются исследования, распространяющие основные положения классической матричной ТИ двух лиц на игры с числом участников больше двух.

В частности, в 1951 г. Дж. Нэш доказал аналогичную теореме Дж. фон Неймана для матричных игр теорему о существовании ситуаций равновесия в смешанных стратегиях для *безкоалиционных* игр.

Однако общей теории для игр с произвольным числом участников  $N$ , большим, чем 2, не существует.

Наиболее развиты для игр с большим числом игроков методы *коалиционных игр*, в которых участники в процессе игры могут образовывать временные или постоянные коалиции с договорным распределением выигрыша.

Здесь принимающему решения субъекту приходится считаться не только со своими собственными целями, но также с теми целями, которые ставят перед собой его партнеры. Помимо этого он должен учитывать, кроме известных ему обстоятельств конфликта, еще и те решения, которые принимают его противники и которые ему самому неизвестны.

Формальную модель для этого класса игр можно представить следующим образом.

**Формальная модель конфликта.** Пусть принимающие участие в конфликте стороны суть элементы некоторого абстрактного множества (их принято называть игроками, а подмножества игроков, которые являются действующими сторонами в конфликте, – коалициями действия (обозначим их  $\mathfrak{X}_d$ ).

Каждая из коалиций действия  $K$  принимает некоторое решение из некоторого множества  $S_k$  доступных для нее решений. Элементы множества  $S_k$  называются стратегиями коалиции  $K$ . Выбор каждой из коалиций действия некоторой стратегии определяет то, что естественно назвать *исходом конфликта*. Допустимо, чтобы тот или иной из этих исходов был множеством явлений с вероятностной мерой на нем. Кроме того, некоторые комбинации выбранных коалициями действия стратегий могут оказаться несовместимыми и потому неосуществимыми.

Все исходы конфликта называются *ситуациями*. Ситуации составляют некоторое множество  $S$ , являющееся подмножеством множества всех комбинаций стратегий коалиций действия, т.е. декартова произведения множества стратегий:

$$S \subset \prod_{K \in \mathfrak{K}_d} S_K. \quad (4)$$

Заинтересованные в исходах конфликта стороны называются *коалициями интересов* (обозначим их  $\mathfrak{K}_U$ ).

Во многих реальных конфликтах могут встречаться коалиции действия, не являющиеся коалициями интересов, и наоборот.

Рассмотрим форму выражения заинтересованности для коалиции интересов. Эта заинтересованность проявляется в том, что каждая из этих коалиций предпочитает одни исходы конфликта другим. Это описывается в виде некоторого отношения предпочтения – абстрактного бинарного отношения  $\succ_K$  на множестве всех ситуаций. Тот факт, что коалиция интересов  $K$  предпочитает ситуацию  $x$  ситуации  $y$ , обозначается как  $x \succ_K y$ .

Вообще говоря, никаких свойств  $\succ_K$  (кроме его бинарности) не предполагается, хотя обычно оно считается транзитивным (т.е. из  $x \succ_K y$  и  $y \succ_K z$  следует  $x \succ_K z$ ). В частности, не требуется, чтобы отношение было линейным, т.е. любые две ситуации были сравнимы одна с другой.

На множестве ситуаций  $S$  определяется функция  $H_K$ , принимающая вещественные значения и называемая *функцией выигрыша коалиции интересов  $K$* . Ее значение  $H_K(x)$  понимается как выигрыш, который коалиция  $K$  получает в ситуации  $x$ . Естественно принять, что  $x \succ_K y$ , если  $H_K(x) > H_K(y)$ .

Итак, формальное описание конфликта состоит в задании системы

$$\Gamma = [\mathfrak{R}_d \{S_K\}_{K \in \mathfrak{R}_d}, S, \mathfrak{R}_U, \{>_K\}_{K \in \mathfrak{R}_U}], \quad (5)$$

где перечисленные в квадратных скобках множества и отношения связаны между собой, как это было уже описано. Такая система является формальной моделью конфликта, которая и называется игрой.

**Формализация принятия решения.** Рассмотрим два аспекта этого вопроса. Необходимо представлять, в каком смысле и до какой степени коалиция в состоянии отличать свои стратегии как одну от другой, так и от иных объектов, не являющихся ее стратегиями. Если множество стратегий у коалиции действия конечно, то такого рода различия для нее потенциально осуществимы и эта сторона вопроса о выборе стратегии отпадает. В противном же случае не критические представления о неограниченных возможностях выбора стратегии приводят к слишком большой свободе в конструировании самих игр и, как следствие этого, – к построению игр, анализ которых приводит к парадоксальным явлениям.

Понятие оптимальности принимаемого решения расширяется до понятия *компромиссного решения* и поддается формализации значительно труднее, чем понятия конфликта и принятия решения.

Пусть необходимо максимизировать значение функции  $f$ , которая задана на некотором множестве  $M$  и принимает вещественные значения. При этом будем предполагать, что в нашей власти выбрать любую точку или любые точки множества  $M$ .

Поставленную задачу можно сформулировать несколькими эквивалентными способами. Например:

- найти точки  $x$ , в которых значение функции  $f$  не меньше ее значений в каких-либо других точках  $M$ :  $f(x) \geq f(y)$ ,  $y \in M$ ;
- найти такие точки  $x$ , что любое отклонение от них в пределах множества  $M$  не увеличивает значение функции  $f$ ;
- найти такое множество точек  $R$ , что для произвольных  $x$ ,  $y \in R$  не может быть  $f(x) > f(y)$ , а для любой точки  $z \in R$  найдется такая точка  $x \in R$ , что  $f(x) > f(z)$ .

Если вместо максимизации значения функции будем заниматься поисками наиболее предпочтительной точки в множестве  $M$  в условиях линейного отношения предпочтения на этом множестве,

то эти формулировки останутся эквивалентными. Но если отношение предпочтения нелинейно, то приведенные формулировки перестают быть эквивалентными.

**Классификация игр.** Формальное определение игры оставляет широкую свободу выбора конкретных возможностей для компонентов, составляющих игру. Налагая на эти компоненты те или иные ограничения, можно получать различные классы игр.

В качестве первого классификационного признака выступает *множество коалиций интересов*  $\mathfrak{X}_U$ . Если это множество пусто, то конфликт вырождается в явление, в исходах которого никто не заинтересован. Если множество  $\mathfrak{X}_U$  состоит из единственной коалиции интересов, то также утрачивается конфликт в обычном смысле этого слова. Собственно ТИ начинается тогда, когда множество  $\mathfrak{X}_U$  насчитывает не менее двух заинтересованных сторон.

Следующим признаком классификации является *число коалиций действия*. Рассмотрение игр с пустым множеством коалиций лишено смысла. Если же в игре имеется хотя бы одна коалиция действия  $K$ , то исследование игры становится содержательным. В этом случае имеется единственное множество стратегий  $S_K$ , а множество всех ситуаций является его подмножеством  $S \in S_K$ . Для таких игр стратегии совпадают с ситуациями. Их принято называть *нестратегическими*. К числу таких игр относятся *кооперативные игры*, их обобщения, а также так называемые *арбитражные схемы*, *теория угроз* и *схемы рыночного типа* (одна из них – модель рынка по Эджварту).

Общая схема нестратегической игры состоит в следующем. Некоторое действующее начало (единственная коалиция действия) способно породить любую ситуацию из заранее заданного множества. Заинтересованные начала (коалиции интересов) на основании имеющихся для них отношений предпочтения для ситуаций предъявляют к ситуациям те или иные требования. Совкупность этих требований имеет значение принципа оптимальности: ситуация, удовлетворяющая им, называется *оптимальной*.

Нестратегическим играм противостоят игры, в которых участвуют более одной коалиции действия. Эти игры называются *стратегическими*. В большинстве работ по ТИ рассматриваются стратегические игры, в которых множества коалиций действия и коалиций интересов совпадают (как те, так и другие коалиции называются в этом случае игроками), множество ситуаций совпадает с декартовым произведением множества стратегий:

$$S = \prod_{k \in \mathfrak{R}_d} S_k, \quad (6)$$

а отношения предпочтения (для игроков) определяются соответствующими функциями выигрыша. Такие игры называют *безкоалиционными*. Безкоалиционная игра может быть задана в виде системы

$$\Gamma = [I, \{S_i\}, i \in I, \{H_i\}, i \in I], \quad (7)$$

где  $I$  – множество игроков;

$S_i$  – множество стратегий игрока  $i$ ;

$H_i$  – его функция выигрыша, т.е. функция, заданная на множестве всех ситуаций и принимающая вещественные значения.

Важным частным случаем безкоалиционной игры является уже рассмотренная игра с двумя игроками, в которой значения функций выигрыша в любой ситуации равны по величине и противоположны по знаку:

$$H_I(S) = -H_{II}(S). \quad (8)$$

Такие игры называются *антагонистическими*, или *играми двух лиц с нулевой суммой*. Процесс протекания безкоалиционной игры следующий: каждый из игроков независимо от остальных выбирает некоторую стратегию; после того как сформировалась некоторая ситуация, каждый игрок получает выигрыш, равный значению своей функции выигрыша в этой ситуации.

Принцип оптимальности в безкоалиционных играх называют *принципом осуществимости цели*. В случае антагонистической игры этот принцип превращается в принцип максимина, а ситуации равновесия становятся седловыми точками.

Отсутствие у игр решений достаточно успешно преодолевается введением «смешанных стратегий».

В ТИ используются разного рода редукции одних игр к другим, более просто устроенным. Например, сведение многошаговых игр к матричным, а также введение редуцированной формы кооперативных игр. Простейшими исчислениями игр можно в известном смысле считать *игры на выживание*, *стохастические*, *рекурсивные* и *дифференциальные* игры. Каждая из этих игр представляет собой семейство однотипных игр с фиксированным начальным состоянием. Процесс многошаговой игры оказывается

определенным образом устроенной системой переходов от одной такой игры к другой.

Перспективными являются следующие направления ТИ:

- теория дифференциальных игр [1], представляющая собой многошаговые процессы принятия решений, развертывающиеся во времени, при наличии логической связи между шагами. Эти игры в качестве аппарата исследования используют классические средства математического анализа – дифференциальные уравнения;

- теория модельных игр, базирующаяся на экспериментах, которые могут осуществляться с помощью моделирования алгоритма на вычислительных машинах; игры человека с моделью или моделей между собой могут помочь усовершенствовать алгоритм. Модельные игры являются наиболее перспективным средством исследования при принятии решений в условиях неопределенности;

- теория рефлексивных игр [8, 9], которая рассматривает имитацию рассуждений противника в процессе игры как компоненту собственного мыслительного процесса принятия решений.

Применение ТИ возможно в любой области человеческой деятельности. Имеются приложения ТИ к военно-техническим задачам, к социально-экономическим проблемам (поведение фирмы на рынке), к анализу технических систем и других ситуаций, в которых имеет место конфликт или принятие решений в условиях неопределенности.

При этом следует иметь в виду, что практическая реализация теоретико-игровых моделей часто затруднительна, поскольку выявление предпочтений, вычисление значений функции выигрыша не всегда объективно возможно, связано с проблемой измерений величин, особенно в социально-экономических системах с активными элементами, обладающими непредсказуемым поведением. В то же время качественные выводы, даваемые ТИ на основе приближенных или даже условных данных и имитационного моделирования, могут принести большую пользу при решении конкретных задач.

- 1. Айзекс Н. Дифференциальные игры / Н. Айзекс. – М.: Мир, 1967.
- 2. Вентцель Е.С. Элементы теории игр / Е.С. Вентцель. – М.: Физматгиз, 1961.
- 3. Волкова В.Н. Методы формализованного представления (отображения) систем: текст лекций / В.Н. Волкова, Ф.Е. Темников. – М.: ИПКИР, 1974. – С. 16–17, 95–99.
- 4. Воробьев Н.Н. Теория игр / Н.Н. Воро-

бьев. – М.: Знание, 1976. 5. Воробьев Н.Н. Теория игр: лекции для экономистов-кибернетиков / Н.Н. Воробьев. – Л.: ЛГУ, 1974. 6. Дюбин Г.Н. Введение в прикладную теорию игр / Г.Н. Дюбин, В.Г. Суздаль. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. 7. Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике / С. Карлин. – М.: Мир, 1964. 8. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры / В.А. Лефевр. – М.: Высшая школа, 1967. 9. Лефевр В.А. Алгебра конфликта / В.А. Лефевр, Г.Л. Смолян. – М.: Знание, 1968. 10. Льюис Р.Д. Игры и решения / Р.Д. Льюис, Х. Райфа. – М.: Иностран. лит., 1961. 11. Мак-Кинси Дж. Введение в теорию игр / Дж. Мак-Кинси. – М.: Физматгиз, 1960. 12. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 570–573. 13. Матричные игры / Сб. переводов под ред. Н.Н. Воробьева. – М.: Физматгиз, 1961. 14. Нейман Дж. фон. Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн: пер. с англ. – М.: Наука, 1970. 15. Оуэн Г. Теория игр / Г. Оуэн. – М.: Мир, 1971. 16. Позиционные игры / Сб. переводов под ред. Н.Н. Воробьева. – М.: Наука, 1967. 17. Поспелов Д.А. Игры и автоматы / Д.А. Поспелов. – М.: Энергия, 1967. С.В. Широкова

**ТЕОРИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ** предложена в работе М. Месаровича, Д. Мако и И. Такаха-ра [1]. Основу теории составляют иерархические структуры особого вида, для названия которых предложены специальные термины *страты* (см.), *слои* (см.) и *эшлоны* (см.).

Предлагая теорию, авторы стремились найти компромисс между простотой построения или отображения системы, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемом или проектируемом объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта и его компонентов.

В качестве пути решения этой проблемы авторы предлагают задание системы многоуровневыми структурами, каждый уровень которых имеет характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывается поведение системы на этом уровне.

Каждый из видов предложенных многоуровневых структур имеет свои особенности. Но общим для иерархических структур (систем) такого вида является отсутствие в них принципов строгого подчинения и управления, единоначалия и единства распорядительства, характерных для древовидных иерархических структур, являющихся основой традиционных математических моделей и организационных структур управления.

Понятие многоуровневой иерархической структуры введено в [1] следующим образом: система представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем (страт, слоев, эшелонов); при этом некоторые (или все) подсистемы имеют права принятия решений, а иерархическое расположение подсистем определяется тем, что нижележащие страты или компоненты эшелонированной структуры находятся под влиянием или в какой-то мере управляются вышестоящими.

Основной отличительной особенностью многоуровневых систем является предоставление подсистемам всех уровней определенной свободы в выборе их собственных решений, причем эти решения могут быть (но не обязательно) не теми решениями, которые бы выбрал вышестоящий уровень.

В [1] показано, что предоставление свободы действий в принятии решений компонентам иерархических многоуровневых систем повышает эффективность их функционирования.

Подсистемам предоставляется определенная свобода и в выборе целей. Поэтому, в частности, многоэшелонные структуры называют также *многоцелевыми*. В таких системах могут быть использованы разные способы принятия решений.

При предоставлении подсистемам прав самостоятельности в принятии решений могут возникать противоречащие одна другой («конфликтные») цели и решения, что затрудняет управление, но является в то же время одним из условий повышения эффективности функционирования системы.

Разрешение конфликтов достигается путем вмешательства вышестоящего эшелона. При этом воздействия вышестоящего уровня осуществляются не в форме жестких управляющих воздействий (как в древовидных иерархических структурах), а в форме координации.

Так, при применении моделей типа *слоев* или *уровней сложности*, определяющих для уменьшения неопределенности ситуации совокупности последовательно решаемых проблем, выделение этих проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышележащей проблемы определяло бы ограничения (допустимую степень упрощения) при моделировании на нижележащем уровне, т.е. снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, предоставляя самостоятельность в ее решении нижележащему уровню, но без утраты замысла решения общей проблемы.

В случае стратифицированного и эшелонированного представления систем в [1] разделены понятия собственно «управления» и «координации». Последняя может иметь разную силу воздействия («вмешательства») и осуществляется в разной форме. В связи с этим теорию многоуровневых систем М. Месаровича иногда называют *теорией координации*. В этой теории рекомендуется, чтобы в процессе принятия решений подсистемы не всегда стремились бы отстаивать свои интересы, доводя дело до конфликтных ситуаций, а вступали бы в коалиции.

Для обеспечения целостности системы, представленной многоуровневой структурой, наряду с координирующими воздействиями вышестоящих уровней на нижележащие используется поиск коалиций в пределах одного уровня. Такой способ управления дает основы для развития теории коалиций.

В зависимости от принятых принципов (*конфликты* или *коалиции*), силы и форм вмешательства вышестоящих в дела нижележащих процесс принятия решения может происходить по-разному, т.е. по-разному может быть организована система управления принятием решений, поэтому многоуровневые иерархические структуры называют также *организационной иерархией*.

Отношения, подобные принятым в многоуровневых структурах, реализуются в практике управления в форме *корпораций* и *холдингов*. Правила взаимоотношений между фирмами, банками, торговыми домами и другими организациями, входящими в корпорацию или холдинг, оговариваются в соответствующих договорах и других нормативно-правовых и нормативно-технических документах.

- 1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха. – М.: Мир, 1973. В.Н. Волкова

**ТЕОРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ (ТЕОРИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ)** – раздел математики, в котором изучаются свойства и разрабатываются методы решения различных экстремальных задач. Постановка всякой задачи оптимизации обязательно включает два объекта – *множество допустимых решений* (точек) и *целевую функцию* (в общем случае – функционал), которую следует максимизировать или минимизировать на допустимом множестве. Иногда, говоря о задаче оптимизации, имеют в виду поиск не минимума (максимума), а точной нижней (верхней) грани целевой функции на допустимом множестве.

В зависимости от типа целевой функции и вида допустимого множества получаем тот или иной раздел теории оптимизации. Основными среди них являются задачи математического программирования (см.): линейного, квадратичного, выпуклого, геометрического, нелинейного, дискретного, динамического, стохастического (см.), вариационное исчисление, теория оптимального управления.

В теории многокритериальной оптимизации максимизации (минимизации) подлежат сразу несколько целевых функций на одном и том же допустимом множестве. Поскольку на одном решении (в одной точке) экстремумы нескольких функций, как правило, не достигаются, то в этой теории ключевую роль играет понятие *парето-оптимального (эффективного, неулучшаемого) решения*. Последним является такое допустимое решение, которое не может быть улучшено (т.е. увеличено или уменьшено – в зависимости от того, максимизируется или минимизируется данная целевая функция) ни по одной целевой функции без ухудшения значения какой-то другой целевой функции. В настоящее время теория многокритериальной оптимизации является самостоятельным разделом теории оптимизации, в которой получен целый ряд важных теоретических результатов. Эта теория, кроме того, находит успешное применение в самых различных областях техники и экономики.

- 1. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф.П. Васильев. – М.: Наука, 1988.
- 2. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, Н. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985.
- 3. Иоффе А.Д. Теория экстремальных задач / А.Д. Иоффе, В.М. Тихомиров. – М.: Наука, 1974.
- 4. Моисеев Н.Н. Методы оптимизации / Н.Н. Моисеев, Ю.П. Иванюков, Е.М. Столярова. – М.: Наука, 1978.
- 5. Ногин В.Д. Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин. – М.: Высшая школа 1986.
- 6. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002.
- 7. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982.
- 8. Полак Э. Численные методы оптимизации. Единый подход / Э. Полак. – М.: Мир, 1974.
- 9. Пшеничный Б.Н. Численные методы в экстремальных задачах / Б.Н. Пшеничный, Ю.М. Данилин. – М.: Наука, 1975.

*В.Д. Ногин*

**ТЕОРИЯ СИСТЕМ** – термин, введенный в 30-е гг. XX в. Л. фон Берталанфи [2, 3, 32], которого считают основоположником этого направления. Биолог по основной профессии, Берталанфи первый доклад о своей новой концепции сделал на философском се-

минаре, пользуясь в качестве исходных понятий терминологией философии.

Основным новым понятием, введенным Берталанфи, было понятие *открытой системы* (см.).

Проведенные после публикации концепции Л. фон Берталанфи международные симпозиумы, часть трудов которых переведена на русский язык и опубликована в [9, 15], закрепили это направление как самостоятельное, расширили круг специалистов, принимавших участие в его развитии, хотя и не всегда пользовавшихся терминологией Л. фон Берталанфи.

Нужно отметить особую роль в становлении этого направления Э.Л. Наппельбаума, В.Н. Садовского, Э.Г. Юдина, обеспечивших перевод и издание первых сборников работ международных симпозиумов по теории систем [9, 15 и др.], С.П. Никанорова, инициировавшего перевод ряда первых зарубежных работ по системным исследованиям [16, 31].

Важный вклад в становление системных представлений внес в начале XX в. (еще до Л. фон Берталанфи) наш соотечественник А.А. Богданов [4]. Однако в силу исторических причин предложенная им всеобщая организационная наука *тектология* (см.) не нашла распространения и практического применения.

В нашей стране вначале теорию систем активно развивали философы [19, 20, 22, 25, 26, 27 и др.]. Ими были разработаны концептуальные основы, терминологический аппарат, исследованы закономерности функционирования и развития сложных систем, поставлены другие проблемы, связанные с философскими и общенаучными основами системных исследований. Ряд вариантов теории систем был предложен философами (А.И. Уёмов [26 и др.], Ю.А. Урманцев [20, 27], В.С. Тьютин [20, 25], В.Н. Садовский [19]).

Однако философская терминология не всегда легко преломляется к практической деятельности. Поэтому потребности практики привели к тому, что в 60-е гг. XX в. при постановке и исследовании сложных проблем проектирования и управления довольно широкое распространение получили термины:

*системотехника* (см.), предложенный в 1962 г. Ф.Е. Темниковым [23] (основателем первой в стране кафедры, развивающей теорию систем, созданной в Московском энергетическом институте и названной кафедрой системотехники) и широко используемый в последующем применительно к техническим системам;

*системология* (см.), предложенный в 1965 г. И.Б. Новиком и широко использовавшийся В.Т. Куликом [11], Б.С. Флейшманом [29]), В.В. Дружининым, Д.С. Конторовым [8] и др.

Отечественными и зарубежными специалистами по математике, техническим наукам, экономике был предложен ряд вариантов теории систем [1, 6–11, 13, 14, 23–29 и др.].

Для обобщения дисциплин, связанных с исследованием и проектированием сложных систем, служит термин *системные исследования* (см.) [22], а иногда сохраняется термин *системный подход* (см.), который широко использовался в первые годы становления теории систем в двух смыслах – в смысле методологического направления философии и в прикладном аспекте, как синоним понятия *комплексный подход*. В последнем случае многие работы только постулировали необходимость комплексности, многоаспектного рассмотрения проблемы, что в принципе уже было полезно, однако в этих работах не предлагались конкретные методы и методики, помогающие реализовать такой подход.

Наиболее конструктивным из направлений системных исследований в настоящее время считается *системный анализ* (см.), который впервые появился в работах корпорации RAND в связи с задачами военного управления в 1948 г. [12], получил распространение в отечественной литературе после перевода книги С. Оптнера «Системный анализ деловых и промышленных проблем» [16], широко использовался в работах Центрального экономико-математического института (работы Ю.И. Черняка [30] и др.), в работах томской школы системных исследований [17, 18 и др.] и других школ и в 80-е гг. XX в. был введен в учебные планы вузов нашей страны Ф.И. Перегудовым.

Первым учебником по теории больших систем управления для технических специальностей был учебник А.А. Денисова и Д.Н. Колесникова [7], первым учебником для специальностей по управлению экономикой – учебник коллектива авторов [21].

В настоящее время продолжают разрабатываться варианты теории систем, теоретические и прикладные – для различных конкретных областей.

- 1. Акофф Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери. – М.: Сов. радио, 1974. 2. Берталанфи Л. фон. История и статус общей теории систем / Л. фон Берталанфи // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37. 3. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор / Л. фон Берталанфи // Исследования по общей теор-

рии систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82. 4. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука: Тектология / А.А. Богданов. В 2 кн. – М., 1905 – 1924. 5. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 6. Гиг Дж. ван. Прикладная общая теория систем В 2 кн. / Дж. ван Гиг. – М.: Мир, 1981. 7. Денисов А.А. Теория больших систем управления: учеб. пособие для вузов / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. 8. Дружинин В.В. Проблемы системологии: проблемы теории сложных систем / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1976. 9. Исследования по общей теории систем: Сб. переводов / Под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. 10. Квейд Э. Анализ сложных систем / Э. Квейд. – М.: Сов. радио, 1969. 11. Кулик В.Т. Современная теория организации систем – системология / В.Т. Кулик. – Киев: Знание, 1971. 12. Лопухин М.М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М.: Сов. радио, 1971. 13. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, И. Такаха-ра. – М.: Мир, 1978. 14. Месарович М. Теория иерархических много-уровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха-ра. – М.: Мир, 1973. 15. Общая теория систем / пер. с англ. В.Я. Ахтаева и Э.Л. Напельбаума. – М.: Мир, 1966. 16. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер. – М.: Сов. радио, 1969. 17. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ / Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 18. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ: учеб. пособие / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989. 19. Садовский В.Н. Основания общей теории систем: Логико-методологический анализ / В.Н. Садовский. – М.: Наука, 1974. 20. Система. Симметрия. Гармония / Под ред. В.С. Тюхтина и Ю.А. Урманцева. – М.: Мысль, 1988. 21. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1990. 22. Системные исследования: Ежегодник, 1973. – М.: Наука, 1974–1983. 23. Темников Ф.Е. Высокоорганизованные системы / Ф.Е. Темников // В кн.: Большие системы: теория, методология, моделирование. – М.: Наука, 1971. – С. 85–94. 24. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. 25. Тюхтин В.С. Отражение, система, кибернетика: теория отражения в свете кибернетики и системного подхода / В.С. Тюхтин. – М.: Наука, 1972. 26. Уёмов А.И. Системный подход и общая теория систем / А.И. Уёмов. – М.: Мысль, 1978. 27. Урманцев Ю.А. Опыт аксиологического построения общей теории систем / Ю.А. Урманцев // Системные исследования: Ежегодник, 1971. – М.: Наука, 1972. – С. 128–152. 28. Урецкий Я.С. Системософия / Я.С. Урецкий // В сб. трудов VII Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 34–36. 29. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б.С. Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982. 30. Черняк Ю.И. Анализ и синтез систем в экономике / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1970. 31. Янг С. Системное управление организацией / С. Янг. – М.: Сов. радио, 1972. 32. Bertalanfy

**ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА** – это задача линейного программирования специального вида. Ее существо состоит в следующем.

Есть  $m$  пунктов отправления (поставщиков) груза  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , в которых сосредоточены запасы некоторой однородной продукции в объемах соответственно  $a_1, a_2, \dots, a_m$ , и  $n$  пунктов назначения (потребителей груза)  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , которые требуют данную продукцию в объемах соответственно  $b_1, b_2, \dots, b_n$ . Возможности поставщиков ограничены некоторыми числами, характеризующими количество единиц имеющейся у данного поставщика продукции. Соответственно потребности потребителей описываются некоторыми числами (указывающими количество единиц необходимой продукции). Продукция однородна, поэтому любой поставщик может предложить ее любому потребителю. Предполагается, что транспортировка продукции возможна от любого поставщика  $A_i$  к любому потребителю  $B_j$  и известны транспортные издержки  $c_{ij}$  перевозки единицы груза по маршруту  $A_i B_j$ . Стоимости таких перевозок составляют матрицу транспортных издержек. Нужно так организовать транспортировку продукции (груза) от поставщиков к потребителям, чтобы суммарные транспортные расходы были минимальными. Задача предполагается разрешимой в том смысле, что общий объем возможных поставок груза не должен быть меньше общего объема потребностей потребителей.

Экономико-математическая модель транспортной задачи в матричной постановке формулируется следующим образом.

Пусть  $c_{ij}$  – стоимость перевозки единицы продукции от  $i$ -го поставщика к  $j$ -му потребителю,  $a_i$  – максимальный объем возможных поставок  $i$ -го потребителя и  $b_j$  – объем потребностей  $j$ -го поставщика,  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ . Обозначим через  $x_{ij}$  величину объема перевозок от  $j$ -го поставщика к  $i$ -му потребителю.

Найти такие значения объема перевозок грузов, т.е. план перевозок – матрицу  $X = (x_{ij}), i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ , удовлетворяющую определенным условиям (2).

Математическая модель транспортной задачи имеет вид следующей задачи линейного программирования:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

при условиях:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ x_{ij} &\geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (2)$$

В задачах больших размерностей, связанных с планированием перевозок однородных массовых грузов (например, нефтепродуктов, угля, гравия, зерна и т.д.), как правило, имеются десятки пунктов отправления и сотни пунктов потребления данного груза. Если планирование перевозок осуществлять на основе классической транспортной задачи в матричной постановке, то потребуется предварительно рассчитать затраты  $c_{ij}$ , связанные с перевозкой единицы груза из каждого пункта отправления  $A_i$  в каждый пункт потребления  $B_j$ , и соответствующая матрица удельных затрат будет содержать тысячи элементов, что усложняет процедуру подготовки исходных данных при решении практических задач. Между тем реальные перевозки массовых грузов осуществляются по автомобильным, железнодорожным или водным транспортным сетям. Число коммуникационных участков в таких сетях обычно лишь немногим превосходит число связываемых пунктов. Поэтому естественно использовать информацию о затратах по перевозке единицы груза по каждому участку сети. Тогда при тех же десятках пунктов отправления груза и порядка сотни пунктов потребления исходная информация об удельных затратах будет содержать немногим более сотни величин.

Кроме того, при использовании экономико-математической модели транспортной задачи в матричной постановке не учитываются:

- ограничения по пропускным способностям отдельных коммуникаций;
- возможность перевозки груза в обоих направлениях между пунктами;
- наличие транзитных пунктов, через которые груз может перевозиться, хотя эти пункты не требуют этот груз.

В сетевой постановке ограничения и особенности такого рода учитываются. В частности, рассматривается перевозка однородного груза в транспортной сети, содержащей  $n$  пунктов (вершин, узлов), которые соединены  $r$  коммуникациями (дорогами).

Введем обозначения:  $k$  – номер пункта,  $k = \overline{1, n}$ , который с другими пунктами соединен коммуникациями (дорогами);  $s$  – номер дороги,  $s = \overline{1, r}$  (перевозка груза возможна в обоих направлениях движения по дороге);  $b_k$  – потребность  $k$ -го пункта в грузе (при этом если  $b_k < 0$ , то груз вывозится из этого пункта; если  $b_k > 0$ , то в пункт  $k$  ввозится груз в количестве  $b_k$ ; если же  $b_k = 0$ , то это транзитный пункт;  $C_s$  – стоимость перевозки единицы груза по  $s$ -й дороге,  $s = \overline{1, r}$ ;  $q_s$  – пропускная способность  $s$ -й дороги, т.е. по этой дороге нельзя провезти больше указанного количества,  $s = \overline{1, r}$ .

Аналогично может быть поставлена задача, в которой требуется составить план перевозок, который бы минимизировал суммарные транспортные издержки.

Обозначим допустимый план такой задачи  $x = (x_1, x_2, \dots, x_s, \dots, x_r)$ , где  $x_s$  – количество груза, которое везется по  $s$ -й дороге. В этом случае экономико-математическая модель транспортной задачи в сетевой постановке имеет следующий вид:

$$Z(x) = \sum_{s=1}^r x_s h_s \rightarrow \min;$$

$$\sum_{j_s \in k} x_{j_s} - \sum_{i_s \in k} x_{i_s} = b_k, k = \overline{1, n},$$

где  $j_s$  – все дороги, которые входят в пункт  $k$ ;

$i_s$  – все дороги, которые выходят из пункта  $k$ ;

$$x_s \leq q_s, \quad s = \overline{1, r},$$

$$x_s \geq 0, \quad s = \overline{1, r}.$$

Для решения транспортной задачи предложено много различных методов. По-видимому, наиболее эффективным среди них является так называемый *метод потенциалов*, который основан на теории двойственности (см. *Двойственная задача в линейном программировании*).

- 1. Ашманов С.А. Линейное программирование / С.А. Ашманов. – М.: Наука, 1981.
- 2. Канторович Л.В. Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков / Л.В. Канторович, М.К. Гавурин. – М.:

Изд-во АН СССР, 1949. 3. Ко н ю х о в с к и й П.В. Математические методы исследования операций в экономике / П.В. Ко н ю х о в с к и й. – СПб.: Издательство «Питер», 2000. 4. Л я ш е н к о И.Н. Линейное и нелинейное программирование / И.Н. Ляшенко, Е.А. Карагодова, Н.В. Черникова, Н.З. Шор. – Киев: Вища школа, 1975. 5. Н о г и н В.Д. Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин и др. – М.: Высшая школа, 1986. *В.Н. Юрьев, В.Д. Ногин*

## У

**УПРАВЛЕНИЕ** – в широком смысле функция системы, ориентированная либо на сохранение основного качества, т.е. совокупности свойств, утрата которых ведет к разрушению системы в условиях изменения *среды* (см.), либо на выполнение некоторой программы, обеспечивающей *устойчивость* (см.) функционирования, *гомеостаз* (см.), достижение определенной *цели* (см.).

Понятие *управление* не формализовано настолько, чтобы можно было дать его точное и при этом достаточно полное формальное описание.

Систему, в которой реализуется функция управления, называют *системой управления* и выделяют в ней две подсистемы: *управляющую* (осуществляющую функцию управления) и *управляемую* (объект управления).

В технических системах управляющую подсистему часто называют *системой регулирования*. Применительно к социально-экономическим системам используют термины *система организационного управления* (см.) и *система, реализующая основную деятельность* (производство, обслуживание и т.п.).

Однако разделение системы на управляющую и управляемую не всегда можно осуществить однозначно. В сложных развивающихся системах эти блоки могут быть совмещены. Такой режим называют *саморегулированием*.

Если управление осуществляется сознательно, то управляющая система создается *субъектом* управления (см. «*Наблюдатель*»), который формирует цель (цели) управления. Иногда субъект управления отождествляется с управляющей системой, а в качестве цели принимается выполнение программы управления.

Это особенно характерно для социально-экономических систем, но возможно и в технических (например, в системах телеуправления размещение на объекте управления устройства приема

и передачи информации можно относить как к объекту, так и к управляющей системе).

Для исследования процессов управления в технических системах разработана *теория автоматического управления*.

В этой теории термин *управление* используется в более узком смысле – как краткое название целенаправленного управляющего воздействия.

Большим достижением теории автоматического управления являются разработанные в ней общие принципы управления, которые названы *фундаментальными* [1–6] и представляются достаточно общими. Их пытаются применить и для управления в социально-экономических системах.

Основные из этих принципов следующие.

1. Принцип *разомкнутого*, или *программного*, управления. Сущность его состоит в том, что управление осуществляется с помощью заданного алгоритма или программы. Условно этот принцип управления представлен на рис. 1, на котором показаны: устройство, вырабатывающее программу или закон функционирования  $x(t)$ , устройство управления (которое принято обозначать специальным знаком – кругом, разделенным на секторы), вырабатывающее совокупность управляющих воздействий  $u(t)$ , объект управления, помехи  $z_j$ , выходной результат  $y_{\text{вых}}$ . В некоторых случаях блок выработки закона управления и управляющее устройство совмещены.

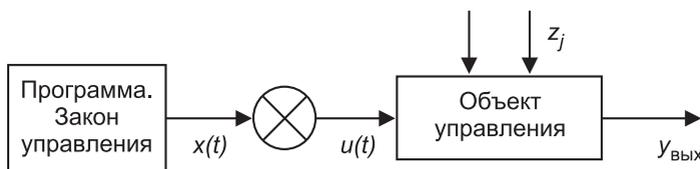


Рис. 1

Схема имеет вид разомкнутой цепи, в которой основное воздействие передается от входа к выходу, выполняя заданную программу (закон функционирования), что и дало название принципу.

При таком принципе управления помехи  $z_j$  могут исказить желаемое  $y_{\text{вых}}$ . Тем не менее благодаря простоте этот принцип широко используется. По нему построены устройства пуска музыкальной шкатулки, магнитофона и других аудиоустройств, станки с программным управлением, управление конвейером.

Подобием этого принципа можно считать управление работой раба в рабовладельческом обществе на начальной ступени его развития при жестоких рабовладельцах, не учитывавших потребности раба как человека, подавляющего его человеческое достоинство и принуждающего четко выполнять предписанную программу.

2. Принцип *компенсации*, или управления *по возмущениям*. Этот принцип называют также принципом управления *с упреждением*. При таком принципе используется устройство, измеряющее помехи и вырабатывающее компенсирующие воздействия, которые корректируют закон управления. Устройство такого рода называют *компенсирующим устройством*.

Принцип иллюстрируется рис. 2.

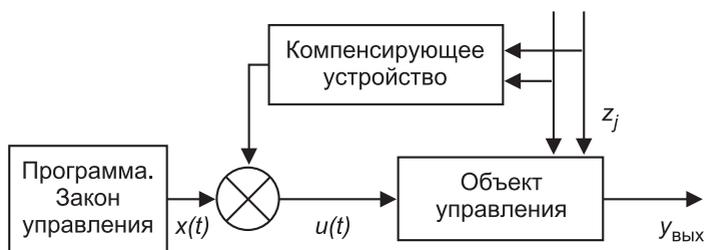


Рис. 2

Простейшим примером такого принципа являются устройства, обеспечивающие стабилизацию напряжения при колебаниях постоянного тока.

К настоящему времени в теории автоматического управления разработано много разнообразных компенсационных механизмов, в соответствии с типом которых выделяют соответствующие подклассы устройств и даже детализируют принцип компенсационного управления в соответствии с этими видами устройств.

Этот принцип используется при планировании на предприятиях: при разработке планов учитывается, что производительность труда зависит от износа оборудования, от квалификации рабочих, смены и т.п., и при расчете времени на выполнение плановых заданий вводятся соответствующие корректировки в форме коэффициентов износа оборудования, коэффициентов сменности и т.п.

Применительно к управлению обществом можно считать, что в условиях феодального строя помещик старался учитывать в какой-то мере человеческие потребности крепостного работника, чтобы избежать бунтов или снискать любовь крепостных, что обеспечивало условия для более эффективного их труда.

3. Принцип *обратной связи*, или управления *по отклонению*.

Этот принцип иллюстрируется на рис. 3, где показано, что получаемые значения  $y_{\text{вых}}$  корректируются на основе измерения отклонений  $\Delta y$  от требуемого результата  $y_{\text{треб}}$ , называемого в теории автоматического управления «уставкой».

Понятие обратной связи легко иллюстрируется на примерах технических и электронных устройств.

Однако при использовании этого понятия применительно к социально-экономическим системам оно не всегда верно интерпретируется.

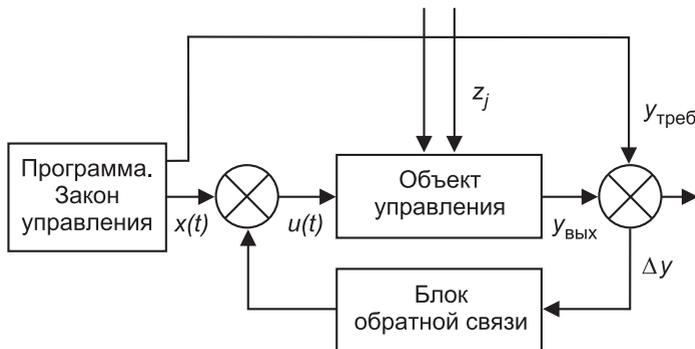


Рис. 3

Часто ограничиваются только фиксацией рассогласования  $\Delta y$  между требуемым  $y_{\text{треб}}$  и фактическим  $y_{\text{вых}}$  значением регулируемого параметра, а необходимо учитывать и реализовывать все элементы, не забывая замкнуть контур обратной связи, вырабатывая в блоке обратной связи соответствующие управляющие воздействия, которые скорректируют закон управления  $x(t)$ .

Обратная связь может быть отрицательной и положительной.

*Отрицательная обратная связь* противодействует тенденции изменения выходного параметра, т.е. направлена на сохранение, стабилизацию требуемого значения параметра (например, количества выпускаемой продукции и т.п.).

*Положительная обратная связь* сохраняет и усиливает тенденции происходящих в системе изменений того или иного выходного параметра (что используется при моделировании развивающихся систем).

Примером строя, основанного на использовании стабилизирующей (отрицательной) обратной связи в управлении, является классический капитализм: обратная связь обеспечивается регулированием рынка рабочей силы, т.е. увольнением работников при перепроизводстве товаров или, напротив, дополнительным приемом на работу при необходимости увеличить производство товаров.

4. Совмещение принципов обратной связи и управления с упреждением.

Для совершенствования управления используют различные способы совмещения принципов управления. В частности, модель типа приведенной на рис. 4. Такая модель является основой *адаптации* (см.).

Совмещение принципов используют и в социально-экономических системах. Поскольку реализация принципа обратной связи при развитии капиталистического строя сопровождается безработицей и социальными проблемами, используются компенсационные механизмы в форме социальных программ (пособие по безработице и т.п.), уменьшающих возможность кризисов.

По принципу обратной связи функционируют основные регуляторы организма человека (при прикосновении к горячему уютю человек автоматически отдергивает руку и т.п.). Такой эффект подобен работе термостата (регулятора температуры). Но регуляторы человека только в раннем детстве работают по принципу термостата. В последующем, обжегшись или оступившись несколько раз, ребенок приобретает условный рефлекс, оберегающий его от боли, и регуляторы человека начинают работать по принципу, называемому *гомеостазом* (см.), упрощенной моделью которого может быть сочетание принципов управления, приведенное на рис. 4.

Рассмотренные фундаментальные принципы управления в той или иной форме используются в различных областях управления – от регулирования в технических системах (применительно к таким системам в английском языке используются термины *control, rule, pilot* и т.п.) до управления коллективами людей (здесь обобщающий широкий термин «управление» даже в нашей стране стал заменяться термином «менеджмент» от английского *manage*).

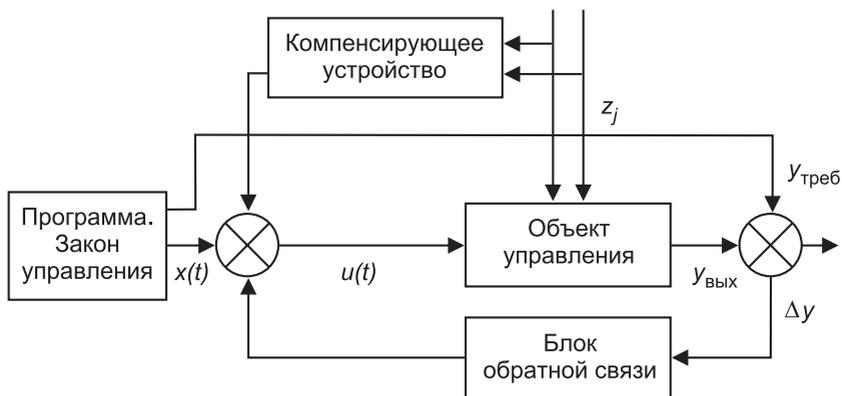


Рис. 4

Способы реализации этих принципов наиболее исследованы для управления в технических системах, не включающих социальные или экономические аспекты. А для социально-экономических систем эти принципы в большей мере используются как объяснительные, поскольку практически невозможно в управлении государством исследовать и учесть все многообразные «механизмы» регулирования – экономические, финансовые, социальные и т.д.

Поэтому в науках об управлении социальными коллективами и сообществами выделяют сферы управления (государством, предприятием, научным или учебным коллективом и т.п.) и для этих сфер разрабатывают более конкретные принципы управления, формы и методы их реализации.

В то же время есть в управлении сложными открытыми системами с активными элементами, в частности социально-экономическими системами, некоторые общие принципы и способы управления, которые имеет смысл кратко рассмотреть.

**Способы управления государством, предприятием.** Еще в период становления городов-государств Древней Греции возникли два способа управления коллективными работами и сообществами людей, которые существуют и по сей день:

1) введение правил взаимоотношений между людьми (правил этики, морали, заповедей, законов религии, в последующем – светских законов и правовых норм);

2) с помощью чиновничества (т.е. административного аппарата управления комплексом работ, общиной, городом, районом, государством).

При выборе первого способа управления говорят о «правовом государстве», управляемом системой законов («Власть – закону»), при выборе второго способа – о «тоталитарном государстве», управляемом единоличным диктатором или чиновничьим аппаратом («Власть – монарху» или «Власть – чиновникам»).

В современных условиях существуют, как правило, промежуточные формы, которые и являются предметом дискуссий политических партий, придерживающихся разных принципов по поводу форм и методов управления страной.

**Управление с помощью целеобразования.** Теория систем подсказывает еще один способ управления [8]. Он основан на закономерности *самоорганизации* (см.), в соответствии с которой активные элементы, входящие в систему, всегда являются носителями негэнтропийных тенденций.

На уровне человека и социальных коллективов эта закономерность реализуется с помощью *целеобразования*. Если человек ставит *цель* (см.), чего-то хочет сам, то он непременно стремится это реализовать.

Степень сопротивления зависит от типа личности, ее психологических характеристик: бывают конформисты, которые готовы делать то, что делают другие, или даже готовы подчиняться целям других людей, особенно если эти цели выработал коллектив, а бывают, напротив, личности с большой самостоятельностью мышления и сопротивляемостью навязываемым им мнениям и действиям.

Если использовать эту особенность человека как активного элемента социально-экономической системы, его стремление к реализации себя, к самостоятельной постановке своих целей (т.е. к целеобразованию, целеполаганию), то можно говорить о способе управления, использующем активность личности и ее стремление к целеобразованию [8, С. 190–192].

Способ самоорганизации, самоуправления характерен для творческих профессий. Он часто проявляется во время войн. В мирное время труднее использовать этот способ управления.

Но в истории нашей страны (20–30-е гг. XX в.) был период, когда члены общества с энтузиазмом работали ради поставленных коллективно целей («индустриализация», «строительство социализма» и т.д.).

Способ управления, основанный на участии в целеобразовании активных элементов (человек, предприятие, регион и т.п.), является перспективным. Но этот способ – самый сложный. Не все люди способны к целеобразованию и стремятся участвовать в формулировании целей.

Зарубежные исследователи утверждают, что активных личностей в стране около 10%, а большинство населения страны готово выполнять цели, поставленные руководством.

Первые два из рассмотренных способов управления основаны на *принуждении*: административном или с помощью установленных законов (второе – более демократичное, но все-таки принуждение).

Основа третьего способа – способность человека, предприятия, региона и т.п. к *самоорганизации* (см.).

В каждой конкретной ситуации нужно выбирать разумное сочетание этих принципов с учетом необходимости и возможности их реализации.

Термин «управление» в социально-экономических системах охватывает широкий спектр понятий и функций – *планирование, организация, регулирование* и т.д. Для реализации этих функций разрабатывают специальные методы и модели. Для обеспечения управления такими системами полезно учитывать *закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби* (см.) и другие *закономерности систем* (см. Введение).

- 1. В о р о н о в А.А. Основы теории автоматического управления: Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем. Изд. 2-е, перераб. / А.А. Воронов. – М.: Энергия, 1980. 2. В о р о н о в А.А. Основы теории автоматического управления: особые линейные и нелинейные системы. Изд. 2-е, перераб. / А.А. Воронов. – М.: Энергия, 1981. 3. К р а с о в с к и й А.А. Основы автоматики и технической кибернетики / А.А. Красовский, Г.С. Поспелов. – М.: Госэнергоиздат, 1962. 4. П о п о в Е.П. Автоматическое регулирование и управление / Е.П. Попов. – М.: Физматгиз, 1962. 5. Т е х н и ч е с к а я кибернетика: теория автоматического регулирования. Кн. 3 / Под ред. В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1969. 6. Ю р е в и ч Е.И. Теория автоматического управления. / Е.И. Юревич. – Л.: Энергия, 1969. 7. В о л к о в а В.Н. Основы теории систем и системного анализа: / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. Изд. 3-е – СПб.: СПбГПУ, 2003. 8. В о л к о в а В.Н. Искусство формализации / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 1999. В.Н. Волкова

**УСТОЙЧИВОСТЬ.** Под *устойчивостью* в широком смысле понимают способность системы возвращаться в состояние равно-

весия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием *внешних* (или в системах с активными элементами – *внутренних*) возмущающих воздействий. Эта способность обычно присуща системам при постоянном значении выходных результатов только тогда, когда отклонения не превышают некоторого предела.

Простейшим случаем устойчивого состояния системы является *равновесие* (см. Введение), т.е. такое состояние, в котором система остается сколь угодно долго при отсутствии возмущающих воздействий.

Состояние равновесия, в которое система способна возвращаться после воздействия на нее возмущающих воздействий, называют *устойчивым состоянием равновесия*. Возврат в это состояние может сопровождаться колебательным процессом. Соответственно в сложных системах возможны неустойчивые состояния равновесия.



Рис. 1

Понятие устойчивости обычно поясняют на примерах: простейший пример – устойчивое состояние шарика в ямке до величины отклонений (под воздействием внешних возмущений), которые не выбрасывают его из ямки (рис. 1).

Для технических систем разработана теория устойчивости, основы которой были заложены А. Пуанкаре и А.М. Ляпуновым. В этой теории сформировалось достаточно большое число методов и моделей исследования устойчивости, критериев определения устойчивости: критерии Рауса–Гурвица, Найквиста, Михайлова.

Понятия *равновесия* и *устойчивости* в социально-экономических системах, несмотря на кажущуюся аналогию с техническими, – гораздо более сложные понятия, и ими можно пользоваться в основном как некоторыми аналогиями для предварительного описания *поведения* (см. Введение) системы, вводя для оценки этих состояний некоторые косвенные характеристики.

Тем не менее для пояснения проблемы устойчивости в социально-экономических системах вначале пытались использовать аналогии с техническими системами, понятия и методы *теории автоматического управления* (ТАУ).

В частности, при анализе устойчивости экономических процессов применялись метод логарифмических частотных характе-

ристик, разработанный для динамических систем высокого порядка, некоторые из методов анализа устойчивости нелинейных систем (например, метод гармонического баланса).

Первые объяснительные модели стабилизации функционирования социально-экономических систем базировались на одном из фундаментальных принципов ТАУ – принципе обратной связи. При этом с учетом сложности процессов в таких системах предлагалось представлять процессы в них в виде совокупности контуров обратной связи по различным контролируемым параметрам, взаимодействие между которыми не предусматривалось.

Такого рода идея была положена в основу создания первой очереди автоматизированных систем управления (АСУ): контролировались и регулировались разрозненные параметры, «уставки» для которых, как правило, вырабатывались независимо одна от другой.

В последующем стали разрабатывать модели, в которых принимались попытки объединения разрозненных параметров.

Например, Ю.И. Черняк [12] предложил многоконтурную модель регулирования в виде совокупности контуров обратной связи по различным регулируемым параметрам объекта. Корректирующие команды вырабатываются в соответствии с «уставкой», которую можно определять на основе цели управления, входящей в систему задающим блоком. Цель структурируется на подцели-«уставки» для различных регулируемых параметров.

На отображении обратных связей (положительных и отрицательных) основаны также имитационные динамические модели (ИДМ) Дж. Форрестера [10] (см. *Имитационное динамическое моделирование*).

Эти модели позволяют при анализе устойчивости ситуаций в сложных системах исследовать чувствительность к дестабилизирующим параметрам. В отличие от обычных моделей с обратной связью в ИДМ один и тот же параметр может входить в разные контуры обратной связи, т.е. имеет место некоторое отображение взаимосвязей параметров.

При развитии такого рода моделей они начинают базироваться на учете не только классической обратной связи, но и на использовании второго из фундаментальных принципов *управления* (см. *Управление*) – управления с упреждением или с компенсацией. На сочетании принципов базируется наиболее распространенная модель *гомеостата* (см. *Гомеостаз*).

Одной из наиболее развитых теорий, учитывающей принцип компенсации, является теория *адаптации* (см.) Я.З. Цыпкина [11].

В дальнейшем было осознано, что для того, чтобы оценить возможность и условия использования моделей для исследования устойчивости социально-экономических систем, необходимо обратиться к *теории систем* (см.), к *закономерностям функционирования и развития систем* (см. *Введение*) и рассматривать проблему устойчивости с учетом этих особенностей и закономерностей *самоорганизующихся систем* (см.).

Исследование проблемы устойчивости в развивающихся, самоорганизующихся системах, соотношения развития и устойчивости, изучение механизмов, лежащих в их основе, – наиболее сложные задачи теории систем. Такие системы обладают рядом особых свойств, в числе которых принципиальная неравновесность системы, стремление использовать свою энергию не для поддержания стабильности, устойчивости (что характерно для неживых систем без активных элементов), а для поддержания себя в неравновесном состоянии (особенность впервые обнаружена Э. Бауэром [8]).

Для исследования систем с учетом закономерности Бауэра начинают использовать синергетику [6], развиваются теория системогенетики [9], теория *устойчивости экономических систем* (см.).

Перспективным для исследования устойчивости в самоорганизующихся системах представляется использование законов диалектики и математического аппарата *теории информационного поля* [2–5].

В этой теории предложены макрооценки противоречивой ситуации «устойчивость – развитие», которые обеспечивают понимание ситуации (см. *Закономерность целостности*); предложены информационные модели, которые позволяют отображать конкретные ситуации с учетом статики, кинематики, динамики, исследовать переходные процессы в системе, а в перспективе – и условия перехода на новый уровень развития (аналогично переходу физико-технических систем в другое фазовое пространство).

Отметим, что с учетом рассмотренных особенностей и принципиальной неравновесности систем с активными элементами применительно к сложным системам с активными элементами (и в частности, к социально-экономическим системам), видимо, следует использовать не просто термин «устойчивость», а говорить

об устойчивом развитии (sustainable development\*) или о «развивающейся устойчивости» и при исследовании проблемы устойчивости учитывать закономерности *целостности* (см. *Закономерность целостности*), *историчности* (см. *Закономерность историчности*), *самоорганизации* (см.) и другие закономерности *функционирования и развития систем* (см. *Введение*).

В качестве условной модели устойчивости в сложных развивающихся, самоорганизующихся системах можно использовать представление состояния равновесия как бы «на ступеньке» (рис. 2) [1, С. 31]. Внешнее воздействие может либо вывести систему на более высокий уровень, либо «столкнуть» ее на более низкий.

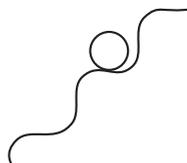


Рис. 2

- 1. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: СПбГПУ, 2003.
  - 2. Денисов А.А. Информационные основы управления / А.А. Денисов. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.
  - 3. Денисов А.А. Теоретические основы кибернетики: информационное поле / А.А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1975.
  - 4. Денисов А.А. Теория больших систем управления: учеб. пособие для вузов / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982.
  - 5. Денисов А.А. Введение в информационный анализ систем: текст лекций. / А.А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1988.
  - 6. Долятовский В.А. Методы эволюционной и синергетической экономики / В.А. Долятовский, А.И. Касаков, И.К. Коханенко. – Отрадная – Ростов-на-Дону: РГЭУ, ТКБП, ОГИ, 2001.
  - 7. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975.
  - 8. Общая биология: учеб. для высших педагогических учебных заведений / под ред. проф. Э.С. Бауэра. – М.: Учпедгиз, 1936.
  - 9. Субетто А.И. Системогенетика / А.И. Субетто. – СПб.-М.: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 1994.
  - 10. Форрестер Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978.
  - 11. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968.
  - 12. Черняк Ю.И. Анализ и синтез систем в экономике / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1970.
- В.Н. Волкова, А.А. Денисов*

**УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ** – способность возвращаться в состояние экономического равновесия после того, как они были из этого состояния выведены под влиянием внешних и/или внутренних возмущающих воздействий.

---

\* В буквальном переводе «sustainable» – «состояние на грани между адом и раем», что отражает смысл термина И. Пригожина «диссипативная (т.е. распадающаяся) структура».

С учетом особенностей экономических систем как *самоорганизующихся систем* с активными элементами их устойчивость необходимо рассматривать как отражение бинарности естественных процессов *устойчивость – управляемость, устойчивость – развитие*.

Категория *управляемости* достаточно строго определена для формализованных технических систем и связана с переводом (переходом) системы посредством управления из одного состояния в другое (см., например, [4]). Концептуально это понятие применимо и в случае моделей экономических систем. Из множества вариантов управления экономическим системам наиболее соответствует случай «неполной управляемости», предусматривающий переход из одного состояния  $x(t_0)$  в другое  $x(t_1)$ , несильно отличающееся по характеристикам, за короткий в экономическом отношении период времени  $t = t_1 - t_0$ , как это представлено на рис. 1. Здесь  $x(t)$  – некий интегральный показатель состояния системы, например определитель матрицы, элементами которой являются параметры (индикаторы), описывающие экономическую систему в пространстве состояний (экономический рост, ВВП, денежный агрегат М1 и/или другие). Разумеется, такое математическое трактование  $x(t)$  не является единственным.

Отметим, что в данном случае рассматривается детерминированная (строго фиксированные параметры) стационарная (параметры не меняются в краткосрочном периоде) экономическая система.

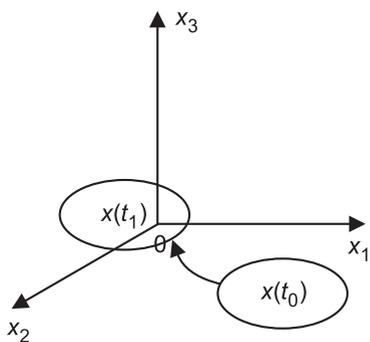


Рис.1

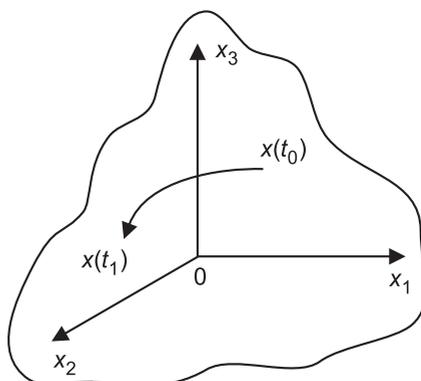


Рис.2

Кардинальные экономические реформы могут быть интерпретированы самым сложным видом управления, рассматривающим переход из произвольной точки  $n$ -мерного пространства состояний в произвольную точку этого же пространства, причем никаких ограничений на характер движения, кроме конечного времени перехода  $t_1 - t_0$ , не накладывается («шоковая терапия» – русский вариант, рис. 2).

Для описания китайского, японского, турецкого вариантов могут быть использованы другие случаи управления, отличающиеся степенью «жесткости», определенности и временем переходного процесса.

В самом общем виде под устойчивостью понимается способность системы восстанавливать исходный или близкий к исходному режим при малом его нарушении и продолжать нормальную работу после резкого нарушения режима, сохраняя качественно прежнее состояние, описываемое системой параметров (см., например, [3]).

Таким образом, устойчивость предполагает сохранение параметров процесса, управляемость – изменения этих параметров при воздействии на систему. Очевидно, устойчивость и управляемость есть категории-антагонисты, и достижение компромисса или баланса между ними есть важнейшая цель задачи управления в системах любой природы.

С учетом обобщенного понятия устойчивости как способности любых систем возвращаться в состояние равновесия после того, как она была выведена из этого состояния воздействием внешних или/и внутренних факторов, необходимо определить, что понимать под состоянием равновесия экономической системы.

Под экономическим равновесием понимается способность экономической системы при отсутствии возмущающих воздействий или при их неизменных значениях сохранять свое состояние сколь угодно долго. Это означает, что основные параметры, описывающие состояние экономической системы (стоимость затраченных ресурсов, доход, чистый доход), остаются неизменными и ни один из экономических агентов не заинтересован в их изменении.

Первая математическая модель экономического равновесия была предложена в конце XIX в. (Л. Вальрас). Однако строгие доказательства существования равновесия появились в середине XX в.

В течение длительного периода самой распространенной была модель Эрроу – Дебре [1, 2, 7 и др.]. За последние годы разработано много моделей экономического равновесия, отличающихся способами формирования дохода, составом участников, предположениями об их поведении, контроле над ценами. Существуют попытки отразить в модели налоговую политику, учесть наличие коллективных благ и т.п. [7].

Можно говорить об устойчивом и неустойчивом состоянии равновесия экономических систем.

Состояние равновесия, в которое экономическая система способна возвращаться, называют устойчивым состоянием экономического равновесия. Оно обеспечивает стабильно высокий результат функционирования. В основе лежит принцип активного реагирования на изменение среды деятельности.

Соответственно при неустойчивом состоянии равновесия экономическая система своими силами не может вернуться в состояние равновесия. Оно обеспечивается стабильностью экономической среды, в рамках которой функционирует система, достигается соответствующей системой управления и вмешательством в функционирование системы извне.

Можно выделить следующие виды равновесия экономических систем (рис. 3).

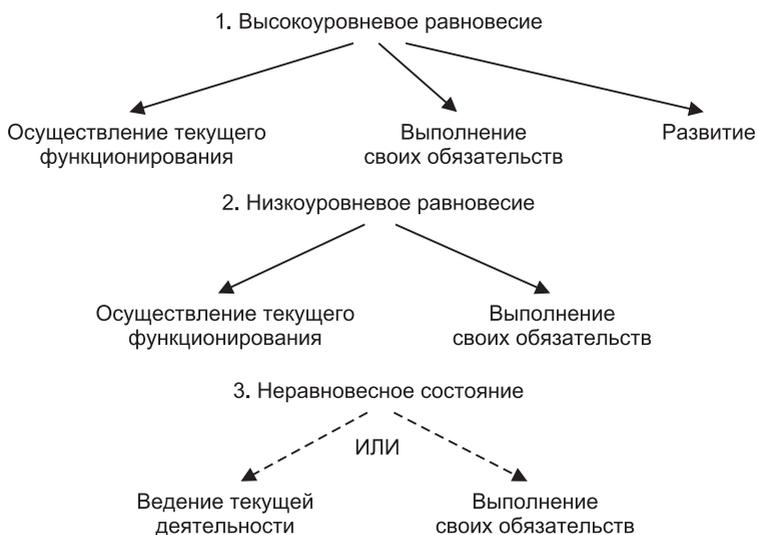


Рис. 3

*Низкоуровневое равновесие* характеризуется тем, что большая часть ресурсов идет на обеспечение минимальных потребностей системы (текущее функционирование и выполнение обязательств) и не выделяются средства на развитие.

*Высокоуровневое равновесие* предусматривает, помимо этих расходов, выделение ресурсов на развитие.

Под развитием понимают положительные изменения в состоянии экономических систем. Соответственно негативные изменения называются деградацией.

Таким образом, если основной объем ресурсов системы расходуется на текущее потребление, то она переходит из высокоуровневого равновесия в низкоуровневое. Такая экономическая система раньше или позже прекратит свое существование.

Недостаточный объем ресурсов для обеспечения текущих потребностей экономической системы приведет к прекращению ее деятельности в краткосрочном временном периоде.

Состояние равновесия экономических систем характеризуется балансом важнейших макро- или/и микроэкономических параметров, таких, как «спрос – предложение», «доходы – расходы», «заемные – собственные средства», «объем производства – реализация» и т.п., обеспечивающих их оптимальное (безубыточное) функционирование.

Примерами нарушения состояния равновесия некими возмущающими воздействиями могут служить:

финансовый кризис (банкротство) предприятия (нарушение баланса доходов и расходов фирмы или национальный финансовый дефолт);

засуха и ее последствия для экономики региона (диспропорции производства и потребления);

старая сеть канализации, ее непредвиденные повреждения, ремонт и экономические последствия для муниципалитета и населения (баланс технических средств и целей жизнеобеспечения).

Возмущающие воздействия в соответствии с их влиянием на экономическую систему могут быть *положительными, отрицательными или нейтральными*.

Экономическая система для выполнения своих функций и достижения целей использует ресурсы, находящиеся в ее распоряжении либо привлекаемые извне. Для экономической системы характерны следующие виды ресурсов:  $P_p$  – производственные;  $F_p$  – финансовые;  $L_p$  – трудовые;  $M_p$  – управленческие;  $I_p$  – информационные.

Целью функционирования экономической системы является получение дохода от использованных при ее функционировании ресурсов.

Тогда под положительными возмущающими воздействиями понимаются влияния внешней и/или внутренней среды, вызывающие увеличение уровня дохода и/или уменьшение затраченных ресурсов;

под нейтральными возмущающими воздействиями – не вызывающие изменения уровня дохода и/или затраченных ресурсов;

под негативными – вызывающие уменьшение уровня дохода и /или увеличение затраченных ресурсов.

Классификация негативных возмущающих воздействий приведена в таблице.

В условиях воздействия негативно влияющих факторов сохранению уровня чистого дохода может способствовать *запас устойчивости системы*, под которым понимается наличие ресурсов экономической системы, которые могут быть в любой момент без дополнительных затрат вовлечены в деятельность системы.

Внешняя среда	Внутренняя среда
Правовая неурегулированность хозяйственных отношений	Имобилизация ресурсов
Криминализация экономики	Нерациональное использование долгосрочных/краткосрочных финансовых вложений
Снижение привлекательности/вытеснение с освоенных рынков	Рост долговых обязательств
Усиление налогового бремени	Рост необеспеченных прав, требований
Снижение уровня жизни населения	Разрушение научно-технического потенциала
Введение денежных суррогатов	Утрата квалифицированного опыта и трудовых навыков
Нарушение системы расчетов между деловыми партнерами	—
Разрыв налаженных связей между субъектами делового оборота	—
Снижение платежеспособного спроса	—

Понятия *запаса устойчивости* и *быстродействия* экономической системы условно иллюстрируется на рис. 4.

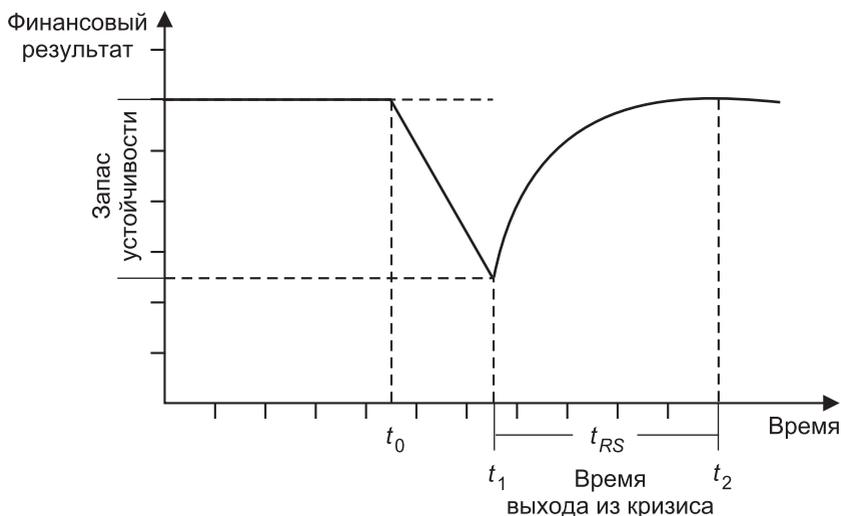


Рис. 4

Здесь финансовый результат используется в качестве интегрального показателя деятельности предприятия, что никак не отражается на характере самого явления устойчивости и временной диаграммы. Превышение потерь над «запасом устойчивости» означает невозможность самостоятельного, без помощи извне, выхода из кризиса.

Для оценки устойчивости экономических систем в каждом отдельном случае используется комплекс тех или иных временных показателей. Однако в любом случае быстрдействие системы ( $t_{RS}$  на рис. 4) зависит от скорости самого медленного процесса активизации ресурсов в кризисном состоянии.

Например, длительность выхода экономики СССР из послевоенного кризиса составила по разным оценкам от 6 до 8 лет, что стало возможным в условиях предельной централизации ресурсов и управления. Время восстановления экономики России после кризиса и стагнации отечественной экономики, началом которых ( $t_0$ ) следует считать 89–90 гг. XX в., а остановку падения ( $t_1$ ) — 96–97 гг. XX в., по разным прогнозам, займет от 8 до 15 лет.

Очевидно, возможность ликвидации возникших кризисных ситуаций и возврат к состоянию равновесия зависит в основном от двух моментов:

наличие ресурсов, необходимых для компенсации потерь, причиненных кризисом (запас устойчивости);

скорость активизации ресурсов, потребляемых для своевременного выхода из кризисной ситуации. Своевременность означает период времени, после которого кризис становится необратимым.

Последнее замечание характеризует значимость временных характеристик экономических систем – показателей быстродействия (инерционности).

Быстродействие экономических систем зависит от:

- ликвидности имущества предприятия;
- оборачиваемости активов предприятия, отрасли;
- скорости оборота денежных средств национальной или региональной экономики;
- скорости оборота в цепочке «товар – деньги – товар»;
- длительность воспроизводства трудовых ресурсов и других аналогичных характеристик.

**Количественная оценка «запаса устойчивости» и времени выхода из кризиса.** Количественная оценка статической (запас устойчивости –  $RS$ ) и динамической (время выхода из кризиса –  $\tau_{RS}$ ) характеристик возможна с использованием графической интерпретации (см. рис. 4) понятия ликвидности активов ( $A$ ), которое ранжирует их по времени реализации (активизации) –  $A(t)$ .

Введем обозначения:

$A_0(\tau_0)$  – абсолютно ликвидные активы (денежные и приравненные к ним средства);

$A_{1-3}(\tau_{1-3})$  – активы кратко-, средне- и долгосрочной реализации соответственно;

$A_{\max}$  – сумма всех активов предприятия;

$A'(t)$  – активы предприятия с учетом резерва на непредвиденные обстоятельства, равного  $A_R = (A'_{RS} - A_{RS})$ .

Аналитически кривая  $A(t)$  может быть представлена системой уравнений:

$$A(t) = \begin{cases} A_0 + (A_{\max} - A_0) \cdot t / \tau_3 & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_3; \\ A_{\max} & \text{при } t \geq \tau_3. \end{cases}$$

Таким образом, запас устойчивости  $A_{RS}$  (или  $A'_{RS}$  при наличии резервных активов) предприятия и время выхода из кризиса  $\tau_{RS}$  могут быть определены графически (рис. 5) или аналитически из приведенных выражений.

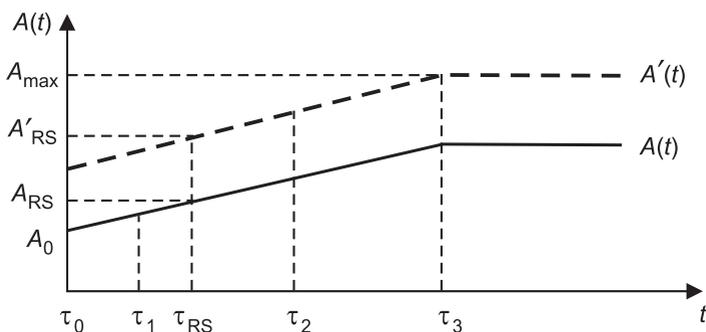


Рис. 5

Наличие резервных активов, как это следует из рис. 5, либо повышает запас устойчивости, либо сокращает время ликвидации последствий кризиса предприятия.

**Устойчивое развитие.** В теории и практике экономических наук этот термин характеризует постоянное, в пределах некоторого временного периода, принятого для планирования и контроля, улучшение основных показателей деятельности экономической системы того или иного уровня (макро-, мезо- или микроуровня): ВВП, ВРП, валовой доход или финансовый результат работы предприятия за год, квартал или месяц и другие показатели функционирования. При этом внутри контрольного периода допустимы временные спады и подъемы активности и ее результатов (обусловленные, например, сезонным характером производства и/или продаж, случайными сбоями поставок или финансирования, без чего в практической деятельности не обходится ни одна экономическая система). Важно, чтобы конечный результат контрольного периода имел планируемое приращение показателей.

Очевидно, устойчивое развитие требует обеспечения локальной устойчивости экономической системы в каждый отдельный плановый период функционирования. Этот феномен оригинально интерпретирован В.Н. Волковой и А.А. Денисовым [5] (см. *Устойчивость*).

На рис. 6 предложена ступенчатая аппроксимация кривой развития, где на каждой ступеньке должно выполняться условие устойчивости. Сложность моделирования такой задачи состоит в том, что в конце каждой ступеньки после возможного спада система должна возвращаться на более высокий уровень, что оз-

начает одновременный перевод системы в новое состояние и соблюдение дополнительных требований управляемости.

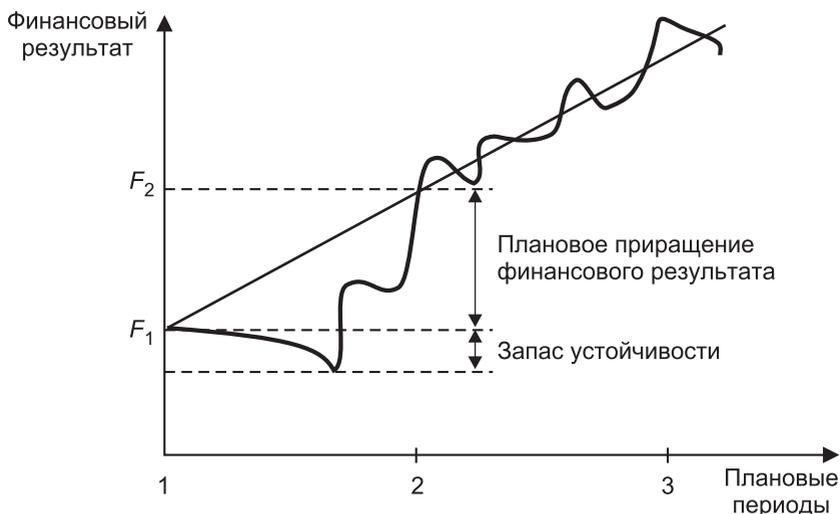


Рис. 6

Достижение желаемого уровня  $F_2$  устойчивого развития экономической системы требует обеспечения запаса устойчивости  $A_{RS}$  в плановый период и необходимого приращения результатов деятельности за счет привлечения дополнительных внеоборотных  $A_{fk}$  и оборотных  $A_{wk}$  активов при заданных уровнях рентабельности  $r_{fk}$  и  $r_{wk}$  соответственно:

$$F_2 = A_{RS} + (r_{fk} \cdot A_{fk} + r_{wk} \cdot A_{wk}).$$

Таким образом, проблема устойчивого развития содержит в себе две антагонистические по сути и поэтому сложные как в теории, так и на практике задачи:

- обеспечение локальной устойчивости в течение некоторого периода, принятого за контрольный (отчетный), и одновременно
- обеспечение условий управляемости (преодолевая устойчивость) в период планового развития.

Логика жизни подсказывает, что решение этих задач упирается в конечном итоге в обеспечение ресурсного потенциала, до-

статочного как для компенсации возможных кризисных ситуаций (запас устойчивости), так и для целей планируемого развития.

В общем случае под категорией «потенциал» понимают:

1) источники, возможности, средства, запасы, которые могут быть мобилизованы, приведены в действие, использованы для решения какой-либо задачи, достижения определенной цели;

2) возможности отдельного лица, общества, государства в определенной области.

Экономический потенциал представляет собой совокупность экономических ресурсов системы, обеспечивающих получение максимального экономического эффекта при условии полного использования ресурсов и технологии оптимального их комбинирования, соответствующей влиянию внешней и внутренней среды функционирования системы в заданный момент времени.

Под экономическим эффектом будем понимать отношение чистого дохода к стоимости затраченных ресурсов на обеспечение функционирования экономической системы.

Таким образом, экономический потенциал системы может быть представлен следующим выражением:

$$P(t) = P_a(t) + P_p(t), \quad (1)$$

где  $P_a(t)$  – активная часть потенциала экономической системы;

$P_p(t)$  – пассивная его часть.

С определенной долей условности для оценки активной части потенциала можно использовать выражение, аналогичное по форме уравнению производственной функции Кобба–Дугласа:

$$P_a(t) = \sum_{m=1}^j r_m \cdot (K_m \cdot T_{km} / T)^{\alpha_m} \cdot (L_m \cdot T_{lm} / T)^{\beta_m} \cdot (I_m)^{\gamma_m}, \quad (2)$$

где  $r_m$  – коэффициент рентабельности (роста (уменьшения) стоимости ресурсов) для  $m$ -го вида деятельности;

$$r_m = c_m \cdot r'_m;$$

$c_m$  – корректирующий коэффициент уровня рентабельности в момент измерения потенциала для  $m$ -го вида деятельности;

$K_m$  – стоимость материально-производственных ресурсов;

$T_{km}$  – время активизации материально-производственных ресурсов для  $m$ -го вида деятельности;

- $T$  – заданный период оценки экономического потенциала;  
 $L_m$  – численность занятых в производстве;  
 $T_m$  – время активизации персонала;  
 $I_m$  – объем полезной информации;  
 $\alpha_m$  – коэффициент замещения, отражающий структуру типа «технологии» для материально-производственных ресурсов,  $\alpha_m \in (0-1)$ ;  
 $\beta_m$  – то же для трудовых ресурсов,  $\beta_m \in (0-1)$ ;  
 $\gamma_m$  – то же для информационных ресурсов,  $\gamma_m \in (0-1)$ ;

$$\alpha_m + \beta_m + \gamma_m = 1;$$

- $j$  – число видов деятельности.

Величина *пассивного* потенциала экономической системы может быть выражена следующим образом:

$$P_p(t) = \sum_{i=1}^n r_{ri} (R_i + I_{ri}) \cdot l_i \cdot O_{ri} \cdot T_{ri} / T, \quad (3)$$

- где  $r_{ri}$  – коэффициент рентабельности (роста (уменьшения) стоимости ресурса) для ресурса  $i$ -го вида  $r_{ai} = c_{ai} \cdot r'_{ai}$ ;  
 $c_{ai}$  – корректирующий коэффициент уровня рентабельности в момент измерения потенциала для  $i$ -го вида ресурса;  
 $R_i$  – стоимость ресурса  $i$ -го вида;  
 $I_{ri}$  – стоимость информации для реализации ресурса;  
 $l_i$  – ликвидность ресурса  $i$ -го вида,  $l_i \in (0-1)$ ;  
 $O_{ri}$  – оборотоспособность ресурса  $i$ -го вида,  $O_i \in (0-1)$ ;  
 $T_{ri}$  – время реализации ресурса  $i$ -го вида;  
 $T$  – заданный период оценки экономического потенциала;  
 $n$  – число видов ресурсов.

Тогда выражение (1) может быть представлено в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 P(t) = & \sum_{m=1}^j r_m \cdot (K_m \cdot T_{km} / T)^{\alpha_m} \cdot (L_m \cdot T_{lm} / T)^{\beta_m} \cdot (I_m)^{\gamma} + \\
 & + \sum_{i=1}^n r_{ri} (R_i + I_{ri}) \cdot l_i \cdot O_{ri} \cdot T_{ri} / T.
 \end{aligned} \quad (4)$$

Правая часть выражения (4) представляет собой совокупный объем благ, получаемый системой от производства (в широком смысле слова) и альтернативного распоряжения ресурсами.

При оценке соответствия имеющегося потенциала  $C(p)$  требуемому необходимо установить его уровень  $P'(t)$ . Тогда степень

соответствия можно определить с помощью следующего выражения:

$$C(p) = P(t) / P'(t), \quad (5)$$

где  $P(t)$  – располагаемый уровень экономического потенциала системы в момент оценки;

$P'(t)$  – требуемый экономический потенциал системы для достижения определенной цели или решения поставленной задачи.

При нахождении компромисса между устойчивостью, управляемостью и *развитием* в функционировании и существовании экономической системы во времени уровень ее потенциала определяется с учетом особенностей конкретной системы и периода ее развития.

- 1. Ланкастер К. Математическая экономика / К. Ланкастер / пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1972. 2. Н и к а й д о Х. Выпуклые модели и математическая экономика / Х. Никайдо / пер. с англ. – М.: Мир, 1972. 3. П о п о в Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1988. 4. С п р а в о ч н и к по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. 5. В о л к о в а В.Н. Устойчивость социально-экономических систем / В.Н. Волкова, А.А. Денисов // В сб. материалов межвуз. конф.: Системный анализ в экономике. – Таганрог, 2000. – С. 4–12. 6. Л а н к и н В.Е. Децентрализация административной власти и самостоятельность регионов / В.Е. Ланкин. Тезисы докл. НПК «Проблемы муниципального управления» // Известия ТРТУ. – Таганрог. – 1999. – №1. – С. 17–23. 7. У р и н ц е в А.И. Структурный анализ и проектирование распределенных экономических информационных систем / А.И. Уринцев. // Экономико-математические модели и методы, т.33, 1997. – № 4. – С. 141–152. *В.Е. Ланкин, А.В. Татарова*



**ФАКТОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ** – класс *информационных систем* (см.), предназначенных для сбора, хранения, переработки и поиска фактографической информации, т.е. конкретных данных (параметров, показателей, списков фамилий с указанием дат рождения, места жительства, телефонов и т.п.), а не документов, содержащих эти данные или иную информацию, не извлеченную из документов в форме фактографических данных.

Первоначально такие системы называли *системы обработки данных* (см.) – СОД, затем – *базы и банки данных*, наиболее известными из которых являются банки данных для управления производством типа СИОД [4], БАНК, экономическими процессами предприятия ИНЭС [1] и т.п.

В 60-е гг. XX в. фактографические информационные системы стали основой *автоматизированных систем управления* (см.) первая очередь которых разрабатывалась в виде *автоматизированных информационных систем* (АИС) [1, 2 и др.].

В настоящее время в основном такие системы разрабатываются как базы фактографических данных и являются основой большинства *корпоративных информационных систем* (см.).

- 1. А вен О.И. Что же такое АСУ / О.И. А вен. – М.: Наука, 1981. 2. А в т о м а т и з и р о в а н н ы е системы управления предприятием: учеб. пособие / под ред. В.Н. Четверикова. – М.: Высшая школа, 1979. 3. И н ф о р м а ц и о н н ы е системы: учеб. пособие для вузов / под ред. В.Н. Волковой и Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998. 4. К е л е х с а е в А.А. Системы интеграции и обработки данных СИОД1, СИОД2 / А.А. Келехсаев, А.П. Беляев. – М., 1977. 5. М а р т и н Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. – М.: Мир, 1980. 6. М и х а й л о в А.И. Основы информатики / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский. – М.: Наука, 1968. 7. Ч е т в е р и к о в В.Н. Базы и банки данных / В.Н. Четвериков, Г.И. Ревунков, Э.Н. Самохвалов. – М.: Высшая школа, 1987. 8. Ш о м ь е Н. Банки данных / Н. Шомье. – М.: Энергоиздат, 1981. 9. Э к о н о м и ч е с к а я информатика: учебник / под ред. В.В. Евдокимова. – СПб.: Питер Паблишинг, 1997. В.Н. Волкова

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД (ФТП)** к формированию *организационной структуры* (см.) основан на рационализации потоков информации и технологии ее обработки. Этот подход обеспечивает возможность достаточно полно учесть особенности конкретного предприятия (организации), отличается гибкостью и универсальностью.

Вместе с тем в условиях действующего предприятия ФТП характеризуется использованием стабильной номенклатуры сложившихся функций управления, подчинением оргструктуры схеме документооборота на предприятии. Попытки совершенствования документооборота наталкиваются на стремление аппарата управления сохранить сложившуюся привычную для управленческих работников схему документооборота, которая далеко не

всегда рациональна, особенно в условиях применения вычислительной техники.

В условиях проектирования нового объекта использование ФТП вызывает трудности из-за отсутствия информации, необходимой для его реализации. Кроме того, ФТП отличается высокой трудоемкостью, что ограничивает возможности его использования.

В истории применения ФТП наибольшую известность получили работы С.А. Валуева [1, 2 и др.], в которых этот подход реализуется на основе моделирования процедур принятия решений на предприятии. При этом для формирования процедур в качестве исходной принимается модель Дейча, определяющая основные этапы принятия решений (8 этапов), которые интерпретируются с учетом конкретных управленческих ситуаций.

В некоторых работах (например, работы В.И. Самофалова – § 6.4 в [4]) используется сочетание ФТП и *системно-целевого подхода* (см.).

ФТП используется в практике управления объединением (акционерным обществом) «Электросила» в течение двух десятков лет [5]. Он реализуется путем моделирования организационно-технологических процедур (ОТП) подготовки и реализации управленческих решений по функциям управления, что позволяет не только обосновать корректировку существующих оргструктур, но и разрабатывать варианты новой оргструктуры для существующего или проектируемого предприятия. Проводить анализ ОТП подготовки и реализации управленческих решений в более сжатые сроки без утраты полноты анализа помогает автоматизация процесса формирования вариантов ОТП, для чего разрабатывают языки автоматизации моделирования ОТП [3].

• 1. В а л у е в С.А. Механизм управления хозяйственной организацией: текст лекций / С.А. Валуев. – М.: МЭСИ, 1981. 2. В а л у е в С.А. Организационное обеспечение систем управления научными исследованиями вуза / С.А. Валуев. – М.: Высшая школа, 1983. 3. В о л к о в а В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 463–472. 4. С и с т е м н ы й а н а л и з в э к о н о м и к е и о р г а н и з а ц и и п р о и з в о д с т в а : у ч е б . д л я в у з о в / П о д р е д . С . А . В а л у е в а , В . Н . В о л к о в о й . – Л . : П о л и т е х н и к а , 1 9 9 1 . 5 . Ч у д е с о в а Г . П . П р е о б р а з о в а н и е о р г а н и з а ц и о н н о й с т р у к т у р ы п р и и з м е н е н и и ф о р м ы с о б с т в е н н о с т и п р е д п р и я т и я / Г . П . Ч у д е с о в а . – С П б . : И з д - в о С П б Г Т У , 1 9 9 5 .

*В.Н. Волкова, Г.П. Чудесова*

**ХОРОШО ОРГАНИЗОВАННАЯ СИСТЕМА (ХОС)** – класс систем, выделенный в классификации систем по признаку «степень организованности» (см. *Классификации систем*).

Представление объекта или процесса принятия решения в виде ХОС возможно в тех случаях, когда исследователю удастся определить все элементы системы и их взаимосвязи между собой и с целями системы в виде *детерминированных* (аналитических, графических) зависимостей. На представлении этим классом систем основано большинство моделей физических процессов и технических систем. Однако для сложных объектов формирование таких моделей существенно зависит от лица, *принимającego решения* (ЛПР), «наблюдателя» (см.).

Например, работу сложного механизма приходится отображать в виде упрощенной схемы или системы уравнений, учитывающих наиболее существенные (с точки зрения автора модели и назначения механизма, цели его создания) элементы и связи между ними. Атом может быть представлен в виде планетарной модели, состоящей из ядра и электронов, что упрощает реальную картину, но достаточно для понимания принципов взаимодействия элементов этой системы.

Строго говоря, простейшие математические соотношения, отображающие реальные ситуации, также не являются абсолютно детерминированными, поскольку, например, при суммировании яблок не учитывается, что они не бывают абсолютно одинаковыми, а вес можно измерить только с некоторой точностью.

Иными словами, для отображения сложного объекта в виде ХОС приходится выделять существенные и не учитывать относительно не существенные для конкретной цели или задачи компоненты. При необходимости более детального описания нужно уточнить цель, указав, с какой степенью глубины ЛПР интересуется исследуемый объект, и построить новую (отображающую его) систему с учетом уточненной цели.

Например, при описании атома можно учесть протоны, нейтроны, мезоны и другие микрочастицы, не рассматриваемые в планетарной модели системы. При исследовании сложного радиоэлектронного устройства после предварительного его отображения с помощью обобщенной блок-схемы разрабатывают прин-

ципиальную схему, проводят соответствующие расчеты для определения номиналов элементов, входящих в нее и реализующих необходимый режим ее функционирования, и т.д.

При представлении объекта в виде ХОС задачи выбора целей и определения средств их достижения (элементов, связей) не разделяются.

Проблемная ситуация может быть описана в виде выражений, связывающих цель со средствами (т.е. в виде критерия функционирования, критерия или показателя эффективности, целевой функции и т.п.), которые могут быть представлены уравнениями, формулами, системами уравнений или сложными математическими моделями, включающими и уравнения, и неравенства, и т.п.

При этом иногда говорят, что цель представляется в виде критерия функционирования или критерия эффективности, в то время как в подобных выражениях объединены и цель, и средства ее достижения.

Представление объекта в виде ХОС используется в тех случаях, когда может быть предложено детерминированное описание и экспериментально показана правомерность его применения, т.е. экспериментально доказана адекватность модели реальному объекту или процессу.

Попытки применить класс ХОС для представления сложных многокомпонентных объектов или многокритериальных задач, которые приходится решать при совершенствовании управления предприятиями и организациями и т.д., практически безрезультатны. Это не только требует неприемлемо больших затрат времени на формирование модели, но часто нереализуемо, так как не удается поставить эксперимент, доказывающий *адекватность* модели. Поэтому в большинстве случаев при представлении сложных объектов и проблем, особенно в социально-экономических системах, на начальных этапах исследования их отображают классами *плохо организованных* (см.) и *самоорганизующихся* (см.) систем.

- 1. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983.
- 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.
- 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003.

В.Н. Волкова

**ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ (ЦФ)** – понятие *математического программирования* (см.) и *теории оптимизации* (см.), означающее функцию, экстремум (максимум или минимум) которой нужно найти в результате решения экстремальной задачи.

Найдя экстремум ЦФ и определив значения управляемых переменных, которые к нему приводят, исследователь тем самым находит решение задачи. Тогда ЦФ выступает как *критерий оптимальности, критерий эффективности, критерий функционирования* системы, и часто эти понятия используют как синонимы.

В зависимости от формы математической зависимости различают ряд видов ЦФ: *линейная, нелинейная, выпуклая, квадратичная* и т. д.

Для названия сложных ЦФ используется также термин *целевой функционал*.

- 1. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства / Л.В. Канторович. – Л.: ЛГУ, 1939. 2. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. 3. Лопатников Л.И. Краткий экономико-математический словарь / Л.И. Лопатников. – М.: Наука, 1979. – С. 299–230. 4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. 5. Ногин В.Д. Основы теории оптимизации: учеб. пособие / В.Д. Ногин, И.О. Протодьяконов, И.И. Евлампиев. – М.: Высшая школа, 1986.

*В.Н. Волкова, В.Н. Юрьев*

**ЦЕЛЕВОЙ, ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫЙ ПОДХОД** – один из основных *подходов к анализу и проектированию систем* (см.).

В начальный период становления теории систем американский исследователь Михайло Месарович [1] предложил подходы, которые назвал *целенаправленным* и *терминальным*.

Согласно Месаровичу «при целенаправленном подходе конструктивный анализ (а вместе с тем и определение самого понятия целенаправленного подхода) достигается благодаря введению представления о цели системы и описания поведения системы в связи с этой целью» [1, С. 168].

М. Месарович обосновывает необходимость применения целенаправленного подхода невозможностью для сложной системы строго формально описать состояние системы и пространство

состояний и выразить в аналитической или алгоритмической форме функции взаимоотношений между компонентами пространства состояний, что составляет суть *терминального подхода*. В этом случае сложную систему можно представить с помощью целенаправленного подхода. М. Месарович в формализованном виде описал и исследовал понятия целенаправленности и *целенаправленной системы* (см. *Целенаправленная и целеустремленная системы*) [1].

В последующем целевым, или целенаправленным, стали называть подход от целей системы даже в тех случаях, когда не используются формализованная постановка и терминология М. Месаровича. Для краткости его называют подходом «сверху», т.е. от целей. В философском аспекте этот подход называют также *аксиологическим* (см. *Аксиологическое представление системы*) [5].

Практическую реализацию целевого подхода впервые продемонстрировала американская корпорация RAND [2], предложившая подход к созданию сложных программ и проектов, названный «*деревом целей*»(см.).

*Целевой, или целенаправленный, подход, методы структуризации, или декомпозиции* (см.) широко применяются для исследования сложных систем с большой неопределенностью [3, 4 и др.].

- 1. Mesarovic Mihajlo D. General Systems Theory and its Mathematical Foundations: доклад на конференции по системной науке и кибернетике (Бостон, Массачусетс, 11–15 октября 1967 / Mihajlo D. Mesarovic // Перевод в кн.: Исследования по общей теории систем: Сб. переводов/Под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – С. 165–180. 2. Лопухин М.М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ/ М.М. Лопухин – М.: Сов. радио, 1971. 3. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. 4. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 5. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 355, 622. В.Н. Волкова

**ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННАЯ И ЦЕЛЕУСТРЕМЛЕННАЯ СИСТЕМЫ** – понятия, введенные в начальный период становления теории систем.

Первоначально Н. Винер и А. Розенблют ввели некоторые критерии различия между целеустремленным и нецелеустремленным поведением [5]. Различия этих терминов были связаны с би-

хевиористским направлением теории систем, т.е. основывались на исследовании поведения (behaviour – поведение) систем (см. [1] и др.).

Оба термина подразумевают направленность на достижение цели. Однако в понятие целеустремленности вкладывается способность преследовать одну и ту же цель, изменяя свое поведение при изменении внешних условий, т.е. способность проявлять адаптивность (см. *Адаптация*), сохраняя цель.

Понятие целенаправленности в формализованном виде представлял и исследовал М. Месарович [2, 3].

Формально он определил целенаправленную систему следующим образом [2].

Пусть дана система

$$S \subset X \times Y, \quad (1)$$

где  $X$  – входы,  $Y$  – выходы системы.

Для того чтобы построить целенаправленное представление системы  $S$ , необходимы два понятия – *цели* и *принятия решения*.

При отображении цели и условий ее достижения в случае ситуации с неопределенностью системы  $S$  можно рассматривать как функцию, означающую, что элементы  $X$  являются парами «вход – состояние»  $X = M \times U$ , где  $M$  – входные воздействия;  $U$  – множество неопределенностей (unsertainty set), из которых при принятии решения необходимо выбрать подмножество  $U' \subset U$ .

Тогда цель для  $S$  задается тройкой отношений  $z = (G, T, R)$ , определяемых относительно множества  $V$  следующим образом:

$$\begin{aligned} G: S &\rightarrow V, \\ T: U &\rightarrow V, \\ R &\subset V \times V, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $V$  – множество значений или мер выполнения;

$G$  – функция выполнения (или целевая функция), которая каждому состоянию или проявлению системы  $s \in S$  приписывает значение  $G(s) \in V$ ;

$T$  – относительная функция допустимости (toleran reference function); для каждого  $u \in U$  определяется значение  $T(u) \in V$ , которое используется для оценки выполнения данного  $y = S(m, u)$ ;

$R$  – отношение удовлетворительности (satisfaction relation); для каждого  $(m, u) \in M \times U$  удовлетворительность поведения системы оценивается относительно  $G(m, u)$ ,  $S(m, u)$ ,  $T(u)$  и  $R$ .

При данной цели  $z = (G, T, R)$  для системы  $S$  имеем два понятия, связывающие входы с целью:

а) вход  $x \in X$  достигает цели  $z$ , если

$$(G(x, S(x)), T(u)) \in R, \quad (3)$$

где  $x = (m, u)$ ;

б) вход  $m \in M$  удовлетворяет цели  $z$  относительно  $U' \subset U$ , если для всех  $u \in U'$  вход  $x = (m, u)$  достигает цели  $z$ , т.е. для всех  $u \in U'$  имеет место

$$(G(m, u, S(m, u)), T(u)) \in R. \quad (4)$$

Рассмотрим *отображение системы, принимающей решение, и процесса принятия решения*. Тройка  $\beta = (S, U', z)$  названа в [1] проблемой решения. Вход  $m \in M$  удовлетворяет проблеме решения  $(S, U', z)$ , если он удовлетворяет цели  $z$  относительно  $U'$ .

$$\text{Система } S: M \times U \rightarrow Y \quad (5)$$

является системой, принимающей решение, если проблема решения  $\beta$  определена так, что для каждого  $(m, u) \in M \times U$  выход  $y = S(m, u)$  удовлетворяет  $\beta$  в указанном смысле.

Тогда целенаправленную систему  $S$ , принимающую решение, М. Месарович определяет следующим образом [2, 3].

Для данной системы  $S: X \rightarrow Y$  существуют два способа определения  $S$  как целенаправленной.

1. Пусть  $z$  – цель для  $S$ , которая является целенаправленной системой с разомкнутым контуром, если каждый  $x \in X$  удовлетворяет цели  $z$ .

2.  $S$  считается целенаправленной системой с обратной связью, если дано множество  $M$  вместе с парой отображений  $(P, D)$ :

$$\begin{aligned} P: M \times U &\rightarrow Y, \\ D: X \times U &\rightarrow M, \end{aligned} \quad (6)$$

таких, что:

$$a) y = S(x) \leftrightarrow (P(m, x) = y) \wedge (D(x, y) = m), \quad (7)$$

б)  $D$  принимает решения относительно цели  $z$  для отображения  $P_M$ , определенного на

$$M \times U, \text{ в } Y, \text{ т.е. } P_M: M \times U \rightarrow Y. \quad (8)$$

Очевидно, что согласно второму понятию  $S$  является целенаправленной системой, если дана пара отображений  $(P, D)$ , таких, что  $S$  есть композиция (с обратной связью)  $P$  и  $D$  и, кроме того,  $D$  принимает решение относительно цели  $z$ , определенной для  $P_M$ .

Р. Акофф и Ф. Эмери [1] понятие целеустремленности связали с понятием стремления к идеалу и с определением целей и функций поведения системы (в их терминах – общины), стремящейся к идеалу (см. *Методика структуризации целей системы, стремящейся к идеалу*). В [1] учитывается не только способность системы к целедостижению, но и способность к целеобразованию: «Человек и социальные системы вправе формулировать цели, достижение которых невозможно, но к которым можно постоянно приближаться» [1, С. 227].

Однако понимание отличия систем, способных только достигать цели, которые поставлены извне (целеустремленные системы), и систем, способных ставить цели, т. е. способных к *целеполаганию, целеобразованию*, сформировалось не сразу (см. *Целеобразование*).

- 1. Ackoff R.L. On Purposeful Systems. – Aldine, Atherton, Chicago and New York, 1972 / Акофф Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери / пер. с англ.; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Сов. радио, 1974.
- 2. Mesarovic Mihajlo D. General Systems Theory and its Mathematical Foundations: доклад на конференции по системной науке и кибернетике (Бостон, Массачусетс, 11–15 октября 1967 / Mihajlo D. Mesarovic: пер. в кн.: Исследования по общей теории систем: сб. переводов // под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – С. 165–180.
- 3. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, И. Такахага. – М.: Мир, 1978.
- 4. Zadeh L. The Concept of State in Systems Theory / L. Zadeh // Views on General Systems Theory ed by Mesarovic M.D. – New York, J. Wiley, 1964 // Перевод – Заде Л. Понятие состояния в теории систем // Общая теория систем. – М.: Мир, 1966. С. 49–65.
- 5. Roseblueth A. Purposeful and Non-Purposeful Behaviour / Roseblueth, N. Wiener // Philos. of Sci., 17, 1950.

*В.Н. Волкова*

**ЦЕЛЕОБРАЗОВАНИЕ (ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ)** – направление *системного анализа* (см.), занимающееся исследованием процесса формулирования и анализа *целей* (см.) в системах разного рода.

Термин *целеобразование* введен во второй половине XX в. применительно к системам, в которых цели не задаются извне, а формируются внутри системы, на что впервые обратил внимание Ю.И. Черняк [5, 6].

Практической задачей этого направления является разработка принципов создания и внедрения подсистем целеобразования в системах управления, обеспечивающих систематическую работу по формулированию и исследованию целей (основных направ-

лений развития) предприятий и организаций, оценке их значимости и корректировке целей и направлений развития системы, т.е. реализация комплекса работ целевой стадии планирования.

Подсистемы целеобразования на уровне страны и региона должны заниматься исследованием взаимосвязей целей различных отраслей, производственных объединений, предприятий с общегосударственными целями, целями региона и разработкой на этой основе принципов и показателей планирования и экономического стимулирования деятельности организаций.

Процесс целеобразования – сложный и не до конца изученный процесс. Для облегчения его реализации исследуют и применяют *закономерности целеобразования* (см.), разрабатывают *методики структуризации целей и функций* (см.).

- 1. Волкова В.Н. О подсистеме целеобразования в АСУ/ В.Н. Волкова, Ю.И. Черняк // Материалы VI Всесоюзн. совещ. по проблемам управления. – М.: ИПУ, 1974. – С. 46–48. 2. Волкова В.Н. Цель: целеобразование, структуризация, анализ: учеб. пособие / В.Н. Волкова. – СПб.: Школа «PUBLIC RELATIONS», 1996. 3. Волкова В.Н. Цель: прогнозирование, анализ, структуризация / В.Н. Волкова, В.А. Чабровский. – СПб.: Изд-во ИСЭП РАН, 1995. 4. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 621–622. 5. Черняк Ю.И. Закономерности целеобразования в экономических системах / Ю.И. Черняк // В кн. Информация и модели структур управления. – М.: Наука, 1972. – С. 13–30.  
*В.Н. Волкова*

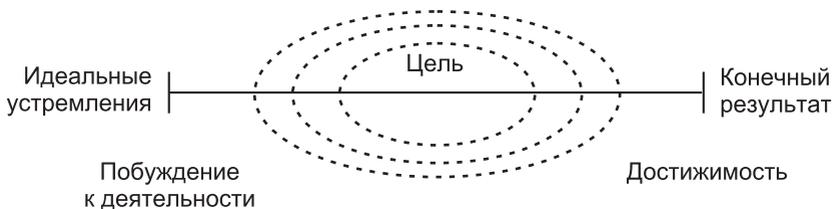
**ЦЕЛЬ** – одно из наиболее сложных понятий, изучению которого большое внимание уделяется в философии, психологии, кибернетике, теории систем. Понятие *цель* и связанные с ним понятия *целесообразности, целенаправленности, целеобразования* (см.) лежат в основе функционирования и развития сложной системы.

Процесс целеобразования и соответствующий ему процесс обоснования целей в организационных системах весьма сложен. На протяжении всего периода развития философии и теории познания происходило развитие представлений о цели (с историей развития понятия *цель* можно познакомиться в [9]).

Анализ определений цели и связанных с ней понятий показывает, что в зависимости от стадии познания объекта, этапа системного анализа в понятие «цель» вкладывают различные оттенки – от идеальных устремлений (цель – «выражение активности сознания» [9]; «человек и социальные системы вправе формулировать цели, достижение которых невозможно, но к которым

можно непрерывно приближаться» [1]), до конкретных целей – конечных результатов, достижимых в пределах некоторого интервала времени [11], формулируемых иногда даже в терминах конечного продукта деятельности [12].

В некоторых определениях цель как бы трансформируется, принимая различные оттенки в пределах условной «шкалы» – от идеальных устремлений к материальному воплощению, конечному результату деятельности, как это представлено на рисунке.



Например, в [9] наряду с уже приведенным определением целью называется «то, к чему стремится, чему поклоняется и за что борется человек» («борется» подразумевает достижимость в определенном интервале времени); в ряде работ под целью понимается «модель желаемого (потребного) будущего» (при этом в понятие «модель» можно вкладывать различные оттенки реализуемости) и, кроме того, вводится понятие, характеризующее разновидность цели («мечта – это цель, не обеспеченная средствами ее достижения» [13]).

Противоречие, заключенное в понятии *цель* – необходимость быть побуждением к действию, «опережающим отражением» (термин введен П.К. Анохиным), или «опережающей идеей», и одновременно – материальным воплощением этой идеи, т.е. быть достижимой, проявлялось с момента возникновения этого понятия. Так, древнеиндийское «артха» означало одновременно «мотив», «причину», «желание», «цель» и даже – «способ» [9].

В русском языке вообще не было термина «цель». Этот термин заимствован из немецкого и имеет значение, близкое к понятию «мишень», «финиш», «точка попадания». В английском языке содержится несколько терминов, отражающих различные оттенки понятия цели в пределах рассматриваемой «шкалы»: *purpose* (цель-намерение, целеустремленность, воля), *object* и *objective* (цель-направление действия, направление движения), *aim* (цель-стремление, прицел, указание), *goal* (цель-место назначения,

задача), target (цель-мишень для стрельбы, задание, план), end (цель-финиш, конец, окончание, предел).

Глубина диалектико-материалистической трактовки понятия цели раскрывается в теории познания, в которой показывается взаимосвязь понятий *цели, оценки, средства, целостности* (и ее «самодвижения»). Изучение взаимосвязи этих понятий показывает, что в принципе поведение одной и той же системы может быть описано и в терминах цели или целевых функционалов, связывающих цели со средствами их достижения (такое представление называют *аксиологическим* [10]), и без упоминания понятия цели, в терминах непосредственного влияния одних элементов или описывающих их параметров на другие, в терминах «пространства состояний» (каузальное представление [10]).

Одна и та же ситуация в зависимости от предшествующего опыта исследователя может быть представлена тем или иным способом. В большинстве практических ситуаций лучше понять и описать состояние системы, и ее будущее позволяет сочетание этих представлений.

Для того чтобы отразить диалектическое противоречие, заключенное в понятии «цель», в БСЭ дается следующее определение: цель – «заранее мыслимый результат сознательной деятельности человека, группы людей»\*.

«Заранее мыслимый», но все же «результат», воплощение замысла; подчеркивается также, что понятие цели связано с человеком, с его «сознательной деятельностью», т.е. с наличием сознания, а для характеристики целеустремленных, негэнтропийных тенденций на более низких ступенях развития материи принято использовать другие термины.

Диалектико-материалистическое понимание цели очень важно при организации процессов коллективного принятия решений в системах управления. В реальных ситуациях необходимо оговаривать, в каком смысле на данном этапе рассмотрения системы используется понятие «цель», что в большей степени должно быть отражено в ее формулировке – идеальные устремления, которые помогут коллективу лиц, принимающих решение (ЛПР), увидеть перспективы, или реальные возможности, обеспечивающие своевременность завершения очередного этапа на пути к желаемому будущему.

---

\* БСЭ. Изд. 2-е. – Т. 46. – С. 498.

Проведенный анализ определений понятия «цель» и графическая интерпретация «размытости» философских трактовок цели (см. рисунок) явились важным шагом на пути к практической реализации процессов целеполагания.

В дальнейшем было выработано весьма полезное для практического применения представление о двух различных понятиях цели: «цель деятельности» (актуальная, конкретная цель) и бесконечная по содержанию «цель-стремление» (цель-идеал, потенциальная цель), что позволило предложить концепцию единственности цели [4, 14].

В последнее время появляются определения понятия «цель», учитывающие ее роль в *развивающихся, самоорганизующихся системах* (см.): «цель – экстремум функционала существования» [6–8].

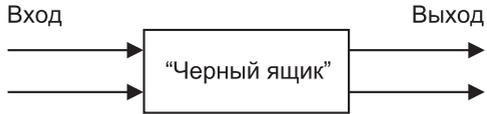
С учетом рассмотренных представлений о цели возникают сложности формулирования целей в конкретных условиях. Для помощи в понимании и формулировании целей необходимо учитывать *закономерности целеобразования* (см.).

- 1. А к о ф ф Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери. – М: Сов. радио, 1974. 2. В о л к о в а В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вуза / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: СПбГТУ, 1997. – С. 26–29. 3. В о л к о в а В.Н. Структуризация и анализ целей в системах организационного управления: учеб. пособие / В.Н. Волкова. – СПб.: СПбГТУ, 1995. 4. В о л к о в а В.Н. Цель: прогнозирование, анализ, структуризация / В.Н. Волкова, В.А. Чабровский. – СПб.: Изд-во ИСЭП РАН, 1995. 5. В о л к о в а В.Н. Искусство формализации: от математики – к теории систем и от теории систем – к математике: учеб. пособие / В.Н. Волкова. – СПб.: СПбГТУ, 1999. 6. Д е н и с о в А.А. Информационные основы управления / А.А. Денисов. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. 7. Д е н и с о в А.А. Введение в информационный анализ систем: текст лекций / А.А. Денисов. – Л.: ЛПИ, 1988. 8. Д е н и с о в А.А. Макроэкономическое моделирование и управление – СПб.: Омега, 1997. 9. М а к а р о в М.Г. Категория цель в домарксистской философии / М.Г. Макаров. – М.: Наука, 1974. 10. М а т е м а т и к а и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. 11. О с н о в ы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ / Под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 12. П о с п е л о в Г.С. Программно-целевое планирование и управление / Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. – М.: Сов. радио, 1976. 13. Р а с т р и г и н Л.А. Кибернетика как она есть / Л.А. Растрин, П.С. Граве. – М.: Молодая гвардия, 1975. 14. Ч а б р о в с к и й В.А. Прогнозирование развития науки, техники, экономики / В.А. Чабровский. – Рига: Изд-во Латвийского гос. ун-та, 1979.

*В.Н. Волкова*

«**ЧЕРНЫЙ ЯЩИК**» – термин, широко применявшийся в *кибернетике* (см.) при представлении изучаемого объекта моделью «вход – выход», показанной на рисунке.

Образное название «черный ящик» объясняется тем, что из-за сложности изучаемого объекта и невозможности понять его



внутреннее строение исследователь ограничивался наблюдением его поведения на основе измерения только входных воздействий и выходных результатов, т.е. закономерностей изменения «выходов» в зависимости от изменения «входов». При этом не ставилась задача изучения состава и структуры устройства или объекта, обеспечивающего эти закономерности.

Модель типа «черный ящик» можно реализовывать различными способами. Были модели, в которых измерялось количество входных и выходных воздействий. Выбирались последовательности входных воздействий, случайных и направленных. Формировались векторы «входов» и «выходов». На основе протоколов испытаний разрабатывались прогнозы поведения системы, рекомендации по корректировке управляющих воздействий и т.п. В некоторых моделях «выходы» рассматривались как цели и осуществлялся поиск входных управляющих воздействий, обеспечивающих достижение целей.

Такая модель давала удовлетворительные результаты в *теории автоматического управления* (см.), занимающейся исследованием и созданием технических устройств управления. Первоначально предпринимались попытки применения такой модели для изучения и проектирования социально-экономических объектов.

Однако применение модели «черного ящика» для изучения систем с активными элементами оказалось бесперспективным, поскольку для таких систем важно изучение внутренней структуры, закономерностей поведения активных элементов системы, негэнтропийных тенденций.

- 1. Винер Н. Кибернетика: Или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – М.: Наука, 1983. 2. Волкова В.Н. Искусство формализации: от математики – к теории систем, и от теории систем – к математике /

В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 3. Ланге О. Введение в экономическую кибернетику / О. Ланге / пер. с польск. – М.: Сов. радио, 1964. 4. М а т е м а т и к а и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. – С. 627–629. 5. Э ш б и У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Иностран. лит., 1959. В.Н. Волкова

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ** – раздел вычислительной математики, связанный с отысканием решений задач *математического программирования* (см.) в тех случаях, когда затруднено получение строго математического решения. Численные методы оптимизации, численный эксперимент считаются важным разделом системного анализа [2, 5, 6 и др.].

Численные методы представляют собой последовательность однотипных шагов, итераций.

Выделяют конечные и бесконечные численные методы [1, 6].

*Конечные методы* позволяют получать решение за конечное (но обычно заранее неизвестное) число шагов. К ним относят:

*симплекс-метод* (с полной симплексной таблицей, с использованием обратной матрицы, с мультипликативным представлением обратной матрицы; двойственный симплекс-метод);

*метод последовательного сокращения невязок* (комбинация обычного и двойственного симплекс-метода);

*метод наискорейшего спуска*;

*метод сопряженных градиентов* для минимизации квадратичной функции (см. *Градиентные методы*);

*методы условной минимизации*, основанные на теореме Куна – Такера.

Область применения конечных методов ограничена *линейным программированием* (см.) и *квадратичным программированием* (см.).

*Бесконечные методы* основаны на построении последовательности все более точных приближений к решению. При этом, прекращая процесс на том или ином шаге итераций, можно получить решение с заданной точностью.

К этой группе методов относят: *метод Брауна – Робинсона* [1], *метод штрафных функций*, или *метод штрафов* [1].

Поскольку конечные и бесконечные методы математического программирования обладают общими достоинствами и недостатками, вводят классификацию методов по видам итераций.

При этом выделяют [6] четыре вида итераций.

1. Методы возможных направлений.

2. Методы, в которых последовательные приближения  $x^k$  удовлетворяют ограничениям, и в процессе итераций невязка в выполнении ограничений сводится к нулю.

3. Методы, в которых итерационный процесс ведется не только по исходным, но и по двойственным переменным (множителям Лагранжа, оптимальным оценкам). К этой группе относится градиентный метод Эрроу – Гурвица – Удзавы.

4. Методы, основанные на учете ограничений с помощью штрафов.

К численным методам относят также методы решения задач специального вида: *транспортные* (см. *Транспортная задача*), *блочные* (см. *Блочное программирование*).

В современных условиях при использовании ЭВМ число методов расширяется. В частности, разрабатываются методы, основанные на применении кусочно-линейной аппроксимации [5 и др.], комбинаторных алгоритмов [2], разработке непрерывных вариантов дискретных методов, строится непрерывная траектория  $x(t)$ , задаваемая дифференциальными уравнениями.

- 1. Гольштейн Е.Г. Новые направления в линейном программировании / Е.Г. Гольштейн, Д.Б. Юдин. – М.: Сов. радио, 1966. 2. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций / Ю.И. Дегтярев. – М.: Высшая школа, 1996. 3. Демьянов В.Ф. Приближенные методы решения экстремальных задач / В.Ф. Демьянов, А.М. Рубинов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1968. 4. Зойтендейк Г. Методы возможных направлений / Г. Зойтендейк / пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 5. Козлов В.Н. Вычислительная математика и теория управления / В.Н. Козлов, В.Е. Куприянов, В.Н. Шашихин. – СПб.: Изд-во. СПбГТУ, 1996. 6. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – М.: Экономика, 1975. В.А. Кузьменков



**ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СИСТЕМ** используют для сопоставления значений качественных и количественных характеристик исследуемой системы с некоторыми фиксированными в шкалах значениями.

**Понятие шкалы и типы шкал.** В основе оценки лежит процесс сопоставления значений качественных или количественных характеристик исследуемой системы значениям соответствующих

шкал. Исследование характеристик привело к выводу, что все возможные шкалы принадлежат к одному из нескольких типов, определяемых перечнем допустимых операций на этих шкалах.

Формально шкалой называется кортеж из трех элементов

$$\langle X, \varphi, Y \rangle,$$

где  $X$  – реальный объект;

$Y$  – шкала;

$\varphi$  – гомоморфное отображение  $X$  на  $Y$ .

В современной теории измерений определено:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, R_x\}$  – эмпирическая система с отношением, включающая множество свойств  $x_i$ , на которых в соответствии с целями измерения задано некоторое отношение  $R_x$ . В процессе измерения необходимо каждому свойству  $x_i \in X$  поставить в соответствие признак или число, его характеризующее. Если, например, целью измерения является выбор, то элементы  $x_i$  рассматриваются как альтернативы, а отношение  $R_x$  должно позволять сравнивать эти альтернативы;

$Y = \{\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n), R_y\}$  – знаковая система с отношением, являющаяся отображением эмпирической системы в виде некоторой образной или числовой системы, соответствующей измеряемой эмпирической системе;

$\varphi \in \Phi$  – гомоморфное отображение  $X$  на  $Y$ , устанавливающее соответствие между  $X$  и  $Y$  так, что  $\{\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n)\} \in R_y$  только тогда, когда  $\{x_1, \dots, x_n\} \in R_x$ .

Тип шкалы определяется по  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$ , множеству допустимых преобразований  $x_i \rightarrow y_i$ .

В соответствии с приведенными определениями, охватывающими как количественные, так и качественные шкалы, измерение эмпирической системы  $X$  с отношением  $R_x$  состоит в определении знаковой системы  $Y$  с отношением  $R_y$ , соответствующей измеряемой системе. Предпочтения  $R_x$  на множестве  $X \times X$  в результате измерения переводятся в знаковые (в том числе и количественные) соотношения  $R_y$  на множестве  $Y \times Y$ .

**Шкалы номинального типа.** Самой слабой качественной шкалой является *номинальная* (шкала наименований, классификационная шкала), по которой объектам  $x_i$  или их неразличимым группам дается некоторый признак. Основным свойством этих шкал является сохранение неизменными отношений равенства между элементами эмпирической системы в эквивалентных шкалах.

Шкалы номинального типа задаются множеством взаимно однозначных допустимых преобразований шкальных значений.

Название «номинальный» объясняется тем, что такой признак дает объектам лишь ничем не связанные имена. Они для разных объектов либо совпадают, либо различаются; никакие более тонкие соотношения между значениями не зафиксированы. Шкалы номинального типа допускают только различение объектов на основе проверки выполнения отношения равенства на множестве этих элементов.

Номинальный тип шкал соответствует простейшему виду измерений, при котором шкальные значения используются лишь как имена объектов. Именно поэтому шкалы номинального типа часто называют также *шкалами наименований*.

Примерами измерений в номинальном типе шкал могут служить номера автомашин, телефонов, коды городов, лиц, объектов и т.п. Единственная цель таких измерений – выявление различий между объектами разных классов. Если каждый класс состоит из одного объекта, шкала наименований используется для различения объектов.

На рис. 1 изображено измерение в номинальной шкале объектов, представляющих три множества элементов  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .

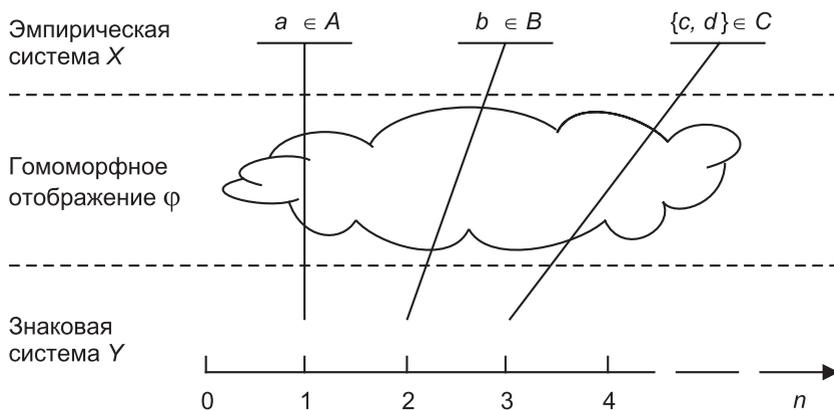


Рис. 1

Здесь эмпирическую систему представляют четыре элемента  $a \in A, b \in B, \{c, d\} \in C$ , принадлежащих соответствующим множествам. Знаковая система представлена цифровой шкалой наиме-

нований, включающей элементы  $1, 2, \dots, n$  и сохраняющей отношение равенства. Гомоморфное отображение  $\varphi$  ставит в соответствие каждому элементу из эмпирической системы определенный элемент знаковой системы.

Следует обратить внимание на две особенности номинальных шкал.

Во-первых, из рис. 1 видно, что элементам  $c$  и  $d$  поставлено в соответствие одно и то же значение шкалы измерения. Это означает, что при измерении эти элементы не различаются.

Во-вторых, при измерении в шкале наименований символы  $1, 2, 3, \dots, n$ , используемые в качестве шкальных значений, являются не числами, а цифрами, служащими лишь для обозначения и различия объектов. Так, цифра 2 не является в два раза или на единицу больше цифры 1 в отличие от чисел 2 и 1.

Всякая обработка результатов измерения в номинальной шкале должна учитывать перечисленные особенности. В противном случае могут быть сделаны ошибочные выводы по оценке систем, не соответствующих действительности.

**Шкалы порядка.** Шкала называется *ранговой (шкала порядка)*, если множество  $\emptyset$  состоит из всех монотонно возрастающих допустимых преобразований шкальных значений.

Монотонно возрастающим называется такое преобразование  $\varphi(x)$ , которое удовлетворяет условию: если  $x_1 > x_2$ , то и  $\varphi(x_1) > \varphi(x_2)$  для любых шкальных значений  $x_1 > x_2$  из области определения  $\varphi(x)$ . Порядковый тип шкал допускает не только различие объектов как номинальный тип, но и используется для упорядочения объектов по измеряемым свойствам. Измерение в шкале порядка может применяться, например, в следующих ситуациях:

- когда необходимо упорядочить объекты во времени или пространстве. Это ситуация, в которой интересуются не сравнением степени выраженности какого-либо их качества, а лишь взаимным пространственным или временным расположением этих объектов;
- когда нужно упорядочить объекты в соответствии с каким-либо качеством, но при этом не требуется проводить его точное измерение;
- когда какое-либо качество в принципе измеримо, но в настоящий момент не может быть измерено по причинам практического или теоретического характера.

Примером шкалы порядка может служить шкала твердости минералов, предложенная в 1811 г. немецким ученым Ф. Моосом и до сих пор распространенная в полевой геологической работе. Другими примерами шкал порядка могут служить шкалы силы ветра, силы землетрясения, «сортности» товаров в торговле, различные социологические шкалы и т.п.

Любая шкала, полученная из шкалы порядка  $S$  с помощью произвольного монотонно возрастающего преобразования шкальных значений, будет также точной шкалой порядка для исходной эмпирической системы с отношениями.

Несколько более «сильными», чем порядковые шкалы, являются *шкалы гиперпорядка*. Допустимыми для этих шкал являются гипермонотонные преобразования, т.е. преобразования  $\varphi(x)$ , такие, что для любых  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$ .

$$\varphi(x_1) - \varphi(x_2) < \varphi(x_3) - \varphi(x_4),$$

только когда  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$  принадлежат области определения  $\varphi(x)$  и  $x_1 - x_2 < x_3 - x_4$ .

При измерении в шкалах гиперпорядка сохраняется упорядочение разностей численных оценок.

**Шкалы интервалов.** Одним из наиболее важных типов шкал является *тип интервалов*. Он содержит шкалы, единственные с точностью до множества положительных линейных допустимых преобразований вида

$$\varphi(x) = ax + b,$$

где  $x \in Y$  – шкальные значения из области определения  $Y$ ;  
 $a > 0$ ;  $b$  – любое значение.

Основным свойством этих шкал является сохранение неизменными отношений интервалов в эквивалентных шкалах:

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = \frac{\varphi(x_1) - \varphi(x_2)}{\varphi(x_3) - \varphi(x_4)} = \text{const.}$$

Отсюда и происходит название данного типа шкал.

Примером шкал интервалов могут служить шкалы температур. Переход от одной шкалы к эквивалентной, например от шкалы Цельсия к шкале Фаренгейта, задается линейным преобразованием шкальных значений:

$$t^{\circ} \text{ F} = 1,8t^{\circ} \text{ C} + 32.$$

Другим примером измерения в интервальной шкале может служить признак «дата совершения события», поскольку для измерения времени в конкретной шкале необходимо фиксировать масштаб и начало отсчета. Григорианский и мусульманский календари – две конкретизации шкал интервалов.

Таким образом, при переходе к эквивалентным шкалам с помощью линейных преобразований в шкалах интервалов происходит как изменение начала отсчета (параметр  $b$ ), так и масштаба измерений (параметр  $a$ ).

Шкалы интервалов так же, как номинальная и порядковая, сохраняют различие и упорядочение измеряемых объектов. Однако, кроме того, они сохраняют и отношение расстояний между парами объектов.

Запись

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = K$$

означает, что расстояние между  $x_1$  и  $x_2$  в  $K$  раз больше расстояния между  $x_3$  и  $x_4$ , и в любой эквивалентной шкале это значение (отношение разностей численных оценок) сохранится. При этом отношения самих оценок не сохраняются.

В социологических исследованиях в шкалах интервалов обычно измеряют временные и пространственные характеристики объектов.

Например, даты событий, стаж, возраст, время выполнения заданий, разницу в отметках на графической шкале и т.д. Однако прямое отождествление замеренных переменных с изучаемым свойством не столь просто.

В качестве другого примера рассмотрим испытание умственных способностей, при котором измеряется время, требуемое для решения какой-нибудь задачи. Хотя физическое время измеряется в шкале интервалов, время, используемое как мера умственных способностей, принадлежит шкале порядка. Чтобы построить более совершенную шкалу, необходимо исследовать более богатую структуру этого свойства.

Типичная ошибка: свойства, измеряемые в шкале интервалов, принимаются в качестве показателей для других свойств, монотонно связанных с данными. Применяемые для измерения свя-

занных свойств исходные шкалы интервалов становятся всего лишь шкалами порядка. Игнорирование этого факта часто приводит к неверным результатам.

**Шкалы отношений.** Шкалой отношений (подобия) называется такая шкала, в которой  $\Phi$  состоит из преобразований подобия

$$\varphi(x) = ax, a > 0,$$

где  $x \in Y$  – шкальные значения из области определения  $Y$ ;

$a$  – действительные числа.

Нетрудно убедиться, что в шкалах отношений остаются неизменными отношения численных оценок объектов. Действительно, пусть в одной шкале объектам  $a_1$  и  $a_2$  соответствуют шкальные значения  $x_1$  и  $x_2$ , а в другой

$$\varphi(x_1) = ax_1 \text{ и } \varphi(x_2) = ax_2,$$

где  $a > 0$  – произвольное действительное число.

Тогда имеем

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{\varphi(x_1)}{\varphi(x_2)} = \frac{ax_1}{ax_2}.$$

Вид этого соотношения объясняет название шкал отношений.

Примерами измерений в шкалах отношений являются измерения массы и длины объектов. Известно, что при установлении массы используется большое разнообразие численных оценок. Так, производя измерение в килограммах, получаем одно численное значение, при измерении в фунтах – другое и т.д. Однако можно заметить, что в какой бы системе единиц ни проводилось измерение массы, отношение масс любых объектов одинаково и при переходе от одной числовой системы к другой, эквивалентной, не меняется. Этим же свойством обладает и измерение расстояний и длин предметов.

Как видно из рассмотренных примеров, шкалы отношений отражают отношения свойств объектов, т.е. во сколько раз свойство одного объекта превосходит это же свойство другого объекта.

Шкалы отношений образуют подмножество шкал интервалов фиксированием нулевого значения параметра  $b: b = 0$ . Такая фиксация означает задание нулевой точки начала отсчета шкальных значений для всех шкал отношений. Переход от одной шкалы

отношений к другой эквивалентной ей шкале осуществляется с помощью преобразований подобия (растяжения), т.е. изменением масштаба измерений. Шкалы отношений, являясь частным случаем шкал интервалов, при выборе нулевой точки отсчета сохраняют не только отношения свойств объектов, но и отношения расстояний между парами объектов.

**Шкалы разностей.** Шкалы разностей определяются как шкалы, единственные с точностью до преобразований сдвига

$$\varphi(x) = x + b,$$

где  $x \in Y$  – шкальные значения из области определения  $Y$ ;

$b$  – действительные числа.

Это означает, что при переходе от одной числовой системы к другой меняется лишь начало отсчета.

Шкалы разностей применяются в тех случаях, когда необходимо измерить, насколько один объект превосходит по определенному свойству другой объект. В шкалах разностей неизменными остаются разности численных оценок свойств. Действительно, если  $x_1$  и  $x_2$  оценки объектов  $a_1$  и  $a_2$  в одной шкале, а  $\varphi(x_1) = x_1 + b$  и  $\varphi(x_2) = x_2 + b$  в другой, то имеем:

$$\varphi(x_1) - \varphi(x_2) = (x_1 + b) - (x_2 + b) = x_1 - x_2.$$

Примерами измерений в шкалах разностей могут служить измерения прироста продукции предприятий (в абсолютных единицах) в текущем году по сравнению с прошлым, увеличение численности учреждений, количество приобретенной техники за год и т.д.

Другим примером измерения в шкале разностей является летосчисление (в годах). Переход от одного летосчисления к другому осуществляется изменением начала отсчета.

Как и шкалы отношений, шкалы разностей являются частным случаем шкал интервалов, получаемых фиксированием параметра  $a$ : ( $a=1$ ), т.е. выбором единицы масштаба измерений. Точка отсчета в шкалах разностей может быть произвольной. Шкалы разностей, как и шкалы интервалов, сохраняют отношения интервалов между оценками пар объектов, но в отличие от шкалы отношений не сохраняют отношения оценок свойств объектов.

**Абсолютные шкалы.** Абсолютными называют шкалы, в которых единственными допустимыми преобразованиями  $\Phi$  являются тождественные преобразования:

$$\varphi(x) = \{e\},$$

где  $e(x) = x$ .

Это означает, что существует только одно отображение эмпирических объектов в числовую систему. Отсюда и название шкалы, так как для нее единственность измерения понимается в буквальном, абсолютном смысле.

Абсолютные шкалы применяются, например, для измерения количества объектов, предметов, событий, решений и т.п. В качестве шкальных значений при измерении количества объектов используются натуральные числа, когда объекты представлены целыми единицами, и действительные числа, если, кроме целых единиц, присутствуют и части объектов.

Абсолютные шкалы являются частным случаем всех ранее рассмотренных типов шкал, поэтому сохраняют любые соотношения между числами – оценками измеряемых свойств объектов: различие, порядок, отношение интервалов, отношение и разность значений и т. д.

Кроме указанных существуют промежуточные типы шкал, такие, например, как степенная шкала  $\varphi(x) = ax^b$ ;  $a > 0, b > 0, a \neq 1, b \neq 1$  и ее разновидность – логарифмическая шкала  $\varphi(x) = x^b$ ;  $b > 0, b \neq 1$ .

Не останавливаясь подробно на промежуточных вариантах, изобразим для наглядности соотношения между основными типами шкал в виде иерархической структуры основных шкал, где стрелки указывают включение совокупностей допустимых преобразований более «сильных» в менее «сильные» типы шкал. При этом шкала тем «сильнее», чем меньше свободы в выборе  $\varphi(x)$ .

Некоторые шкалы являются изоморфными, т.е. равносильными. Например, равносильны шкала интервалов и степенная шкала. Логарифмическая шкала равносильна шкале разностей и шкале отношений.

**Обработка характеристик, измеренных в разных шкалах.** При проведении измерений необходимо отделять существенно несравнимые альтернативы от несравнимых альтернатив, допускающих косвенную сравнительную оценку.

Так, например, если эксперт считает несравнимыми альтернативы  $y_1$  и  $y_2$ , но в то же время считает альтернативу  $y_1$  более предпочтительной, а альтернативу  $y_2$  менее предпочтительной, чем  $y_3$ , то можно с определенными оговорками считать  $y_1$  более

предпочтительной, чем  $y_2$ . Отношение  $R_y$  при наличии несравнимых альтернатив является отношением частичного порядка. В этом случае вводится понятие *квазишкалы*.

Особенностью измерения и оценивания качества сложных систем является то, что для одной системы по разным частным показателям качества могут применяться любые из типов шкал – от самых слабых до самых сильных. При этом для получения надежного значения показателя может проводиться несколько измерений. Кроме того, обобщенный показатель системы может представлять собой некую осредненную величину однородных частных показателей.

При измерении и оценке физических величин обычно трудности не возникают, так как перечислимые величины измеряются в абсолютной шкале. Измерение, например, ряда антропометрических характеристик осуществляется в шкале отношений. Более сложной является оценка в качественных шкалах. Однако отдельные показатели в процессе системного анализа уточняются, и, как следствие, появляется возможность от измерения и оценки в качественных шкалах перейти к оценке в количественных шкалах.

В любом случае при работе с величинами, измеренными в разных шкалах, необходимо соблюдать определенные правила, которые не всегда очевидны. Иначе неизбежны грубые просчеты и промахи при оценке систем.

Проиллюстрируем широко распространенную ошибку при использовании балльной оценки. Пусть для экспертизы представлены две системы  $A$  и  $B$ , оцениваемые по свойствам  $y_1, y_2, y_3, y_4$ . Качество каждой системы оценивается как среднее арифметическое по пятибалльной системе, но оценка в баллах является вследствие округления не совсем точной. Так, например, свойства, имеющие фактический уровень 2,6 и 3,4 балла, получают одинаковую оценку 3 балла. Результаты экспертизы приведены в табл. 1.

По фактическому качеству лучшей является система  $A$ , а по результатам экспертизы лучшей признают систему  $B$ . Таким образом, способы измерения и обработки их результатов оказывают существенное влияние на результаты.

Избежать ошибок можно, используя результаты, полученные в теории шкалирования, они определяют правила и перечень допустимых операций осреднения характеристик. Остановимся подробнее на правилах осреднения.

Таблица 1

Свойство системы	Оценка системы			
	А		Б	
	истинная	в баллах	истинная	в баллах
$y_1$	4,4	4	3,6	4
$y_2$	3,3	3	3,7	4
$y_3$	2,4	2	2,6	3
$y_4$	4,4	4	2,6	3
Суммарная оценка	14,5	13	12,5	14

Проводить осреднение допускается только для однородных характеристик, измеренных в одной шкале.

Это означает, например, что не имеет физического смысла вычисление среднего значения скорости для мобильного абонентского пункта, если слагаемыми являются скорость передачи данных и скорость перемещения этого объекта. Иными словами, осредняются только такие значения  $y_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , которые представляют собой или оценки различных измерений одной и той же характеристики, или оценки нескольких различных однородных характеристик.

Каждое значение показателя  $y_i$  может иметь для исследователя различную ценность, которую учитывают с помощью коэффициентов значимости  $c_i$ , причем

$$\sum_{i=1}^n c_i = 1.$$

Для получения осредненного значения показателя наиболее часто применяют основные формулы осреднения, приведенные в табл. 2.

Простая и взвешенные средние величины различаются не только по величине (не всегда), по способу вычисления, но и по своей роли в решении задач системного анализа. При этом средневзвешенные величины используются для сравнения систем с учетом «вклада» различных факторов в осредненную оценку.

Рассмотрим, например, среднее количество информации, получаемой из сети Интернет организацией, пользующейся услугами различных прикладных служб. Если эта средняя величина входит в систему показателей себестоимости, протоколов работы, типов используемых линий, то следует применять взвешенное среднее, так как произведение невзвешенного среднего на общую

пропускную способность линий не даст количества полученной информации, поскольку служба электронной почты используется, например, значительно реже, чем WWW, и, следовательно, вносит меньший «вклад» в общее количество получаемой информации. Если же необходимо изучить связь количества получаемой информации с днем недели, то следует применять простое среднее количество информации за сутки, полностью абстрагируясь от различий между типами служб.

Таблица 2

Вид осреднения	Формула
Средневзвешенное арифметическое (СВА)	$y_{pва} = \sum_{i=1}^n c_i y_i$
Среднее арифметическое (СА), частный случай СВА при равнозначности измерений ( $c_i=1/n$ )	$y_{pa} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$
Среднее квадратическое (СК)	$y_{рк} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$
Средневзвешенное геометрическое (СВГм)	$y_{pвгм} = \prod_{i=1}^n y_i^{c_i}$
Среднее геометрическое (СГм), частный случай СВГм при $c_i = 1/n$	$y_{pгм} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n y_i}$
Средневзвешенное гармоническое (СВГр)	$y_{pвгр} = \left( \sum_{i=1}^n c_i y_i^{-1} \right)^{-1}$
Среднее гармоническое (СГр)	$y_{pгр} = n \left( \sum_{i=1}^n y_i^{-1} \right)^{-1}$

Среднее арифметическое используется в случаях, когда важно сравнить абсолютные значения какой-либо характеристики нескольких систем. Например, скорость вывода на печать текстов (лист/мин.) для различных печатающих устройств.

Если при замене индивидуальных значений показателя на среднюю величину требуется сохранить неизменной сумму квадратов исходных величин (измерение вариации характеристики в совокупности), то в качестве средней следует использовать среднее квадратическое. Например, при определении местоположения источника радиоизлучения в радиоразведке вычисляется среднее квадратическое отклонение нескольких измерений.

Среднее геометрическое, в свою очередь, используется для определения относительной разности отдельных значений при необходимости сохранения произведения индивидуальных величин тогда, когда среднее значение качественно одинаково удалено от максимального и минимального значений, т.е. когда важны не абсолютные значения, а относительный разброс характеристик. Например, если максимальная производительность процессора на операциях с данными целочисленного типа составляет для сжатия текстового файла миллион условных единиц, а для сжатия изображений графических объектов – сто, то какую величину считать средней? Среднее арифметическое (500 000) качественно однородно с максимальным и резко отлично от минимального. Среднее геометрическое с точки зрения логики дает верный ответ – 10 000. Не миллион и не сотня, а нечто среднее. В статистике среднее геометрическое находит применение при определении средних темпов роста.

Среднее гармоническое используется, если необходимо, чтобы неизменной оставалась сумма величин, обратных индивидуальным значениям характеристик. Пусть, например, в режиме обмена данными средняя скорость передачи данных по прямому каналу составляет 64 Кб/с, а средняя скорость по обратному каналу – 2,4 Кб/с. Какова средняя скорость обмена данными? При замене индивидуальных значений скорости  $y_1 = 64$  и  $y_2 = 2,4$  на среднюю величину необходимо, чтобы неизменной величиной осталось время передачи в обе стороны, иначе средняя скорость может оказаться любой. Таким образом,

$$y_{\text{гп}} = 2 \left( \frac{1}{64} + \frac{1}{2,4} \right)^{-1} \approx 4,8 \text{ Кб/с.}$$

Приведенные примеры показывают, что в каждом конкретном случае требуется четкое определение допустимых условий применения средних величин.

Соотношение между разными типами средних величин определяется *правилом мажорантности средних*  $СГр \leq СГм \leq СА \leq СК$ .

Использование необоснованных способов определения средних величин может привести к искусственному завышению или занижению осредненного значения показателя качества системы.

Сводные данные по характеристикам разных шкал и перечень допустимых операций осреднения характеристик приведены в табл. 3.

Как следует из этой таблицы, для величин, измеренных в номинальной шкале, никакие осреднения не допускаются.

Среднее арифметическое применимо для величин, измеренных в шкалах интервалов, разностей, отношений и абсолютной, но недопустимо для шкалы порядка.

Более устойчивой оценкой среднего является медиана (50%-ный квантиль), которая рекомендуется как основной показатель для шкал порядка, интервалов, разностей, отношений и абсолютной. Математическое ожидание допустимо для шкал интервалов, разностей, отношений и абсолютных, но не столь устойчиво, как медиана. Применение его для величин, измеренных в шкале порядка, является некорректным.

Среднее геометрическое является единственно допустимым средним для степенных и логарифмических шкал, а также одним из допустимых для шкалы отношений. Для нее допустимы также средневзвешенное арифметическое, среднее гармоническое и среднее квадратическое.

Вопрос о применении средних в настоящее время исследован достаточно полно. Это нельзя сказать о средневзвешенных. Однако для наиболее часто применяемого средневзвешенного арифметического доказан следующий факт. Средневзвешенное арифметическое, часто применяемое как обобщенный линейный критерий (аддитивная свертка при сведении векторной задачи к скалярной, при осреднении показателей и др.), допустимо применять тогда и только тогда, когда значения частных показателей можно представить мультипликативным метризованным отношением линейного порядка или, другими словами, когда они измерены в шкале отношений. Доказано, что задача линейного программирования корректна, если коэффициенты ее целевой функции и ограничений измерены в шкале отношений.

Перспективы развития теории шкалирования и ее применения для нужд математического обеспечения информационных систем связаны с дальнейшим развитием понятия измерения. Наиболее перспективным представляется расширение понимания шкалы путем привлечения понятий нечеткой и лингвистических переменных, используемых в теории нечетких множеств. Обобщение понятия характеристической функции путем перехода к

Таблица 3

Исходная эмпирическая система		Параметры, сохраняющиеся при переходе от одной шкалы к другой (из числа допустимых)	Допустимые виды осреднения		Рекомендуемые (да-нет), допустимые (+) и недопустимые (-) виды обработки случайных величин						
			сред-нее	другие	медиа-на	M(x)	D(x)	разброс	характе-ристики связи		
Отношение порядка	Шкала	Эквивалентность	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	
					нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Линейный порядок	Номиналь-ная	Порядок	да	нет	да	нет	да	нет	нет	нет	$R(\xi, \eta)$
					да	нет	да	нет	нет	нет	нет
То же с мульти-пликативной метрикой	Интервалов	Порядок	нет	нет	нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
					нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
Линейный порядок	Степенная	Отношение разностей	нет	нет	нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
					нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
Линейный порядок	Логарифми-ческая	Отношение разностей логарифмов	нет	нет	нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
					нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
То же с аддитивной метрикой	Отношений	Отношение логарифмов	нет	нет	нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
					нет	нет	да	нет	нет	нет	нет
То же с аддитивной метрикой	Разностей	Отношение оценок	да	нет	да	нет	да	нет	нет	нет	нет
					да	нет	да	нет	нет	нет	нет
То же на оси целых чисел	Абсолютная	Разность оценок	да	нет	да	нет	да	нет	нет	нет	нет
					да	нет	да	нет	нет	нет	нет

понятию функции принадлежности  $\mu_n \in [0,1]$ , используемой в этой теории, создает основу для введения более тонкой структуры измерения качественных характеристик и учета неопределенностей, свойственных сложным системам на основе понятия нечеткой шкалы.

Например, пусть рассматриваемое нечеткое множество – возраст людей. Нечеткими переменными (шкальными значениями), означающими возраст, являются лингвистические переменные «молодой», «средний», «старый» с приписанными им функциями принадлежности, которые можно определить так, как показано на рис. 2.

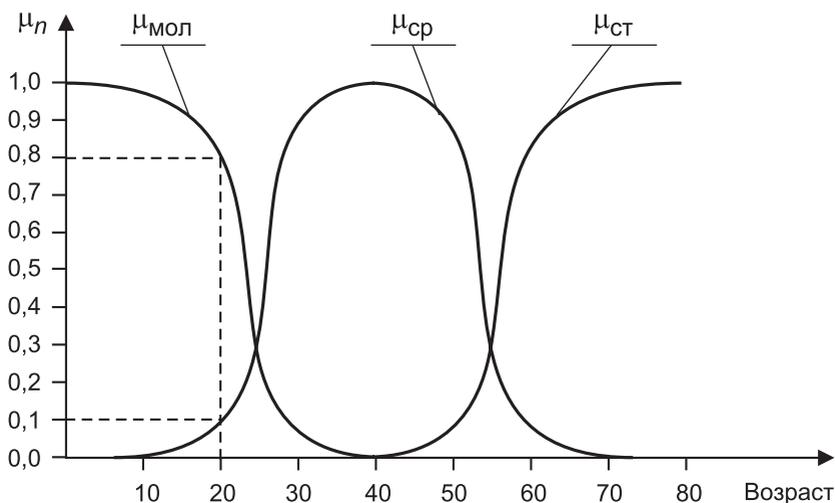


Рис. 2

При этом 20-летний человек относится к нечеткому подмножеству возраста «молодой» с функцией принадлежности  $\mu_{\text{мол}} = 0,8$ , и он же с функцией принадлежности  $\mu_{\text{ср}} = 0,1$  относится к нечеткому подмножеству возраста «средний».

- 1. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин / под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. 2. Ланнэ А.А. Многокритериальная оптимизация / А.А. Ланнэ, Д.А. Улахович. – М.: Военная академия связи, 1984. 3. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. I. Методология, методы, модели / Г.Б. Петухов. – М., 1989. А.А. Емельянов

**ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ** – методы решения задач, основанные на эвристике, или эвристическом рассуждении, т.е. на использовании правил и приемов, обобщающих прошлый опыт, и интуиции решающего.

*Эвристика* в широком смысле – раздел психологии, изучающий природу мыслительной деятельности человека, мыслительных операций при решении им различных задач.

*Эвристические рассуждения* строятся преимущественно на использовании аналогий и неполной индукции.

Систематизацию эвристических принципов пытались проводить многие, начиная с Евклида.

Важную роль в развитии эвристических методов в середине XX в. сыграла работа Д. Пойа [9], который ввел понятие «правдоподобное рассуждение». Эвристическое рассуждение стали считать предварительным правдоподобным рассуждением, направленным на решение задачи [1].

Использование эвристических методов для принятия решений началось в связи с развитием *кибернетики* (см.), в которой были поставлены задачи изучения способностей мозга к творческому мышлению и воспроизведения этих способностей на ЭВМ. Изучение проблем эвристики связано с более общей проблемой создания *искусственного интеллекта* (см.).

На эвристических методах базировались методы технического творчества [2, 4–6] и возникшая в последующем теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) [3].

В теории систем был период, когда все неформальные методы называли эвристическими, отождествляя этот термин с термином *экспертные методы* в широком смысле.

Эвристические правила пытались формулировать как методические рекомендации без доказательств, как обобщение практического опыта [6].

Например, *принцип разумной универсализации*, рекомендующий не увлекаться созданием сверхуниверсальных систем; *принцип иерархического управления*, рекомендующий, чтобы число подразделений, подчиненных любой иерархической единице, не превышало  $7 \pm 2$  (основанный на гипотезе Миллера); *принцип подготовки развития*, предусматривающий в структуре системы определенную избыточность и т.п. [6, 12].

К эвристическим принципам относили и методики (последовательности этапов) проектирования системы.

Однако в последующем для методов, которые используются как средства работы с экспертами (типа мозговой атаки, сценариев и т.п.), в качестве обобщающего названия был предложен термин *методы, направленные на активизацию интуиции и опыта специалистов* (см.) [13]. А к эвристическим методам стали относить лишь те, которые связаны непосредственно со способностями человека, с неожиданно предлагаемыми решениями, т.е. непосредственно с термином *эврика, озарение*.

На идеях эвристики развивается эвристическое программирование [10], методы которого используются при решении задач *распознавания образов* (см.), при разработке программ для игры в шахматы и других аналогичных областях, где не удастся формализовать перебор вариантов решения задачи в обозримые сроки. Разрабатываются методы психоэвристического стимулирования.

- 1. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений / Е.А. Александров. – М.: Сов. радио, 1970. 2. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения / Г.С. Альтшуллер. – М.: Московский рабочий, 1972. 3. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука: теория решения изобретательских задач / Г.С. Альтшуллер. – М.: Сов. радио, 1979. 4. Буш Г.Я. Методологические основы научного управления изобретательством / Г.Я. Буш. – Рига: Лиесма, 1974. 5. Буш Г.Я. Стратегия эврилогии / Г.Я. Буш. – Рига: Знание, 1986. 6. Джонс Дж. Инженерное и художественное конструирование / Дж. Джонс. – М.: Мир, 1976. 7. Глушков В.М. Введение в АСУ / В.М. Глушков. – Киев: Наукова думка, 1974. 8. Ивахненко А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике / А.Г. Ивахненко. – Киев: Техніка, 1971. 9. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения / Д. Пойа: пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит., 1957. 10. Поспелов Д.А. Эвристическое программирование и эвристика как наука / Д.А. Поспелов // Вопросы философии. – 1967. – № 7. 11. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений: опыт анализа мыслительных актов / Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь, 1986. 12. Управление, информация, интеллект / Под ред. А.И. Берга, Б.В. Бирюкова, Е.С. Геллера, Г.Н. Поварова. – М.: Мысль, 1976. 13. Системный анализ в экономике и организации производства / Под ред. С.А. Валуева и В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991.

*В.Н. Волкова, С.В. Широкова*

**ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ** – группа методов, наиболее часто используемая в практике оценивания сложных систем на качественном уровне. Термин «эксперт» происходит от латинского слова *expert* – «опытный».

Изучению особенностей и возможностей применения экспертных оценок посвящено много работ. В них рассматриваются:

- проблемы формирования экспертных групп, включая требования к экспертам, размеры группы, вопросы тренировки экспертов, оценки их компетентности;
- формы экспертного опроса (разного рода анкетирование, интервью, смешанные формы опроса) и методики организации опроса (в том числе методики анкетирования, мозговая атака, деловые игры и т.п.);
- подходы к оцениванию (ранжирование, нормирование, различные виды упорядочения, в том числе методы предпочтений, парных сравнений и др.);
- методы обработки экспертных оценок;
- способы определения согласованности мнений экспертов, достоверности экспертных оценок (в том числе статистические методы оценки дисперсии, оценки вероятности для заданного диапазона изменений оценок, оценки ранговой корреляции Кендалла, Спирмена, коэффициента конкордации и т.п.), методы повышения согласованности оценок путем соответствующих способов обработки результатов экспертного опроса.

При использовании экспертных оценок обычно предполагается, что мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта. В некоторых теоретических исследованиях отмечается, что это предположение не является очевидным, но одновременно утверждается, что при соблюдении определенных требований в большинстве случаев групповые оценки надежнее индивидуальных. К числу таких требований относятся следующие: распределение оценок, полученных от экспертов, должно быть «гладким»; две групповые оценки, данные двумя одинаковыми подгруппами, выбранными случайным образом, должны быть близки.

При получении и обработке экспертных оценок применяют различные методы. С обзором форм и методов получения и обработки экспертных оценок можно познакомиться, например, в [4, 8, 9, 10 и др.].

В частности, Б.Г. Литвак [4] на основе обобщения и исследования видов шкал измерений и отношений рассматривает особенности мер близости разного рода (на неметризованных и векторных отношениях, структурные, евклидовы); характеризует принципы и методы, основанные на выборе различных способов упорядоче-

ния и отношений предпочтения (в том числе методы ранжирования и гиперупорядочения, методы парных сравнений Черчмена–Акоффа, Терстоуна, метод «смешанной альтернативы» Неймана–Моргенштерна, принцип отбрасывания альтернатив Эрроу, алгоритмы отыскания медианы Кемени, метризованные ранжирования, алгоритмы выбора по принципу Парето, методы определения предпочтений на множествах многомерных альтернатив и т.п.).

К наиболее употребительным процедурам экспертных измерений относятся:

- ранжирование;
- парное сравнение;
- множественные сравнения;
- непосредственная оценка;
- последовательное сравнение;
- метод Терстоуна;
- метод Неймана–Моргенштерна.

Целесообразность применения того или иного метода определяется характером анализируемой информации [5, 6]. Если оправданы лишь качественные оценки объектов по тем или иным качественным признакам, то используются методы ранжирования, парного и множественного сравнения.

Если характер анализируемой информации таков, что целесообразно получить численные оценки объектов, то можно использовать тот или иной метод численной оценки, начиная от непосредственных численных оценок и кончая более тонкими методами Терстоуна и Неймана–Моргенштерна.

При описании каждого из перечисленных методов будет предполагаться, что имеется конечное число измеряемых или оцениваемых альтернатив (объектов)  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  и сформулированы один или несколько признаков сравнения, по которым осуществляется сравнение свойств объектов. Следовательно, методы измерения будут различаться лишь процедурой сравнения объектов. Она включает построение отношений между объектами эмпирической системы, выбор преобразования  $\varphi$  и определение типа шкал измерений. Рассмотрим указанные вопросы для каждого метода измерения.

**Ранжирование.** Метод представляет собой процедуру упорядочения объектов, выполняемую экспертом. На основе знаний и опыта эксперт располагает объекты в порядке предпочтения, руководствуясь одним или несколькими выбранными показателя-

ми сравнения. В зависимости от вида отношений между объектами возможны различные варианты упорядочения объектов.

Рассмотрим эти варианты. Пусть среди объектов нет одинаковых по сравниваемым показателям, т.е. нет эквивалентных объектов. В этом случае между объектами существует только отношение строгого порядка. В результате сравнения всех объектов по отношению строгого порядка составляется упорядоченная последовательность  $a_1 > a_2 > \dots > a_N$ , где объект с первым номером является наиболее предпочтительным из всех объектов, объект со вторым номером менее предпочтителен, чем первый объект, но предпочтительнее всех остальных объектов, и т.д.

Полученная система объектов с отношением строгого порядка при условии сравнимости всех объектов по этому отношению образует полный строгий порядок. Для этого отношения доказано существование числовой системы, элементами которой являются действительные числа, связанные между собой отношением неравенства «>». Это означает, что упорядочению объектов соответствует упорядочение чисел  $x_1 > \dots > x_N$ , где  $x_i = \varphi(a_i)$ . Возможна и обратная последовательность  $x_1 < \dots < x_N$ , в которой наиболее предпочтительному объекту приписывается наименьшее число, и по мере убывания предпочтения объектам приписываются большие числа.

Соответствие перечисленных последовательностей, т.е. их гомоморфизм, можно осуществить, выбирая любые числовые представления. Единственным ограничением является монотонность преобразования. Следовательно, допустимое преобразование при переходе от одного числового представления к другому должно обладать свойством монотонности. Таким свойством допустимого преобразования обладает шкала порядков, поэтому ранжирование объектов есть измерение в порядковой шкале.

В практике ранжирования чаще всего применяется числовое представление последовательности в виде натуральных чисел:

$$x_1 = \varphi(a_1) = 1, x_2 = \varphi(a_2) = 2, \dots, x_N = \varphi(a_N) = N,$$

т.е. используется числовая последовательность. Числа  $x_1, x_2, \dots, x_N$  в этом случае называются *рангами* и обычно обозначаются буквами  $r_1, r_2, \dots, r_N$ .

Применение строгих численных отношений «больше» (>), «меньше» (<) или «равно» (=) не всегда позволяет установить

порядок между объектами. Поэтому наряду с ними используются отношения для определения большей или меньшей степени какого-то качественного признака (отношения частичного порядка, например, полезности), отношения типа «более предпочтительно» ( $\succ$ ), «менее предпочтительно» ( $\prec$ ), «равноценно» ( $\approx$ ) или «безразлично» ( $\sim$ ). Упорядочение объектов при этом может иметь следующий вид:

$$a_1 \succ a_2 \succ a_3 \approx a_4 \approx a_5 \succ a_6 \succ \dots \succ a_{n-1} \approx a_n.$$

Данное упорядочение образует нестрогий линейный порядок. Для такого отношения доказано существование числовой системы с отношениями неравенства и равенства между числами, описывающими свойства объектов. Любые две числовые системы для рассматриваемого порядка связаны между собой монотонным преобразованием. Следовательно, ранжирование при условии наличия эквивалентных объектов представляет собой измерение также в порядковой шкале.

В практике ранжирования объектов, между которыми допускаются отношения как строгого порядка, так и эквивалентности, числовое представление выбирается следующим образом. Наиболее предпочтительному объекту присваивается ранг, равный единице, второму по предпочтительности – ранг, равный двум, и т.д. Для эквивалентных объектов удобно, имея в виду технологии последующей обработки экспертных оценок, назначать одинаковые ранги, равные среднеарифметическому значению рангов, присваиваемых одинаковым объектам. Такие ранги называют связанными рангами.

Для приведенного примера упорядочения на основе нестроного линейного порядка при  $N = 10$  ранги объектов  $a_3, a_4, a_5$  будут равными:  $r_3 = r_4 = r_5 = (3+4+5)/3 = 4$ .

В этом же примере ранги объектов  $a_9, a_{10}$  также одинаковы и равны среднему арифметическому  $r_9 = r_{10} = (9+10)/2 = 9,5$ .

Связанные ранги могут оказаться дробными числами. Удобство использования связанных рангов заключается в том, что сумма рангов  $N$  объектов равна сумме натуральных чисел от единицы до  $N$ . При этом любые комбинации связанных рангов не изменяют эту сумму. Данное обстоятельство существенно упрощает обработку результатов ранжирования при групповой экспертной оценке.

При групповом ранжировании каждый  $S$ -й эксперт присваивает каждому  $i$ -му объекту ранг  $r_{iS}$ . В результате проведения экспертизы получается матрица рангов  $\|r_{iS}\|$  размерности  $N \times k$ , где  $N$  – число объектов;  $k$  – число экспертов;  $S = 1, \dots, k$ ;  $i = 1, \dots, N$ . Результаты группового экспертного ранжирования удобно представить в виде табл. 1.

Таблица 1

Объект	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_2$	...	$\mathcal{E}_k$
$a_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	...	$r_{1k}$
$a_2$	$r_{21}$	$r_{22}$	...	$r_{2k}$
...	...	...	...	...
$a_n$	$r_{n1}$	$r_{n2}$	...	$r_{nk}$

Аналогичный вид имеет таблица, если осуществляется ранжирование объектов одним экспертом по нескольким показателям сравнения. При этом в таблице вместо экспертов в соответствующих графах указываются показатели.

Поскольку ранги объектов определяют только порядок расположения объектов по показателям сравнения, они как числа не дают возможности сделать вывод о том, на сколько или во сколько раз предпочтительнее один объект по сравнению с другим. Если, например, ранг объекта равен 3, то отсюда не следует делать вывод о том, что этот объект в три раза более предпочтителен, чем объект, имеющий ранг, равный 1.

Достоинство ранжирования как метода экспертного измерения – простота осуществления процедур, не требующая трудоемкого обучения экспертов. Недостатком ранжирования является практическая невозможность упорядочения большого числа объектов. Как показывает опыт, при числе объектов больше 10–15 эксперты затрудняются в построении ранжировки. Объяснения в том, что в процессе ранжирования эксперт должен установить взаимосвязь между всеми объектами, рассматривая их как единую совокупность. При увеличении числа объектов число связей между ними растет пропорционально квадрату числа объектов. Сохранение в памяти и анализ большой совокупности взаимосвязей между объектами ограничиваются психологическими возможностями человека. Психология утверждает, что оперативная память человека позволяет оперировать в среднем не более

чем с  $7 \pm 2$  объектами одновременно. Поэтому при ранжировании большего числа объектов эксперты могут допускать существенные ошибки.

**Парное сравнение.** Этот метод представляет собой процедуру установления предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар. В отличие от ранжирования, в котором упорядочивают все объекты, парное их сравнение – задача более простая. При сравнении пары объектов возможно либо отношение строгого порядка, либо отношение эквивалентности. Отсюда следует, что парное сравнение, так же как и ранжирование, есть измерение в порядковой шкале.

В результате сравнения пары объектов  $a_i, a_j$  эксперт упорядочивает ее, высказывая либо  $a_i \succ a_j$ , либо  $a_j \succ a_i$ , либо  $a_i \approx a_j$ . Выбор числового представления  $\varphi(a_i)$  можно провести так: если  $a_i \succ a_j$ , то  $\varphi(a_i) > \varphi(a_j)$ ; если предпочтение в паре обратное, то знак неравенства заменяется на обратный, т.е.  $\varphi(a_i) < \varphi(a_j)$ . Наконец, если объекты эквивалентны, то естественно считать, что  $\varphi(a_i) = \varphi(a_j)$ .

В практике парного сравнения используются следующие числовые представления:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ ерли } a_i \succ a_j \text{ или } a_i \approx a_j, \\ 0, \text{ ерли } a_i \prec a_j, i, j = \overline{1, N}, \end{cases} \quad (1)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 2, \text{ ерли } a_i \succ a_j, \\ 1, \text{ ерли } a_i \approx a_j, \\ 0, \text{ ерли } a_i \prec a_j, i, j = \overline{1, N} \end{cases} \quad (2)$$

Результаты сравнения всех пар объектов удобно представлять в виде матрицы. Пусть, например, есть пять объектов  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  и проведено парное сравнение этих объектов по предпочтительности. Результаты сравнения представлены в виде  $a_1 \succ a_2, a_1 \succ a_3, a_1 \succ a_4, a_1 \prec a_5, a_2 \succ a_3, a_2 \succ a_4, a_2 \prec a_5, a_3 \approx a_4, a_3 \prec a_5, a_4 \prec a_5$ .

Используя числовое представление (1), составим матрицу измерения результатов парных сравнений (табл. 2). В ней на диагонали всегда будут расположены единицы, поскольку объект эквивалентен себе. Представление (2) характерно для отображения результатов спортивных состязаний. За выигрыш (футбол, хоккей и т.п.) даются два очка, за ничью – одно и за проигрыш – нуль очков. Предпочтительность одного объекта перед другим

тракуется в данном случае как выигрыш одного участника турнира у другого. Таблица результатов измерения при использовании числового представления не отличается от таблиц результатов спортивных турниров, за исключением диагональных элементов (обычно в турнирных таблицах диагональные элементы заштрихованы). В качестве примера в табл. 3 приведены результаты измерения пяти объектов с использованием представления (2), соответствующие табл. 2.

Таблица 2

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$a_1$	1	1	1	1	0
$a_2$	0	1	1	1	0
$a_3$	0	0	1	1	0
$a_4$	0	0	1	1	0
$a_5$	1	1	1	1	1

Таблица 3

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$a_1$	1	2	2	2	0
$a_2$	0	1	2	2	0
$a_3$	0	0	1	1	0
$a_4$	0	0	1	1	0
$a_5$	2	2	2	2	1

Вместо представления (2) часто используют эквивалентное ему представление, которое получается из (2) заменой 2 на +1, 1 на 0 и 0 на -1.

$$x_{ij} = \begin{cases} +1, \text{ ерли } a_i \succ a_j, \\ 0, \text{ ерли } a_i \approx a_j, \\ -1, \text{ ерли } a_i \succ a_j, i, j = \overline{1, N}. \end{cases} \quad (3)$$

Если пары объектов сравнивают отдельно по различным показателям или сравнение проводит группа экспертов, то по каждому показателю или эксперту составляется своя таблица результатов парных сравнений.

Сравнение во всех возможных парах не дает полного упорядочения объектов, поэтому возникает задача ранжирования объектов по результатам их парного сравнения.

Однако, как показывает опыт, эксперт далеко не всегда последователен в своих предпочтениях. В результате использования метода парных сравнений он может указать, что объект  $a_1$  предпочтительнее объекта  $a_2$ ,  $a_2$  предпочтительнее объекта  $a_3$  и в то же время  $a_3$  предпочтительнее объекта  $a_1$ . В случае разбиения объекта на классы эксперт может к одному классу отнести пары  $a_1$  и  $a_2$ ,  $a_2$  и  $a_3$ , но в то же время объекты  $a_1$  и  $a_3$  отнести к различным классам. Такая непоследовательность эксперта может объясняться различными причинами: сложностью задачи, неочевидностью предпочтительности объектов или разбиения их на классы (в противном случае, когда все очевидно, проведение экспертизы не имеет смысла), неудовлетворительной компетентностью эксперта, недостаточно четкой постановкой задачи, многокритериальностью рассматриваемых объектов и т.д.

Непоследовательность эксперта приводит к тому, что в результате парных сравнений при определении сравнительной предпочтительности объектов не удастся получить ранжирование и даже отношения частичного порядка – не выполнено свойство транзитивности.

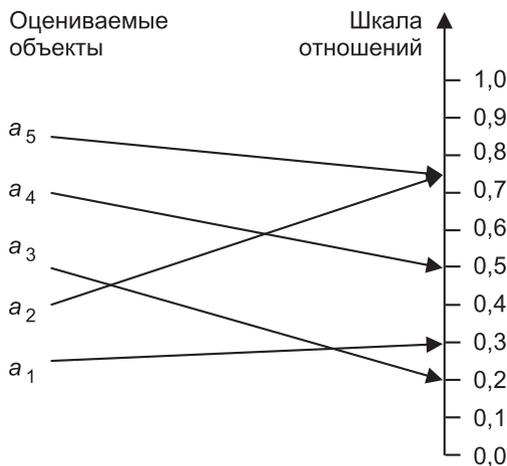
Если целью экспертизы при определении сравнительной предпочтительности объектов является получение ранжирования или частичного упорядочения, необходима их дополнительная идентификация. В этих случаях имеет смысл в качестве результирующего отношения выбирать отношение заданного типа, ближайшее к полученному в эксперименте.

**Множественные сравнения.** Они отличаются от парных тем, что экспертам последовательно предъявляются не пары, а тройки, четверки, ... ,  $n$ -ки ( $n < N$ ) объектов. Эксперт их упорядочивает по важности или разбивает на классы в зависимости от целей экспертизы. Множественные сравнения занимают промежуточное положение между парными сравнениями и ранжированием. С одной стороны, в результате одновременного соотнесения объекта не с одним, а с большим числом объектов они позволяют использовать больший, чем при парных сравнениях, объем информации для определения экспертного суждения. С другой стороны, при ранжировании объектов их может оказаться слишком много, что затрудняет работу эксперта и негативно отража-

ется на качестве результатов экспертизы. В этом случае множественные сравнения позволяют уменьшить до разумных пределов объем поступающей к эксперту информации.

**Непосредственная оценка.** Метод заключается в присваивании объектам числовых значений в шкале интервалов. Эксперт должен поставить в соответствие каждому объекту точку на определенном отрезке числовой оси. При этом необходимо, чтобы эквивалентным объектам приписывались одинаковые числа. На рисунке в качестве примера приведено такое представление для пяти объектов на отрезке числовой оси  $[0,1]$ .

Поскольку за начало отсчета выбрана нулевая точка, в данном примере измерение проводится в шкале отношений. Эксперт соединяет каждый объект линией с точкой числовой оси и получает следующие числовые представления объектов (см. рисунок):



$$\varphi(a_1) = 0,28; \varphi(a_2) = \varphi(a_5) = 0,75;$$

$$\varphi(a_3) = 0,2; \varphi(a_4) = 0,5.$$

Измерения в шкале интервалов могут быть достаточно точными при полной информированности экспертов о свойствах объектов. Такие условия на практике встречаются редко, поэтому для измерения применяют балльную оценку. При этом вместо непрерывного отрезка числовой оси рассматривают участки, которым приписывают баллы.

Эксперт, приписывая объекту балл, тем самым измеряет его с точностью до определенного отрезка числовой оси. Применяются 5-, 10- и 100-балльные шкалы.

Последовательное сравнение (*метод Черчмена–Акоффа*). Этот метод относится к числу наиболее популярных при оценке альтернатив. В нем предполагается последовательная корректировка оценок, указанных экспертами. Основные предположения, на которых основан метод, состоят в следующем:

- каждой альтернативе  $a_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) ставится в соответствие действительное неотрицательное число  $\varphi(a_i)$ ;
- если альтернатива  $a_i$  предпочтительнее альтернативы  $a_j$ , то  $\varphi(a_i) > \varphi(a_j)$ , если же альтернативы  $a_i$  и  $a_j$  равноценны, то  $\varphi(a_i) = \varphi(a_j)$ ;
- если  $\varphi(a_i)$  и  $\varphi(a_j)$  – оценки альтернатив  $a_i$  и  $a_j$ , то  $\varphi(a_i) + \varphi(a_j)$  соответствует совместному осуществлению альтернатив  $a_i$  и  $a_j$ . Наиболее сильным является последнее предположение об аддитивности оценок альтернатив.

Согласно методу Черчмена – Акоффа альтернативы  $a_1, a_2, \dots, a_N$  ранжируются по предпочтительности. Пусть для удобства изложения альтернатива  $a_1$  наиболее предпочтительна, за ней следует  $a_2$  и т.д. Эксперт указывает предварительные численные оценки  $\varphi(a_i)$  для каждой из альтернатив. Иногда наиболее предпочтительной альтернативе приписывается оценка 1, остальные оценки располагаются между 0 и 1 в соответствии с их предпочтительностями. Затем эксперт сравнивает альтернативу  $a_1$  и суммы альтернатив  $a_2, \dots, a_N$ . Если  $a_1$  предпочтительнее, то эксперт корректирует оценки так, чтобы

$$\varphi(a_1) > \sum_{i=2}^N \varphi(a_i).$$

В противном случае должно выполняться неравенство

$$\varphi(a_1) \leq \sum_{i=2}^N \varphi(a_i).$$

Если альтернатива  $a_k$  оказывается менее предпочтительной, то для уточнения оценок она сравнивается по предпочтению с суммой альтернатив  $a_2, a_3, \dots, a_{N-1}$  и т.д. После того как альтернатива  $a_1$  оказывается предпочтительней суммы альтернатив  $a_2, \dots, a_k$  ( $k \geq 2$ ), она исключается из рассмотрения, а вместо оценки

альтернативы  $a_1$  рассматривается и корректируется оценка альтернативы  $a_2$ . Процесс продолжается до тех пор, пока не откорректированы оценки всех альтернатив.

При достаточно большом  $N$  применение метода Черчмена – Акоффа становится слишком трудоемким. В этом случае целесообразно разбить альтернативы на группы, а одну из альтернатив, например максимальную, включить во все группы. Это позволяет получить численные оценки всех альтернатив с помощью оценивания внутри каждой группы.

Метод Черчмена – Акоффа является одним из самых эффективных. Его можно успешно использовать при измерениях в шкале отношений. В этом случае определяется наиболее предпочтительная альтернатива  $a_{i1}$ . Ей присваивается максимальная оценка. Для всех остальных альтернатив эксперт указывает, во сколько раз они менее предпочтительны, чем  $a_{i1}$ . Для корректировки численных оценок альтернатив можно использовать как стандартную процедуру метода Черчмена – Акоффа, так и парное сравнение предпочтительности альтернатив. Если численные оценки альтернатив не совпадают с представлением эксперта об их предпочтительности, проводится корректировка.

*Метод Неймана–Моргенштерна.* Этот метод заключается в получении численных оценок альтернатив с помощью так называемых вероятностных смесей. В основе метода лежит предположение, согласно которому эксперт для любой альтернативы  $a_j$ , менее предпочтительной, чем  $a_i$ , но более предпочтительной, чем  $a_l$ , может указать число  $a_p$  ( $0 \leq p \leq 1$ ), такое, что альтернатива  $a_j$  эквивалентна смешанной альтернативе (вероятностной смеси)  $[pa_i, (1-p)a_l]$ . Смешанная альтернатива состоит в том, что альтернатива  $a_i$  выбирается с вероятностью  $p$ , а альтернатива  $a_l$  – с вероятностью  $1-p$ . Очевидно, что если  $p$  достаточно близко к 1, то альтернатива  $a_j$  менее предпочтительна, чем смешанная альтернатива  $[pa_i, (1-p)a_l]$ .

В литературе помимо уже упомянутого предположения рассматривается система предположений (аксиом) о свойствах смешанных и несмешанных альтернатив. К числу таких предположений относятся аксиома о связности и транзитивности отношения предпочтительности альтернатив, аксиома о том, что смешанная альтернатива  $[pa_i, (1-p)a_l]$  предпочтительнее, чем  $[p'a_p, (1-p')a_l]$ , если  $p > p'$ , и др.

Если указанная система предпочтений выполнена, то для каждой из набора основных альтернатив  $a_1, a_2, \dots, a_N$  определяются числа  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , характеризующие численную оценку смешанных альтернатив.

Численная оценка смешанной альтернативы  $[p_1 a_1, p_2 a_2, \dots, p_N a_N]$  равна  $x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_N p_N$ .

Смешанная альтернатива  $[p_1 a_1, p_2 a_2, \dots, p_N a_N]$  предпочтительнее смешанной альтернатива  $[p'_1 a_1, p'_2 a_2, \dots, p'_N a_N]$ , если

$$x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_N p_N > x_1 p'_1 + x_2 p'_2 + \dots + x_N p'_N.$$

Таким образом, устанавливается существование функции полезности

$$x_1 p_1 + \dots + x_N p_N,$$

значение которой характеризует степень предпочтительности любой смешанной альтернативы, в частности и не смешанной. Более предпочтительна та смешанная альтернатива, для которой значение функции полезности больше.

Рассмотренные методы экспертных оценок обладают различными качествами, но приводят в общем случае к близким результатам. Практика применения этих методов показала, что наиболее эффективно комплексное применение различных методов для решения одной и той же задачи. Сравнительный анализ результатов повышает обоснованность формулируемых выводов. При этом следует учитывать, что методом, требующим минимальных затрат, является ранжирование, а наиболее трудоемким – метод последовательного сравнения (Черчмена – Акоффа). Метод парного сравнения без дополнительной обработки не дает полного упорядочения объектов.

**Метод согласования оценок.** Этот метод обычно применяется при обработке индивидуальных экспертных оценок. Он имеет много вариантов, различающихся способами, при помощи которых из индивидуальных оценок получается обобщенная. При этом используются также различные методы согласования оценок:

1) простейшие, основанные на получении средней вероятности

$$p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i,$$

где  $n$  – число участвующих экспертов,

или средневзвешенного значения вероятности

$$p_w = (\sum_{i=1}^n k_i p_i) / (\sum_{i=1}^n k_i),$$

где  $k_i$  – веса, приписываемые оценке каждого эксперта;

2) специальные методы оценки измерения и повышения коэффициентов согласованности (или коэффициентов непротиворечивости) мнений экспертов;

3) методы, основанные на отборе экспертной группы с высоким коэффициентом согласованности мнений (например, предложенный В.В. Черняевым в [7] метод, основанный на преобразовании первых трех рангов дискретной шкалы в непрерывную и нормировании этой новой шкалы, отражающей мнения отобранных экспертов).

Наиболее часто при обработке материалов коллективной экспертной оценки используются методы теории ранговой корреляции. Для количественной оценки степени согласованности мнений экспертов применяется коэффициент конкордации  $W$ , который позволяет оценить, насколько согласованы между собой ряды предпочтительности, построенные каждым экспертом. Значение коэффициента находится в пределах  $0 \leq W \leq 1$ ,  $W = 0$ , это означает полную противоположность, а  $W = 1$  – полное совпадение ранжировок. Практически достоверность считается хорошей, если  $W = 0,7 \dots 0,8$ .

Небольшое значение коэффициента конкордации, свидетельствующее о слабой согласованности мнений экспертов, является следствием следующих причин: в рассматриваемой совокупности экспертов действительно отсутствует общность мнений; внутри рассматриваемой совокупности экспертов существуют группы с высокой согласованностью мнений, однако обобщенные мнения таких групп противоположны.

Для наглядности представления о степени согласованности мнений двух любых экспертов  $A$  и  $B$  служит коэффициент парной ранговой корреляции  $\rho$ , он принимает значения  $-1 \leq \rho \leq +1$ . Значение  $\rho = +1$  соответствует полному совпадению оценок в рангах двух экспертов (полная согласованность мнений двух экспертов), а  $\rho = (-1)$  – двум взаимно противоположным ранжировкам важности свойств (мнение одного эксперта противоположно мнению другого).

В качестве одного из методов повышения согласованности экспертных оценок применяют *метод «дельфийского оракула»*, или *«Дельфи»-метод* (см.).

Тип используемых процедур экспертизы зависит от задачи оценивания.

При проведении социологических измерений [8, 9], которые можно рассматривать как разновидность экспертных оценок (особенно в случае организации выборочного социологического исследования), используют обычно качественные шкалы разного рода, которым ставятся в соответствие количественные оценки степени значимости.

Например («очень важно», «важно», «скорее важно, чем нет» и т.д.), оценивается введенный в вопросе качественный признак (в форме «полностью согласен», «согласен», «не согласен», «категорически не согласен», или «да», «скорее да, чем нет», «скорее нет, чем да», «нет» и т.д.).

При этом могут применяться соответствующие методы обработки результатов.

Например, при использовании шкалы Лайкерта [11], в которой задаваемые группе лиц вопросы должны оцениваться по пятибалльной шкале (5 – «полностью согласен», 4 – «согласен», 3 – «нейтрален», 2 – «не согласен», 1 – «полностью не согласен»), при их обработке рекомендуется применять метод суммарных оценок. Шкалограммный анализ Гуттмана сводится к построению шкал порядкового уровня измерения, представляющих собой одноместные шкалы, формируемые на основе первоначально используемой иерархизированной шкалы путем исключения вопросов или факторов, посторонних по отношению к измеряемой характеристике. В случае использования метода «семантического» дифференциала, разработанного Ч. Осгудом [12] для измерения смысла понятий и слов и дифференциации эмоциональной стороны значения оцениваемого понятия, в качестве промежуточных методов обработки применяются графические, помогающие определить профиль распределения установок.

Выбор подходов и методов зависит от конкретных задач и условий проведения экспертизы. Однако существуют некоторые общие проблемы, которые необходимо понимать при проведении любых экспертных опросов. Кратко охарактеризуем их.

Возможность использования экспертных оценок, обоснование их объективности обычно базируются на том, что неизвестная характеристика исследуемого явления трактуется как случайная величина, отражением закона распределения которой является индивидуальная оценка специалиста-эксперта о достоверности и значимости того или иного события. При этом пред-

полагается, что истинное значение исследуемой характеристики находится внутри диапазона экспертных оценок  $p_i \in P$  (где  $P = \langle p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n \rangle$  есть репрезентативная выборка), получаемых от группы экспертов, и что обобщенное коллективное мнение является достоверным.

Однако в некоторых теоретических исследованиях это предположение подвергается сомнению. Например, в [2] предлагается разделить проблемы, для решения которых применяются экспертные оценки, на два класса.

К первому классу относятся проблемы, которые достаточно хорошо обеспечены информацией и для которых можно использовать принцип «хорошего измерителя», считая эксперта хранителем большого объема информации, а групповое мнение экспертов – близким к истинному.

Ко второму классу относятся проблемы, в отношении которых знания для уверенности в справедливости названных предположений недостаточны. Экспертов нельзя рассматривать как «хороших измерителей», и необходимо осторожно подходить к обработке результатов экспертного опроса, поскольку в этом случае мнение одного (единичного) эксперта, уделяющего больше внимания, чем другие, исследованию малоизученной проблемы, может оказаться наиболее значимым, а при формальной обработке оно будет утрачено. В связи с этим к задачам второго класса в основном следует применять качественную обработку результатов. Использование методов усреднения (справедливых для «хороших измерителей») в данном случае может привести к существенным ошибкам.

Задачи коллективного принятия решений по формированию целей, совершенствованию методов и форм управления обычно можно отнести к первому классу. При этом для повышения объективности результатов целесообразно при обработке оценок выявлять противоречивые и «редкие» мнения и подвергать их более тщательному анализу.

Другая особенность, которую нужно иметь в виду при использовании экспертных оценок, заключается в следующем.

Экспертные оценки несут в себе как узкосубъективные черты, присущие каждому эксперту, так и коллективно субъективные, присущие коллегии экспертов. И если первые устраняются в процессе обработки индивидуальных экспертных оценок, то вторые не исчезают, какие бы способы обработки ни применялись, а при

использовании «Дельфи»-процедуры и методов повышения согласованности мнений экспертов даже могут усиливаться.

Один из способов устранения недостатков, связанных с рассматриваемой особенностью, – при проведении экспертных опросов для принятия решений в организационных системах обращать особое внимание на формирование экспертной группы и на методы обработки результатов опроса, особо выделяя и учитывая редкие и противоречивые мнения.

При этом на получаемые усредненные оценки следует смотреть, как на некоторую «общественную точку зрения», зависящую от уровня научно-технических знаний общества относительно предмета исследования или принятия решения, которая может меняться по мере развития системы и наших представлений о ней. Такой способ получения информации о сложной проблеме, характеризующейся большой степенью неопределенности, должен стать своего рода «механизмом» в сложной системе, т.е. необходимо создавать регулярную систему работы с экспертами.

Еще одна особенность заключается в том, что эксперт-лидер при организации экспертного опроса в форме «Дельфи»-процедуры с устным обсуждением результатов оценки между турами опроса может постепенно «увести» группу экспертов в желаемом направлении.

На эту особенность обратил внимание А.М. Гендин, назвав ее «эффeктом Эдипа».

Следует обратить также внимание на то, что использование классического частотного подхода к оценке вероятности при проведении экспертных опросов бывает затруднено, а иногда и невозможно (из-за невозможности доказать представительность выборки). Поэтому в настоящее время ведутся исследования характера вероятности экспертной оценки, базирующиеся на теории размытых множеств Заде, на представлении об экспертной оценке как степени подтверждения гипотезы или как вероятности достижения цели [3]. Последнее направление развивается на основе *информационного подхода к анализу систем* (см.).

Рассмотренные особенности экспертных оценок приводят к необходимости разработки *методов организации сложных экспертиз* (см.), которые помогают получать более объективные и достоверные оценки, расчлняя большую неопределенность на части, вводя критерии оценки и применяя различные формы опроса.

- 1. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин: под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002.
  - 2. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980.
  - 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С.130–145.
  - 4. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1982.
  - 5. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений: учеб. пособие / И.М. Макаров. – М.: Наука, 1982.
  - 6. Математический энциклопедический словарь / Гл. ред. Ю.В. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1995.
  - 7. Применение системного анализа на разных уровнях управления в высшей школе: обзорная информация / под ред. В.Н. Волковой. – М.: НИИВШ, 1977.
  - 8. Рабочая книга по прогнозированию / под ред. И.В. Бестужева-Лады. – М.: Мысль, 1982.
  - 9. Рабочая книга социолога / под ред. Г.В. Осипова. – М.: Наука, 1977.
  - 10. Теория прогнозирования и принятия решений / под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высш. школа, 1977.
  - 11. Likert R. A Technique for the Measurement of Attitudes // «Arch.Psychol.», 1932, vol. 11, № 140.
  - 12. Osgood Ch. The Measurement of Meaning / Ch. Osgood. G. Susi, P. Tannenbaum. – Urbana: 1957.
- В.Н. Волкова, А.А. Емельянов*

**ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ** – направление *искусственного интеллекта* (см.), выделившееся в самостоятельное в конце 60 – начале 70-х гг. XX в.

Термин «экспертная система» был введен Э. Фейгенбаумом в 1977 г. в заказанном ему пленарном докладе на Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту (ИИ) [12]. Эту дату и принимают обычно за начало выделения направления экспертных систем (ЭС) в самостоятельное. В то же время первой экспертной системой считают [1–6] систему DENDRAL [13], которая проявилась в 1969 г., а разработка ее была начата в 1965 г.

Строго говоря, Фейгенбаум ввел понятие «knowledge engineering» – «инженерия знаний», которое первоначально было признано неудобным для русского языка, но в настоящее время считается более предпочтительным при исследовании *интеллектуальных систем* (см.). Некоторые исследователи продолжают рассматривать эти два направления самостоятельными, но пересекающимися. Другие [1] считают более общим термин «экспертная система», который удобнее для практических приложений.

Экспертной системой (ЭС) принято считать программный комплекс или устройство, которые при решении задач, трудоемких для эксперта-человека, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым экспертом [4].

Иногда о ЭС говорят скромнее – как о «человеко-машинных системах, компетентных (умеющих решать некоторые задачи) в некоторой узкоспециальной области» [3], или как о «вычислительной системе, в которую включены знания специалистов о некоторой предметной области и которая в пределах этой области способна принимать экспертные решения» [5].

Если трактовать ЭС как вычислительную процедуру, помогающую человеку, то задачи создания ЭС не отличаются от задач ИИ.

Для того чтобы показать отличие ЭС от предшествующих систем ИИ (СИИ), Р. Форсайт [5] предлагает рассматривать историю ИИ.

Этап зарождения ЭС – переход от парадигмы поиска все более эффективных и универсальных эвристик к парадигме разработки способов представления неформализованных знаний специалиста-эксперта, приемов и неформальных правил, которыми он пользуется при принятии решений.

На основе этой парадигмы возникли диагностические и консультативные системы DENDRAL, MYCIN, PUFF.

Далее по мере развития ЭС возникали системы двух типов: 1-й – ЭС, базирующийся на представлении знаний, и 2-й – машинные обучающие системы, которые автоматически улучшают и расширяют свой запас знаний.

В качестве примера ЭС 2-го типа в [5] приводится обучающая система EURISKO, которая выигрывала 3 года подряд в учебной игре, несмотря на то, что правила игры менялись.

Таким образом, возникновение ЭС явилось ступенью развития ИИ, причем особо важной с позиции создания прикладных разработок.

Существовала также точка зрения, что ЭС – результат развития *систем обработки данных* (см.) – СОД на ЭВМ и являются фактически *информационными системами* (см.) – ИС.

Поэтому рассмотрим отличия ЭС от СОД и ИС.

ЭС отличаются от традиционных СОД и ИС определенной совокупностью свойств, наиболее важными из которых являются: символическое представление данных, символический логический вывод и эвристический поиск [1–3], а не готовый его алгоритм.

В отношении символического представления информации и логического вывода к ЭС приближаются информационно-логические системы. Однако в отличие от любых ИС важной дополни-

тельной характеристикой ЭС является «способность системы по требованию объяснять свою линию рассуждений в виде, непосредственно понятном тому, кто задал вопрос» [5].

Отличия ЭС от широкого класса других СИИ состоят в том, что экспертные системы:

- должны выполнять сложные задания на уровне хорошего специалиста; при этом ЭС следует применять для решения только трудных задач, не решаемых другими методами;
- предпочтительно использовать проблемно-ориентированные стратегии решения задач;
- способны пополнять свои знания в ходе диалога с экспертом;
- используют данные о себе для того, чтобы сделать заключение о процессах вывода и затем дать объяснение или привести оправдания полученным решениям; в [1] это требование названо свойством «прозрачности», способностью объяснять свои решения на качественно новом уровне (в отличие от решений, получаемых с помощью числовых алгоритмов).

И все же в качестве главного отличия ЭС от СИИ и ИС еще в первом докладе Э. Фейгенбаум [12] отмечает объем знаний, которыми она располагает, а не используемый инструментарий.

К рассмотренным особенностям Г.С. Поспелов [2] добавляет необходимость повышения квалификации экспертов-пользователей за счет аккумуляции знаний в ЭС, т.е. ориентацию ЭС на превращение ее в «коллективного эксперта», накапливающего опыт наиболее квалифицированных специалистов, который могут использовать не только эксперты, но и любые пользователи.

Разработанные к настоящему времени ЭС обычно решают задачи, относящиеся к следующим классам: интерпретация символов, сигналов и т.д. (т.е. составление смыслового описания по входным данным), предсказание определенных нарушений (например, заболеваний по симптомам), диагностика, конструирование конфигураций объектов по заданным ограничениям, планирование действий, мониторинг, инструктирование, ремонт, отладка (нахождение и исправление неисправностей), переналадка оборудования и т.п. (см., например, [1, 3]).

Основные области приложения разработанных к настоящему времени ЭС: медицина, вычислительная техника, генетика, акустика, спектральный анализ, геология, юриспруденция.

С классификациями, обзорами и примерами конкретных ЭС можно познакомиться в [1, 2, 5, 6, 8, 9].

- 1. Попов Э.В. Экспертные системы / Э.В. Попов. – М.: Наука, 1987.
  - 2. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г.С. Поспелов. – М.: Наука, 1988.
  - 3. Построение экспертных систем / под ред. Ф. Хейес-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената. – М.: Мир, 1987.
  - 4. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотерман. – М.: Мир, 1989.
  - 5. Экспертные системы: принципы работы и примеры / под ред. Р. Форсайта. – М.: Радио и связь, 1987.
  - 6. Элти Дж. Экспертные системы: концепции и примеры / Дж. Элти, М. Кумбс. – М.: Финансы и статистика, 1987.
  - 7. Болотова Л.С. Экспертные системы ситуационного управления / Л.С. Болотова // Приборы и системы управления. – 1988. – № 1.
  - 8. Болотова Л.С. Экспертные системы в новых информационных технологиях / Л.С. Болотова, В.Н. Волкова // В сб.: Новые информационные технологии в системотехнике. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 3–29.
  - 9. Майклсен Р.Х. Экспертные системы / Р.Х. Майклсен, Д. Мичи, А. Буланже // Реальность и прогнозы искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1987.
  - 10. Томпсон Б. Анатомия экспертной системы / Б. Томпсон, У. Томпсон // Реальность и прогнозы искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1987.
  - 11. Хорошевский Б.Ф. Инструментальные экспертные системы / Б.Ф. Хорошевский // Представление знаний в экспериментальных и робототехнических системах – М.: ВИНТИ, 1984.
  - 12. Feigenbaum E. The Art of Artificial Intelligence: Themes and Case Studies of Knowledge Engineering / E. Feigenbaum. // Proceedings of IJCAI-77.
  - 13. Feigenbaum E. Dendral and MetaDendral / E. Feigenbaum, B. Buchanan. // Artificial Intelligence. Vol. 11. № 1–2.
- Л.С. Болотова, В.Н. Волкова*

**ЭЛЕМЕНТ** – простейшая, неделимая часть системы. Однако ответ на вопрос, что является такой частью, может быть неоднозначным. Например, в качестве элементов стола можно назвать ножки, ящики, крышку и т.д., а можно – молекулы, атомы в зависимости от того, какая задача стоит перед исследователем.

Аналогично в системе управления предприятием элементами можно считать подразделения аппарата управления, а можно – каждого сотрудника или каждую операцию, которую он выполняет. С непониманием этой проблемы была связана типичная ошибка при обследовании существующей системы в первый период разработки автоматизированных систем управления (АСУ): инженеры в соответствии со своим подходом обеспечения полноты подвергали анализу все документы, вплоть до реквизитов, что затягивало работу, в то время как для разработки технического задания на создание АСУ такой детализации не требовалось.

Поэтому принято следующее определение: элемент – это предел членения системы с точки зрения аспекта ее рассмотрения, решения конкретной задачи, поставленной цели.

Для помощи в выделении элементов при анализе конкретных проблемных ситуаций можно использовать *информационный подход* (см.), в частности меру информации восприятия  $J = A/\Delta A$ , где  $\Delta A$  – минимальное количество материального свойства  $A$  (квант), с точностью до которого исследователя интересует информация об этом свойстве при формировании модели.

Систему можно расчленять на элементы различными способами в зависимости от формулировки задачи, цели и ее уточнения в процессе проведения системного исследования. При необходимости можно изменять принцип расчленения, выделять другие элементы и получать с помощью нового расчленения более адекватное представление об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

- 1. Волкова В.Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 29. 2. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – С. 32. 3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – С.130–145. В.Н. Волкова

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ** – это в общем случае совокупность свойств, характеризующих качество функционирования системы, оцениваемое как соответствие требуемого и достигаемого результата.

Они могут различаться. Это зависит от условий функционирования системы и способов достижения результатов. Поэтому при оценке систем принято различать качество систем и эффективность реализуемых системами процессов. При этом эффективность относят не к самой системе, а к выполняемым ею функциям.

Соотношение понятий *качество* и *эффективность* представлено в таблице.

Для оценки эффективности системы разрабатывают совокупности ее критериев. В зависимости от типа системы и внешних воздействий предлагают количественные (детерминированные, вероятностные) и качественные критерии; вводят понятия технической, экономической, социально-экономической эффективности.

Критерии достаточно многообразны, разрабатывались для конкретных систем и проблемных ситуаций. В то же время суще-

Характеристика	Качество	Проявление эффективности
Определение понятия	Свойство или совокупность существенных свойств системы, обуславливающих ее пригодность (соответствие) для использования по назначению	Комплексное операционное свойство (качество) процесса функционирования системы, характеризующее его приспособленность к достижению цели операции (выполнению задачи системы)
Область применения	Объекты любой природы, в том числе элементы систем	Только целенаправленные операции, проводимые системой
Основная характеристика	Совокупность атрибутивных свойств системы, существенных для ее использования по назначению	Степень соответствия результатов операции ее цели
Фактор структурного анализа	Строение системы (состав и свойства составных частей, структура, организация)	Алгоритм функционирования, качество системы, реализующей алгоритм воздействия внешней среды
Размерность	Показатель качества – вектор показателей существенных свойств	Показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности по исходу операции и по качеству «алгоритма», обеспечивающего получение результатов
Способ оценивания	Критерии пригодности, оптимальности, превосходства	Критерии пригодности или оптимальности, определяемые в зависимости от типа проводимой операции (детерминированная, вероятностная или неопределенная)

ствуется ряд общих принципиальных положений, которыми целесообразно руководствоваться при формировании системы критериев эффективности решений. Поэтому разрабатывается теория эффективности систем.

Теория эффективности сложных систем формируется как раздел *системного анализа* (см.), связанный с определением качества систем и процессов, их реализующих, предметом изучения которого являются вопросы количественной оценки качества характеристик и эффективности функционирования сложных систем.

В общем случае оценка сложных систем может проводиться для разных целей: во-первых, для оптимизации (выбор наилучшего алгоритма из нескольких, реализующих один закон функционирования системы); во-вторых, для идентификации (определение системы, качество которой в наибольшей степени соответствует реальному объекту в заданных условиях); в-третьих, для принятия решений по управлению системой.

Перечень частных целей и задач, требующих оценки систем, можно продолжить. Общим во всех подобных задачах является подход, основанный на том, что понятия «оценка» и «оценивание» рассматриваются раздельно и оценивание проводится в несколько этапов.

Под «оценкой» понимают результат, получаемый в ходе процесса, который определен как «оценивание». Принято считать, что с терминном «оценка» сопоставляется понятие «истинность», а «оценивание» есть «правильность». Другими словами, истинная оценка может быть получена только при правильном процессе оценивания. Это положение определяет место теории эффективности в задачах системного анализа.

Основные этапы оценивания эффективности сложных систем можно наметить следующим образом.

**Э т а п 1.** Определение цели оценивания.

Можно выделить два типа целей: качественная, достижение которой выражается в номинальной шкале или в шкале порядка; количественная – то же в количественных шкалах. Определение цели должно осуществляться с позиции системы, в которой рассматриваемая система является элементом (подсистемой), т.е. с позиций надсистемы.

**Э т а п 2.** Измерение свойств систем, признанных существенными для целей оценивания. Для этого выбираются соответствующие *шкалы измерений* (см.) свойств и всем исследуемым свойствам систем присваивается определенное значение на этих шкалах.

**Э т а п 3.** Обоснование предпочтений – критериев качества и критериев эффективности функционирования систем на основе измеренных на выбранных шкалах свойств (см. *Критерии оценки систем*).

**Э т а п 4.** Собственно оценивание.

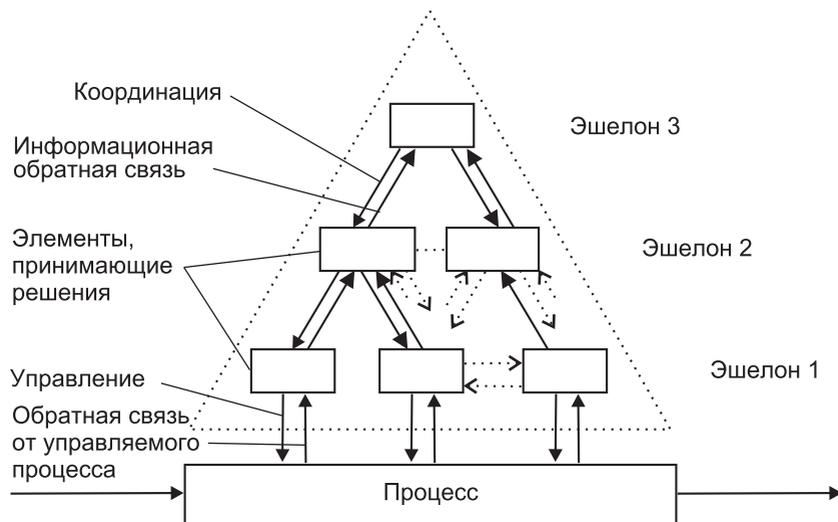
Все исследуемые системы, рассматриваемые как альтернативы, сравниваются по сформулированным критериям и в зависимости от целей оценивания ранжируются, выбираются, оптимизируются и т.д.

- 1. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин / Под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. 2. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций / Ю.И. Дегтярев. – М.: Высшая школа, 1996. 3. Кукушкин А.А. Теоретические основы автоматизированного управления. Ч. 1. Основы анализа и оценки сложных систем / А.А. Кукушкин. – Орел: Изд-во ВИПС, 1998. 4. Лагоша Б.А. Основы системного анализа / Б.А. Лагоша, А.А. Емельянов. – М.: Изд-во МЭСИ, 1998. 5. Ланнэ А.А. Многокритериальная оптимизация / А.А. Ланнэ, Д.А. Улахович. – М.: Военная академия связи, 1984. 6. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. I. Методология, методы, модели / Г.Б. Петухов. – М.: 1989.

А.А. Емельянов

«ЭШЕЛОН» – понятие, введенное в теории *многоуровневых иерархических систем* (см.) М. Месаровича.

В этой теории понятие *многоэшелонной* иерархической структуры вводится следующим образом [1]: система представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем; при этом некоторые (или все) подсистемы имеют право принятия решений, а иерархическое расположение подсистем (многоэшелонная структура) определяется тем, что некоторые из них находятся под влиянием или управляются вышестоящими. Структурные представления такого типа условно иллюстрируются рисунком. Уровень такой иерархии называют *эшелоном*.



Основной отличительной особенностью многоэшелонной структуры является предоставление подсистемам всех уровней определенной свободы в выборе их собственных решений, причем эти решения могут быть (но не обязательно) не теми решениями, которые бы выбрал вышестоящий уровень. М. Месарович показывает, что предоставление свободы действий в принятии решений компонентам всех эшелонов иерархической структуры повышает эффективность ее функционирования.

Подсистемам предоставляется определенная свобода и в выборе целей. Поэтому многоэшелонные структуры называют также *многоцелевыми*.

В таких системах могут быть использованы разные способы принятия решений. Естественно, что при предоставлении прав самостоятельности в принятии решений подсистемы могут формировать взаимно противоречащие («конфликтные») цели и решения, что затрудняет управление, но является в то же время одним из условий повышения эффективности функционирования системы. Разрешение конфликтов достигается вмешательством вышестоящего эшелона. Управляющие воздействия для разрешения этих противоречий со стороны вышестоящих уровней иерархии могут быть разной силы.

Для того чтобы обратить внимание на это, М. Месарович [1] разделяет понятия собственно «управления» и «координации». При этом последняя может иметь разную силу воздействия («вмешательства») и осуществляется в разной форме. В связи с этим теорию многоуровневых систем М. Месаровича иногда называют *теорией координации*. В ней рекомендуется, чтобы в процессе принятия решений подсистемы не всегда стремились отстаивать свои интересы, доводя дело до конфликтных ситуаций, а вступали бы в коалиции.

В зависимости от принятых принципов («конфликты» или «коалиции»), силы и форм вмешательства вышестоящих эшелонов в дела нижележащих процесс принятия решения может происходить по-разному, т.е. по-разному может быть организована система управления принятием решений. Поэтому многоэшелонные, многоцелевые иерархические структуры называют в [1] также организационной иерархией.

Отношения, подобные принятым в эшелонированных структурах, реализуются в практике управления в форме так называемых холдинговых структур, или *холдингов*. Правила взаимоотношений между фирмами, банками, торговыми домами и другими организациями, входящими в холдинг, оговариваются в соответствующих договорах и других нормативно-правовых и нормативно-методических документах.

- 1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага. – М.: Мир, 1973. *В.Н. Волкова*

## СПИСОК УЧЕНЫХ, ВНЕСШИХ НАИБОЛЬШИЙ ВКЛАД В РАЗВИТИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

---

Фамилия, имя, отчество	Годы	Вклад
Акофф Рассел (Russel L. Ackoff)	60-е гг. XX в.	В области <i>исследования операций*</i> развивал методы математического моделирования, в области <i>теории систем</i> – теорию целеустремленных систем
Афанасьев Виктор Григорьевич	60–70-е гг. XX в.	Разрешил противоречия в дискуссии о материальности и нематериальности <i>системы</i> ; опубликовал первый перечень <i>закономерностей систем</i> ; исследовал <i>закономерность целостности</i> и, в частности, причины возникновения целостности
Берталанфи Людвиг фон (Ludvig von Bertalanffy)	30-е гг. XX в.	Основоположник <i>теории систем</i> . Дал первое объяснение закономерностей <i>целостности, иерархичности, эквивиальности</i> . Ввел понятие <i>открытой системы</i>
Блауберг Игорь Викторович	60–70-е гг. XX в.	Развивал философское направление <i>теории систем</i> , способствовал пропаганде зарубежных работ по теории систем
Богданов (Малиновский) Александр Александрович	1905–1924 гг.	Предложил всеобщую организационную науку – <i>Тектологию</i>

---

\* Курсивом выделены названия статей в основной части.

Болотова (Загадская) Людмила Сергеевна	70-е гг. XX в.	Разработала первую автоматизированную систему ситуационного моделирования для Одесского морского порта (см. <i>Ситуационное моделирование или ситуационное управление</i> ). Развивает теорию <i>искусственного интеллекта</i> и, в частности, методы вывода решений в пространстве состояний и методы представления знаний
Боулдинг Кеннет (Boulding Kenneth)	50-е гг. XX в.	Предложил <i>классификацию систем</i>
Валуев Станислав Александрович	С 70–80-х гг. XX в.	Развивает функционально-технологический подход в теории совершенствования <i>организационных структур</i> предприятий
Вапнэ Генрих Михайлович	70-е гг. XX в.	В теории целеобразования высказал идею о единстве цели, критерия и средства реализации <i>цели</i>
Винер Норберт (Norbert Wiener)	50-е гг. XX в.	Автор <i>кибернетики</i> как науки о единстве закономерностей «управления в животном и машине»
Волкова Виолетта Николаевна	С 70-х гг. XX в.	В области <i>теории систем</i> предложила классификацию систем по степени организованности, обобщенную <i>классификацию методов моделирования</i> систем и одно из определений системы; сформулировала: закономерность целеобразования о необходимости сведения задачи формулирования глобальной цели к задаче ее структуризации.

		В области системного анализа разработала: подход к моделированию систем, базирующийся на идее <i>постепенной формализации модели принятия решения</i> ; <i>методику структуризации целей и функций систем управления, базирующуюся на концепции деятельности</i>
Гаазе-Рапопорт Модест Георгиевич	60-е гг. XX в.	Автор одного из определений системы, в котором понятие «цель» отражено в форме системообразующего критерия или функционала. Работал в области <i>кибернетики и искусственного интеллекта</i> . Занимался автоматизацией моделирования художественных текстов (на примере сказок)
Гендин Александр Михайлович	70-е гг. XX в.	Исследовал недостатки <i>экспертных оценок</i> , ввел понятие «эффекта Эдипа»
Гёдель Курт	1924 г.	Доказал теорему, одно из следствий которой обосновывает, что в рамках любой формальной системы, сколь бы полной и непротиворечивой она ни была, всегда есть положения, истинность или ложность которых невозможно доказать средствами этой системы
Гиг Джон ван (John P. van Gigch)	1978 г.	Систематизировал прикладные работы по общей <i>теории систем</i> . Ввел понятие дуализма сложных систем (см. <i>Закономерность самоорганизации</i> )
Глушков Виктор Михайлович	70 – 80-е гг. XX в.	Идеолог разработки <i>автоматизированных систем управления и автоматизированных информационных систем</i>

Голубков Евгений Петрович	1975 г., 1977 г., 1982 г.	Автор первых работ по системному анализу и его применению в народном хозяйстве и отраслевом планировании
Граве Петр Сергеевич	70-е гг. XX в.	Исследовал совместно с Л.А. Растригиным <i>закономерности целеобразования</i> , включая патологии целеобразования
Градов Александр Павлович	80-е гг. XX в.	Занимался внедрением <i>системного анализа</i> в практику управления предприятиями и организациями; возглавлял коллектив разработчиков предприятия будущего с применением методов и моделей системного анализа, в том числе <i>методик структуризации целей, имитационного динамического моделирования</i>
Гуд Г.Х. (Goode Н.Н.)	1957 г.	Один из авторов первой работы по <i>системотехнике</i> : Goode Н.Н. and Robert E. Machol. System Engineering/ McGraw-Hill Book Company. – New York, 1957. Пер. на рус. яз. – Гуд Г.Х., Макол Р.Е. Системотехника: Введение в проектирование больших систем. – М.: Сов. радио, 1962. – 383 с.
Денисов Анатолий Алексеевич	С 1974 г.	Развивает школу <i>теории систем и системного анализа</i> в Ленинградском политехническом институте (Санкт-Петербургском политехническом университете). Автор теории информационного поля (ТИП) и ее дискретного варианта – <i>информационного подхода к анализу систем</i> , базирующихся на

		формализации законов диалектической логики
Дружинин Валентин Васильевич	80-е гг. XX в.	Автор одной из концепций системных исследований, публиковавший свои работы вначале под названием <i>системотехника</i> , а затем <i>системология</i>
Дуболазов Виктор Андреевич	70–80-е гг. XX в.	Автор одного из подходов к реализации <i>морфологического моделирования</i> . Разрабатывал многоуровневые математические модели систем организационного управления
Емельянов Александр Анатольевич	Нач. XXI в.	Развивает теорию <i>имитационного моделирования</i> и теорию оценок экономических систем
Ивахненко Алексей Григорьевич	70–80-е гг. XX в.	Развивал теорию <i>самоорганизующихся систем</i> применительно к техническим объектам
Канторович Леонид Витальевич	Конец 30-х – 60-е гг. XX в.	Лауреат Нобелевской премии (1975 г.) в области экономики. Основоположник теории <i>математического программирования</i> , широко применяющейся для моделирования экономических систем
Касти Дж. (John Casti)	80-е гг. XX в.	Предложил метод симплициального комплекса для анализа связности компонентов системы
Квейд Эрих (E.S.Guade)	60–70-е гг. XX в.	Развивал теорию <i>исследования операций</i> и на ее основе – первые методы для анализа систем

Кинг В. (Wiliam R. King)	70–80-е гг. XX в.	Развивал <i>системный анализ</i> применительно к стратегическому планированию и управлению
Клиланд Д. (David I. Cleland)	70–80-е гг. XX в.	Развивал <i>системный анализ</i> применительно к стратегическому планированию и управлению
Клыков Юрий Иванович	70–80-е гг. XX в.	Разработал семиотические основы ситуационного управления, предложенного Д.А. Поспеловым
Кобринский Натан Ефимович	70–80-е гг. XX в.	Развивал <i>кибернетику</i> и методы <i>математического программирования</i> применительно к социально-экономическим системам. Один из организаторов разработки АСУ. Принимал участие в разработке общепромышленных методических материалов по созданию АСУ
Козлов Владимир Николаевич	С 90-х гг. XX в.	Развивает математические методы <i>системного анализа</i> и принятия решений
Колосов Владимир Григорьевич	70–80-е гг. XX в.	Развивал <i>системный анализ</i> применительно к управлению предприятиями, регионами. Предложил при структуризации актуальной среды выделять дружественную, конкурентную и безразличную среду
Конторов Давид Соломонович	80-е гг. XX в.	Автор одной из концепций системных исследований, опубликовавший свои работы вначале под названием <i>системотехника</i> , а затем – <i>системология</i>

Кочнев Леонид Витальевич	70-е гг. XX в.	Автор <i>Методики структуризации целей и функций, основанной на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание</i>
Кошарский Борис Давидович	70-е гг. XX в.	Автор <i>Методики структуризации целей и функций, основанной на двойственном определении системы</i> . Интерпретировал двойственное определение системы А.И. Уёмова применительно к системам управления предприятиями и организациями, предложил понятия процедурного и факторного представлений системы
Крайзмер Леонид Павлович	70-е гг. XX в., начало XXI в.	Развивал <i>кибернетику</i> в СССР. Автор одного из первых учебников по кибернетике. Для пропаганды полезности идей кибернетики создал первую в стране общественную организацию – Секцию кибернетики при Ленинградском Доме ученых им. М. Горького
Кузин Борис Иванович	С 1960 г. по н. в.	Ученик Л.В. Канторовича. Развивает идеи <i>математического программирования</i> . Основное направление научных исследований – математические методы и модели в производственном и финансовом менеджменте
Кузин Лев Тимофеевич	70–80-е гг. XX в.	Развивал <i>кибернетику</i> , создал первую в стране кафедру кибернетики в Московском инженерно-физическом институте
Кулик Валерий Тимофеевич	70-е гг. XX в.	Предложил термин <i>системология</i> и проводил конференции и симпозиумы, способствующие развитию этого направления системных исследований

Кухтенко Александр Иванович	70-е гг. XX в.	Разработал одну из первых классификаций <i>методов</i> моделирования систем
Ланкин Виктор Ефимович	С 90-х гг. XX в.	Развивает <i>системный анализ</i> применительно к управлению экономическими системами и, в частности, теорию <i>устойчивости экономических систем</i>
Ларичев Олег Иванович	С 70-х гг. XX в.	Развивал методы <i>системного анализа</i> , в частности методы структуризации, качественные методы принятия решений, многокритериальный подход
Литвак Борис Григорьевич	С 80-х гг. XX в.	Развивает теорию <i>экспертных оценок</i> , обобщая исследования в этой области
Лопухин Михаил Михайлович	70-е гг. XX в.	Автор первой в стране монографии, в которой рассматривается методика системного анализа ПАТТЕРН
Лукьянова Людмила Михайловна	С 80-х гг. XX в.	Развивает структурно-целевой подход (см. <i>Подходы к анализу и проектированию систем</i> )
Лыпарь Юрий Иванович	С начала XXI в.	Развивает теорию <i>системно-структурного синтеза</i>
Майминас Ефрем Залманович	С 70–80-х гг. XX в.	Развивал <i>кибернетику</i> и методы <i>математического программирования</i> применительно к экономическим системам
Макаров Михаил Георгиевич	70-е гг. XX в.	Исследовал историю возникновения понятия <i>цель</i> и проблемы целеобразования
Малиновский Александр Александрович	70-е гг. XX в.	Исследовал механизмы формирования целостности систем (см. <i>Закономерность целостности</i> ). Показал, что новое качество может возникать не

<p>Макол Роберт Е. (Robert E. Machol)</p>	<p>60 – 70-е гг. XX в.</p>	<p>только при взаимном дополнении, но и при сходстве объединяемых элементов; исследовал виды сходства, в том числе на примерах ассоциации слов в тексте</p> <p>Один из авторов первой работы по <i>системотехнике</i>. В последующем организовал в 1962 – 1964 гг. подготовку задуманного Г. Гудом Справочника по системотехнике, вышедшего под его редакцией (переведен в СССР в 1970 г.)</p>
<p>Месарович Михайло Д. (Mihajlo D. Mesarovic)</p>	<p>60–70-е гг. XX в.</p>	<p>Разработал теорию <i>многоуровневых иерархических систем</i> и математическую теорию систем; ввел понятия <i>страт, словес, эшелонов</i></p>
<p>Моисеев Никита Николаевич Налимов Василий Васильевич</p>	<p>70–80-е гг. XX в. 70-е гг. XX в.</p>	<p>Развивал математические модели <i>системного анализа</i>.</p> <p>Предложил термины <i>хорошо организованная система</i> и <i>плохо организованная (диффузная) система</i>. Развивал <i>статистические методы</i> моделирования систем</p>
<p>Никаноров Спартак Петрович</p>	<p>С конца 60-х гг. XX в.</p>	<p>Инициатор первых переводов работ по <i>системному анализу</i> С. Оптнера, С. Янга, внесших существенный вклад в пропаганду идей <i>теории систем</i> и <i>системного анализа</i> в СССР. Развивает системную математику</p>
<p>Николаев Владимир Иванович</p>	<p>70–80-е гг. XX в.</p>	<p>Развивал <i>системотехнику</i>; предложил условие существования системы: мощность внутренних связей в системе должна быть больше мощности внешних; первым обратил внимание</p>

		на необходимость учитывать <i>закономерности историчности</i> при проектировании системы и предусматривать этап ее ликвидации
Ногин Владимир Дмитриевич	С конца XX в.	Развивает теорию <i>векторной (многокритериальной) оптимизации</i> , теорию парето-оптимальных решений многокритериальных задач и теорию нечетких ( <i>размытых</i> ) множеств
Одрин Вадим Минович	С 70–80-е гг. XX в.	Занимается развитием методов морфологического моделирования
Оптнер Стенли (Stenly Optner)	1969 г.	Автор первой переведенной в СССР монографии по <i>системному анализу</i>
Перегудов Феликс Иванович	70–90-е гг. XX в.	Инициатор разработки и автор <i>Методики структуризации целей и функций, основанной на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание</i> . В период работы первым заместителем министра высшего образования СССР ввел в учебные планы всех инженерных специальностей курс «Системный анализ»
Поваров Гелий Николаевич	С конца 60-х гг. XX в.	Развивал <i>теорию систем</i> . Предложил классификацию систем, в которой сложность связал с размерами системы. Более 30 лет читал в Московском инженерно-физическом институте курс истории теории систем
Поспелов Гермоген Сергеевич	С конца 60-х гг. XX в.	Развивал теорию <i>искусственного интеллекта</i> . Предложил один из методов организации сложных экспертиз – <i>метод решающих матриц</i>

Поспелов Дмитрий Александрович	С конца 60-х гг. XX в.	Предложил теорию <i>ситуационного моделирования или ситуационного управления</i> . Развивал теорию <i>искусственного интеллекта</i>
Пригожин Илья (Ilya Prigogine)	С 60-х гг. XX в.	Автор одного из направлений <i>синергетики</i> .
Растрингин Леонард Андреевич	С конца 60-х гг. XX в.	Развивал кибернетический подход к анализу систем, теорию <i>целеобразования</i> ; предложил и исследовал две <i>закономерности целеобразования</i>
Саати Томас (Thomas L. Saaty)	80-е гг. XX в.	Развивал методы <i>системного анализа</i> применительно к организации систем и планированию, в частности предложил метод иерархий
Сагатовский Валерий Николаевич	70-е гг. XX в.	Автор определения системы, учитывающего цель, среду и временной интервал и один из авторов <i>методики структуризации целей и функций, основанной на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание</i>
Садовский Вадим Николаевич	70-е гг. XX в.	Автор одной из первых в СССР концепций общей <i>теории систем</i>
Самофалов Виктор Иванович	С 80-х гг. XX в.	Развивает теорию совершенствования <i>организационных структур</i> предприятий. Автор методики, сочетающей функционально-технологический и системно-целевой подходы к проектированию оргструктур
Соколов Дмитрий Викторович	С 80-х гг. XX в.	Развивает теорию организационного проектирования хозяйственных систем

Старовойтова Марина Ивановна	80-е гг. XX в.	Автор одной из методик разработки <i>организационных структур</i> . Разработала первую <i>автоматизированную процедуру формирования анализа целей и функций систем</i>
Степанов Юрий Сергеевич	70-е гг. XX в.	Предложил подход к пониманию семиотики как универсальной науки (см. <i>Семиотические представления</i> )
Субетто Александр Иванович	90-е гг. XX в.	Предложил и развивает теорию системогенетики (см. <i>Самоорганизация</i> )
Тарасенко Феликс Петрович	С 70-х гг. XX в.	Развивает <i>системный анализ</i> применительно к теории принятия решений
Татарова Анна Владимировна	С 90-х гг. XX в.	Развивает теорию «жизненного цикла» экономических систем
Темников Федор Евгеньевич	С конца 60-х гг. XX в.	Развивал <i>теорию систем</i> , предложил: термин « <i>системотехника</i> » – перевод «System Engineering»; теорию разветвляющихся систем; классификацию <i>методов формализованного представления систем</i> ; классификацию систем по степени организованности; создал первую в СССР кафедру системотехники (в Московском энергетическом институте)
Терещенко Валерий Иванович	70-е гг. XX в.	Провел анализ путей реализации <i>закона «необходимого разнообразия»</i> , развивал теорию автоматизированных систем управления
Тюхтин Виктор Степанович	С 70-х гг. XX в.	Развивал философское направление <i>теории систем</i>
Уёмов Авенир Иванович		Развивал <i>системный подход</i> . Предложил двойственное определение системы,

Урманцев Юнир Абдуллович	С 70-х гг. XX в.	положенное в основу одной из <i>методик структуризации целей и функций</i> Развивает вариант <i>теории систем</i> , созданный первоначально для исследования биологических объектов типа <i>растений</i> и основанный на понятии симметрии и законов композиции
Федотов Александр Васильевич	С 70-х гг. XX в.	Развивает <i>имитационное динамическое моделирование</i> применительно к системам управления промышленными организациями и высшей школой
Флейшман Бенцион Семенович	С 70-х гг. XX в.	Развивает <i>системологию</i> . Предложил <i>закономерность потенциальной эффективности</i>
Форрестер Дж. (Jay W. Forrester)	С 60-х гг. XX в.	Предложил <i>имитационное динамическое моделирование</i> для исследования мировой динамики и разработки прогнозов
Ходырев Владимир Владимирович	С 80-х гг. XX в.	Обобщает и развивает <i>методы выработки коллективных решений</i>
Холл Артур (Arthur D. Hall)	60-е гг. XX в.	Автор одной из первых монографий по <i>системотехнике</i> , переведенных в СССР
Хомский Никола (Nikola Homsky)	60–70-е гг. XX в.	Разработал теорию формальных грамматик, являющуюся важным разделом <i>математической лингвистики</i> и теории формальных языков
Цвикки Фердинанд (Ferdinand Zwicky)	50–60-е гг. XX в.	Предложил <i>морфологический подход</i> к анализу систем, называемый также подходом Цвикки
Чабровский Вадим Алексеевич	70–80-гг. XX в.	Разрабатывает методы системного анализа применительно к прогнозированию развития

		предприятий и организаций. Занимается исследованием понятий <i>цель</i> и <i>целеобразование</i>
Черняк Юрий Ильич	70–90-е гг. XX в.	Развивал <i>системный анализ</i> целенаправленных систем применительно к системам планирования и управления. Предложил ряд приемов структуризации целей. Первым в стране стал применять системный анализ в управлении экономикой
Черчмен У. (Churchman C.W.)	60–70-е гг. XX в.	Занимался развитием математических методов <i>исследования операций</i>
Честнат Гарольд (Harold Chestnut)	60–70-е гг. XX в.	Обобщил методы моделирования технических систем. Автор одной из первых монографий по <i>системотехнике</i>
Четвериков Владимир Николаевич	С 70–80-х гг. XX в.	Развивает теорию проектирования <i>автоматизированных систем управления</i> . Автор ряда работ по АСУ и проектированию баз данных. Применял <i>системный анализ</i> при управлении научно-исследовательским институтом проблем высшей школы. Один из авторов <i>методики структуризации целей и функций систем управления, базирующейся на концепции деятельности</i>
Чудесова Галина Павловна	80–90-е гг. XX в.	Внесла вклад в теорию проектирования <i>организационных структур</i> предприятий. Применяет системный анализ для развития теории маркетинга
Широкова Светлана Владимировна	С 90-х гг. XX в.	Развивает метод <i>системного анализа</i> (в том числе теорию игр и теорию интеллектуаль-

		ных систем) применительно к управлению экономическим объектом. Разработала один из <i>методов организации сложных экспертиз</i> для выбора конфигурации проекта сложных технических комплексов
Шрейдер Юлий Анатольевич	70–90-е гг. XX в.	Развивал <i>математическую лингвистику, семиотику</i> и лингвосемиотику. Предложил подход к изменению количества <i>информации</i> , учитывающий ее старение
Эмери Фред (Fred E. Emery)	60-е гг. XX в.	Совместно с Р. Акоффом внес вклад в развитие <i>теории систем</i> и, в частности, в теорию целеустремленных систем
Энгельгардт Владимир Александрович	70-е гг. XX в.	Исследовал <i>закономерности коммуникативности и иерархичности</i> на примере построения и развития биологических систем
Эшби У. Росс (W. Ross Ashby)	60-е гг. XX в.	Развивал кибернетику. Предложил и доказал <i>закон «необходимого разнообразия»</i>
Юдин Эрик Григорьевич	Конец 60-х – 70-е гг. XX в.	Занимался переводами работ по теории систем зарубежных авторов и пропагандой их в нашей стране. Внес вклад в становление философской концепции <i>системного подхода</i>
Юрьев Владимир Николаевич	С 70–80-х гг. XX в.	Занимается разработкой <i>интегрированных автоматизированных систем управления</i> промышленными предприятиями. Внес вклад в теорию построения маркетинговых информационных систем, включая

Ямпольский Владимир Захарович	С 70-х гг. XX в.	формирование целей предприятия при внедрении маркетинга
Янг Стенли (Stanley Young)	70-е гг. XX в.	Развивает методы системного анализа применительно к со- циально-экономическим сис- темам, и в частности, к сис- темам управления в высшей школе. Один из авторов <i>мето- дики структуризации целей и функций, основанной на концеп- ции системы, учитывающей среду и целеполагание</i>
Янч Эрх (Erich Jantsch)	Конец 60-х гг. XX в.	Автор одного из подходов к системному управлению организацией
		Обобщил в монографии пер- вые исследования по прогно- зированию научно- технического прогресса. Сле- дел обзор методов моделиро- вания систем, сохраняя наиме- нования методов, данных их авторами

# СОДЕРЖАНИЕ

---

Предисловие .....	3
-------------------	---

<b>ВВЕДЕНИЕ. Основные положения теории систем и системного анализа .....</b>	<b>7</b>
--	----------

## **ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ**

Автоматизация управления .....	41
Автоматизация формирования и анализа структур целей и функций систем .....	42
Автоматизированная информационная система .....	46
Автоматизированная система нормативно-методического обеспечения управления .....	50
Автоматизированная система управления .....	57
Адаптация .....	65
Адекватность (модели решаемой задачи) .....	68
Аксиологическое представление системы .....	70
Аналитические методы .....	70
<b>Балансовые модели .....</b>	<b>72</b>
Бесконечномерное программирование .....	76
Блочное программирование .....	78
Большая система .....	80
Булево линейное программирование .....	83
<b>Векторная (многокритериальная) оптимизация .....</b>	<b>84</b>
Вероятность .....	89
Виртуальные системы .....	91
Выпуклое программирование .....	103
Вычислительная система .....	105
Геоинформационные системы .....	111
Гибкие производственные системы .....	123
Гомеостаз (гомеостазис) .....	126
Гомоморфизм .....	127

Гравитационная модель .....	128
Градиентные методы .....	130
Графические представления .....	132
Графо-семиотическое моделирование .....	137
Двойственная задача в линейном программировании .....	144
Декомпозиция (структуризация) .....	148
«Дельфи»-метод .....	148
«Дерево целей» .....	150
Динамическое программирование .....	151
Дискретная математика .....	154
Дискретное программирование .....	158
Дифференциальные игры .....	164
Диффузная (плохо организованная) система .....	165
Документальная информационно-поисковая система .....	167
Достоверность информации .....	167
Древовидная иерархическая структура .....	170
«Жизненный цикл» .....	171
Закон «необходимого разнообразия» У.Р. Эшби .....	180
Закономерности целеобразования .....	182
Закономерность аддитивности .....	187
Закономерность иерархичности или иерархической упорядоченности .....	188
Закономерность интегративности .....	191
Закономерность историчности .....	192
Закономерность коммуникативности .....	194
Закономерность потенциальной эффективности .....	195
Закономерность целостности (эмерджентности) .....	196
Закономерность эквифинальности .....	202
Закрытая (замкнутая) система .....	205
Иерархическая система, иерархическая структура .....	207
Иерархия .....	209
Изоморфизм .....	210
Имитационное динамическое моделирование .....	212
Имитационное моделирование .....	235
Инновационный менеджмент .....	244
Интегральные системы научно-технической информации .....	259
Интегрированные автоматизированные системы управления промышленными предприятиями .....	267

Информационная система .....	283
Информационно-поисковая система .....	286
Информационный подход к анализу систем .....	293
Искусственный интеллект .....	301
Исследование операций .....	305
<b>Каузальное представление системы .....</b>	<b>308</b>
Квадратичное программирование .....	308
Кибернетика .....	311
Когнитивный подход .....	316
Комбинаторика .....	319
Комбинаторные экстремальные задачи .....	321
Корпоративная информационная система .....	322
Косвенные количественные оценки .....	331
Критерии оценки систем .....	334
<b>Лингвистический подход .....</b>	<b>345</b>
Линейное программирование .....	345
<b>Математическая лингвистика .....</b>	<b>350</b>
Математическая логика .....	360
Математическое программирование .....	372
Матричная структура .....	375
Метод решающих матриц и его модификации .....	377
Методика системного анализа .....	385
Методика структуризации целей и функций .....	401
Методика структуризации целей и функций в многоуровневых системах .....	415
Методика структуризации целей и функций, основанная на двойственном определении системы .....	419
Методика структуризации целей и функций, основанная на концепции деятельности .....	424
Методика структуризации целей и функций, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание .....	430
Методика структуризации целей системы, стремящейся к идеалу .....	437
Методы выработки коллективных решений .....	438
Методы (методики) структуризации .....	448
Методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов .....	449
Методы организации сложных экспертиз .....	449

Методы организации сложных экспертиз, основанные на использовании информационного подхода .....	450
Методы формализованного представления систем .....	473
Многоуровневые иерархические структуры .....	486
Мозговая атака .....	490
Морфологический подход .....	493
Мультиагентные системы .....	508
«Наблюдатель» .....	515
Научно-техническая информация .....	516
Нелинейное программирование .....	519
Нечеткие, или размытые, множества .....	520
Нормативно-функциональный подход .....	522
Обратная связь .....	523
Организационная структура (оргструктура) .....	525
Организационно-технологические процедуры подготовки и реализации управленческих решений .....	549
Организация .....	549
Открытая система .....	567
Паттерн (PATTERN) .....	568
Плохо организованная (диффузная) система .....	572
Подсистема .....	573
Подходы к анализу и проектированию систем .....	573
Постепенная формализация модели принятия решения .....	576
Проблема принятия решения .....	586
Прогнозный граф .....	591
Прогнозирование .....	591
Программно-целевое планирование .....	596
Прогрессирующая систематизация и прогрессирующая факторизация (изоляция) .....	597
Разнообразие .....	599
Реинжиниринг .....	601
Реструктуризация .....	604
Самоорганизация .....	605
Самоорганизующаяся (развивающаяся) система .....	608
Связь (отношение) .....	613
Семиотические представления .....	615
Сетевая структура .....	618
Сетевое моделирование (сетевые модели, сетевые методы) .....	619

Синергетика .....	621
Система .....	624
Система нормативно-методического обеспечения управления ....	633
Система обработки данных .....	635
Система организационного управления .....	636
Системно-структурный синтез .....	638
Системно-целевой подход .....	653
Системные исследования .....	656
Системный анализ .....	657
Системный подход .....	660
Системология .....	660
Системотехника .....	661
Ситуационное моделирование, или ситуационное управление .....	661
Сложная система .....	668
Слой (уровни сложности) .....	671
Смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями .....	673
Состояние .....	676
Среда .....	676
Статистические методы .....	679
Степень соответствия .....	685
Стохастическое программирование .....	686
Стратегический менеджмент (стратегическое управление) .....	686
Страты .....	694
Структура .....	698
Структуризация (декомпозиция) .....	708
Структурно-лингвистическое моделирование .....	709
Сценарий .....	711
Тезаурусный подход .....	712
Тектология .....	713
Теоретико-множественные представления .....	713
Теория игр .....	722
Теория многоуровневых иерархических систем .....	732
Теория оптимизации (теория экстремальных задач) .....	734
Теория систем .....	735
Транспортная задача .....	739
Управление .....	742
Устойчивость .....	749
Устойчивость экономических систем .....	753

Фактографические информационно-поисковые системы .....	765
Функционально-технологический подход .....	766
Хорошо организованная система .....	768
Целевая функция .....	770
Целевой, целенаправленный подход .....	770
Целенаправленная и целеустремленная системы .....	771
Целеобразование (целеполагание) .....	774
Цель .....	775
«Черный ящик» .....	779
Численные методы математического программирования .....	780
Шкалы измерений при оценке систем .....	781
Эвристические методы .....	797
Экспертные оценки .....	798
Экспертные системы .....	815
Элемент .....	818
Эффективность системы .....	819
«Эшелон» .....	822
<b>Список ученых, внесших наибольший вклад в развитие системного анализа .....</b>	<b>825</b>

Учебно-справочное электронное издание

**Баринов Владимир Александрович  
Болотова Людмила Сергеевна  
Волкова Виолетта Николаевна и др.**

**ТЕОРИЯ СИСТЕМ  
И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ  
В УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ:  
СПРАВОЧНИК**

Шеф-редактор *В.А. Звонова*  
Редактор *Н.Ф. Карпычева*  
Младший редактор *Н.В. Зеленюк*  
Компьютерная верстка *Е.Ф. Тимохина,*  
*О.В. Фортунатова*

Подписано к использованию 08.04.2021

Формат 14,8×21 см

Гарнитура «TimesET». ИБ № 42Э

ООО «Издательство Финансы и статистика»  
117587, Москва, ул. Кировоградская, д. 16, кор. 2, оф. 69  
Телефон +7 (985) 719-50-57, +7 (495) 625-47-08  
E-mail: finstat-info@yandex.ru