

Том 15. №5. 2020

Сентябрь – Октябрь

Сквозной номер выпуска – 89

Университет «Синергия»

ISSN 1993–8314 (Print)

ISSN 2687–0649 (Online)

DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5

Научно-практический журнал "Прикладная информатика"
Журнал включен в Перечень ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК для публикации
результатов диссертационных исследований

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**Главный редактор**

Емельянов А. А., докт. экон. н., проф., Национальный исследовательский университет «МЭИ» г. Москва; Национальное общество имитационного моделирования, г. Санкт–Петербург

Сопредседатели редакционного совета

Рубин Ю. Б., докт. экон. н., проф., чл.–корр. РАО, президент Университета «Синергия», зав. кафедрой Теории и практики конкуренции, г. Москва

Мешалкин В. П., докт. техн. н., проф., академик РАН, директор Института логистики ресурсосбережения и технологической инноватики, РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва

Члены редакционного совета

Брекис Эд., докт. экон. н., ассоциированный проф., зав. кафедрой Эконометрики и бизнес–информатики, Латвийский Университет, г. Рига, Латвия

Волкова В. Н., докт. экон. н., проф., Институт компьютерных наук и технологий, Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт–Петербург

Дли М. И., докт. техн. н., проф., зав. кафедрой МИТЭ, зам. директора Филиала НИУ «МЭИ», г. Смоленск

Козлов В. Н., докт. техн. н., проф., Институт компьютерных наук и технологий, Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт–Петербург

Краковский Ю. М., докт. техн. н., профессор, кафедра Информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

Пецольдт К., докт. экон. н., проф., проректор по международному сотрудничеству с Восточной Европой, Технологический Университет, г. Ильменау, Германия

Росс Г. В., докт. техн. н., докт. экон. н., проф., академик РАЕН, научная лаборатория Семантического анализа и интеграции, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, г. Москва

Стоянова О. В., докт. техн. н., проф., кафедра Информационных систем в экономике, СПбГУ, г. Санкт–Петербург

Сухомлин В. А., докт. техн. н., проф., зав. лабораторией Открытых информационных технологий, факультет ВМК, МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Халин В. Г., докт. экон. н., проф., кафедра Информационных систем в экономике, Экономический факультет СПбГУ, г. Санкт–Петербург

Шориков А. Ф., докт. физ.–мат. н., проф., ведущий научный сотрудник, Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург

Штельцер Д., докт. техн. н., гер. пол., проф., Глава Департамента информации и управления знаниями, Технологический Университет, г. Ильменау, Тюрингия, Германия

Юсупов Р. М., докт. техн. н., проф., чл.–корр. РАН, научный руководитель Санкт–Петербургского института информатики и автоматизации РАН, президент Национального общества имитационного моделирования «НОИМ», г. Санкт–Петербург

Заместители главного редактора

Прокимов Н. Н., канд. техн. н., доцент, кафедра Информационных систем, Университет «Синергия», г. Москва

Власова Е. А., научная редакция Университета «Синергия», г. Москва

Журнал выходит с 2006 г. Периодичность издания – 6 раз в год.

Журнал индексируется в российских и зарубежных базах научной периодики
eLIBRARY (ПИНЦ), Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science,
ВИНИТИ, Ulrich's Periodicals Directory

Учредитель и издатель: **Негосударственное образовательное частное учреждение высшего образования
Университет «Синергия»**

Адрес редакции и издателя:

129090, Москва, ул. Мещанская, д. 9/14, стр.1 (юр.)

125190, Москва, Планетная ул., д. 36, оф. 301, 302

Тел.: +7 (495) 987–43–74 (доб. 33–04); e-mail: appliedinformaticsjournal@gmail.com; www.appliedinformatics.ru

© Университет «Синергия»

Journal of Applied INFORM@TICS

Peer-reviewed scientific journal

Vol. 15. No. 5. 2020

September – October

Continuous issue – 89

Synergy University

ISSN 1993–8314 (Print)

ISSN 2687–0649 (Online)

DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5

Peer-reviewed scientific journal "Journal of Applied Informatics"

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

A. Emelyanov, Dr of Economics, Professor, National Research University MPEI the city of Moscow; Executive board member of NC «National Society for Simulation Modelling», the city of St. Petersburg

Co-Chairs of the Editorial Board

Yu. Rubin, Dr of Economics, Professor, Corresponding Member of the Russian Education Academy, Head of the Theory and Practice of Competition Chair, President of the Moscow University for Industry and Finance «Synergy», the city of Moscow

V. Meshalkin, Dr of Technique, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences (RAS), Director of the Institute of Logistics and Resource Technology Innovation, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, the city of Moscow

Members of the Editorial Board

Ed. Brēķis, Dr. Oec., Assoc. Professor, Head of The Econometrics and Business Informatics Chair, Faculty of Economics and Management, University of Latvia, the city of Riga, Latvia

M. Dli, Dr of Technique, Professor, Head of The MITE Chair, Deputy Director of the National Research University MPEI Branch, the city of Smolensk

V. Halin, Dr of Economics, Professor, The Economic Information Systems Department, St. Petersburg State University, the city of St. Petersburg

V. Kozlov, Dr of Technique, Professor, Institute of Computer Science and Technology, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, the city of St. Petersburg

Krakovskiy Yu., Dr of Technique, Professor, Information Systems and Information Security Department, Irkutsk State Railway Transport Engineering University, the city of Irkutsk

K. Pezoldt, Dr of Economics, Professor, Deputy Rector for International Cooperation with Eastern Europe, Ilmenau University of Technology, the city of Ilmenau, Germany

G. Ross, Dr. of Technique, Dr. of Economics, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (RANS), Research Laboratory of Semantic Analysis and Integration, Plekhanov Russian University of Economics, the city of Moscow

A. Shorikov, Dr. of Physics & Mathematics, Professor, Leading Researcher, Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, the city of Ekaterinburg

O. Stoyanova, Dr. of Technique, Professor, Economic Information Systems Department, St. Petersburg State University, the city of St. Petersburg

V. Sukhomlin, Dr of Technique, Professor, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University, the city of Moscow

D. Stelzer, Dr., rer. pol., Professor, Head of The Information and Knowledge Management Department of Ilmenau University of Technology, the city of Ilmenau, Germany

V. Volkova, Dr of Economics, Professor, Institute of Computer Science and Technology, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, the city of St. Petersburg

R. Yusupov, Dr of Technique, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences (RAS), Scientific Leader of the Saint Petersburg RAS Institute of Informatics and Automation, President of NC «National Society for Simulation Modeling», the city of St. Petersburg

Deputy Chief Editors

N. Prokinnov, PhD in Technique, Associate Professor, the Information Systems Chair, Moscow University for Industry and Finance «Synergy», the city of Moscow

E. Vlasova, Scientific Edition Department, Moscow University for Industry and Finance «Synergy», the city of Moscow

Published since 2006. Periodicity: bimonthly.

The journal is indexed in

Russian Science Citation Index (RSCI) on Web of Science platform,
VINITI (Russian Academy of Sciences), Ulrich's Periodicals Directory

Publisher: Moscow University for Industry and Finance «Synergy»

Publisher address: 9/14 s.1, Meshchanskaya str., Moscow, 129090, Russia

Editorial office address: of. 301; 36, Planetnaya st., Moscow, 125319, Russia

Tel: +7 (495) 987-43-74 (ext. 33-04); e-mail: appliedinformaticsjournal@gmail.com; www.appliedinformatics.ru

© Synergy University

Памяти главного редактора
А. А. Емельянова. 5

IT-МЕНЕДЖМЕНТ

Управление эффективностью

А. Ф. Шорилов, Е. В. Буценко
Интеллектуальная программная система
оптимизации адаптивного управления
процессами бизнес-планирования. 9

М. И. Дли, О. В. Булыгина, А. М. Соколов
Рубрицирование текстовой информации
на основе голосования интеллектуальных
классификаторов 29

IT И ОБРАЗОВАНИЕ

Образовательное пространство

Л. А. Александрова, Э. Р. Галимов
Модель цифровой образовательной
среды вуза 37

И. Ю. Шполянская, Т. А. Середкина
Семантические технологии в системе
поддержки онлайн-обучения 52

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Эффективные алгоритмы

О. В. Тиханычев
О проблеме обеспечения интеропера-
бельности при автоматизации поддержки
принятия решений 62

Программная инженерия

Ю. В. Гольчевский, Р. А. Гашин, П. А. Гарбузов
Опыт разработки и эксплуатации
информационной системы учета
криминальной статистики 73

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

Информационная безопасность

М. В. Тумбинская, В. В. Волков, Б. Г. Загидуллин
Использование статистических методов
для анализа и прогноза UDP-flood атак 85

ЛАБОРАТОРИЯ

Модели и методики

Ю. И. Бутенко
Метод разрешения лексической
многозначности поискового запроса
на основе онтологий 103

О. А. Гурьянова, А. Ю. Гнибеда
Оценка флуктуационных свойств
взаимодействия растровых структур
различных линиатур при воспроизведении
полноцветных изображений 111

В ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИЙ ПОРТФЕЛЬ

Разработка ИТ-инструментария

Э. А. Гумеров, Т. В. Алексева
Разработка информационной системы
программ-оракулов в блокчейн системах
управления 124

Правила подготовки материалов. 137

In memory of the Editor-in-Chief A. A. Emelianov	5	INFORMATION SECURITY	
IT MANAGEMENT		Data protection	
Performance management		<i>M. Tumbinskaya, V. Volkov, B. Zagidullin</i>	
<i>A. Shorikov, E. Butsenko</i>		Use of statistical methods for analysis and forecast of udp-flood attacks	85
Intelligent software system for optimizing adaptive control of business planning processes	9	LABORATORY	
<i>M. Dli, O. Bulygina, A. Sokolov</i>		Models and methods	
Rubrication of text information based on the voting of intellectual classifiers	29	<i>I. Butenko</i>	
IT AND EDUCATION		Method for resolving the lexical polysemous search query based on ontology	103
Educational environment		<i>O. Guryanova, A. Gnibeda</i>	
<i>L. Aleksandrova, E. Galimov</i>		Evaluation of the fluctuation properties of the interaction of halftone screens of various lineatures when reproducing full-color images	111
University digital educational mode	37	TEACHER'S PORTFOLIO	
<i>I. Shpolianskaya, T. Seredkina</i>		IT development	
Semantic technologies in the online learning support system	52	<i>E. Gumerov, T. Alekseeva</i>	
TOOLS		Development of an information system of Oracle programs in blockchain management systems	124
Algorithmic efficiency		Guidelines for authors	137
<i>O. Tikhanychev</i>			
On the problem of information support of decision-making automation.	62		
Software engineering			
<i>Yu. Golchevskiy, R. Gashin, P. Garbuzov</i>			
Information system for criminal statistics accounting development and operation experience	73		

Памяти Александра Анатольевича Емельянова (1947-2020)

20 сентября 2020 г. скоропостижно скончался известный российский учёный Александр Анатольевич Емельянов – доктор экономических наук, профессор, Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, профессор Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт», главный редактор журнала «Прикладная информатика / Journal of Applied Informatics», член правления НП «Национальное общество имитационного моделирования», лауреат общественного рейтинга «ТОП-100 самых цитируемых российских учёных по данным РИНЦ» в научном разделе «Информатика».



Александр Анатольевич Емельянов родился 10 июня 1947 года в городке Свидница (Польша), в семье офицера. В 1965 году поступил в Московский инженерно-физический институт (ныне – Национальный ядерный университет «МИФИ») на факультет кибернетики. В 1971 г. защитил дипломный проект по самодиагностике программно-аппаратных бортовых автоматизированных систем управления с повышенной живучестью. Затем поступил на работу стажёром-исследователем на кафедру автоматизированных систем управления МИФИ. С 1973 по 1975 год учился в аспирантуре, где занимался исследованиями в областях системного программирования, теории массового обслуживания, теории координации процессов в мультипрограммном комплексе посредством R- и V-примитивов, теории функции комплексного переменного. Защитил кандидатскую диссертацию по теме «Разработка программ управления сообщениями спе-

циализированной системы телеобработки информации» по специальности 05.13.06 «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

В 1975 году Александр Анатольевич был направлен на работу в один из научных центров страны, где жил с семьей и работал в научно-производственных организациях в соответствии с полученной в МИФИ специальностью, совмещая научно-производственную и преподавательскую деятельность. В 1983 году ВАКом ему присвоено учёное звание доцента по кафедре вычислительных систем и программируемых автоматов.

Александр Анатольевич является автором-разработчиком ряда уникальных программных продуктов, в том числе зарегистрированных в разное время под общим названием «Actor Pilgrim», первая версия которого прошла испытания в связи с черныбыльскими событиями.

В 1986–1987 гг. Александр Анатольевич принимал непосредственное участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. При этом, как выпускник МИФИ и кандидат наук, как чрезвычайно ответственный человек и серьезный ученый, он возглавлял работу группы по сбору и анализу реальных данных для построения прогноза развития радиационной обстановки в регионе и в стране в целом. Полученные результаты Александр Анатольевич лично докладывал Председателю Совета министров СССР Н. И. Рыжкову, и в дальнейшем их использовали для принятия решений на уровне всей страны.

За проявленные личные мужество и отвагу Александр Анатольевич был награжден Орденом Красной Звезды и медалью «Участник ликвидации последствий на Чернобыльской АЭС».

Свою педагогическую деятельность Александр Анатольевич начал в середине 1990-х годов в Московском государственном университете экономики, статистики и информатики (МЭСИ): сначала в должности доцента, затем – заведующего кафедрой, декана и директора Института компьютерных технологий МЭСИ.

В 2001 году Александр Анатольевич успешно защитил докторскую диссертацию по теме «Методология имитационного моделирования и адаптивного управления рисками» по специальности 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики» и стал доктором экономических наук. Ученое звание профессора по кафедре общей теории систем и системного анализа ему было присвоено в 2002 году.

Александр Анатольевич внёс существенный вклад в развитие российской системы высшего образования. Его роль в подготовке кадров для национальной экономики трудно переоценить. Он руководил работой УМО по образованию в области прикладной информатики, входил в состав профильных УМО в других вузах. Благодаря его усилиям

и инициативе, в 2000 году в российской высшей школе впервые появились новые специальности «Прикладная информатика (по областям)», «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем», а также были разработаны и утверждены соответствующие федеральные государственные образовательные стандарты. Александр Анатольевич являлся заместителем председателя Совета основных образовательных программ бакалавриата «Бизнес-информатика» и магистратуры «Информационная бизнес-аналитика».

Научная и педагогическая деятельность Александра Анатольевича была тесно связана со многими вузами Москвы, Санкт-Петербурга, Смоленска, Владимира, Казани, Оренбурга, Ростова-на-Дону, Ярославля и др. Так, например, в Санкт-Петербургском государственном университете с 2005 по 2011 гг. он являлся председателем ГАК по специальности «Прикладная информатика» и входил в состав мультидисциплинарного УМО на базе СПбГУ.

Профессор А. А. Емельянов много лет работал в нескольких диссертационных советах по специальности «Математические и инструментальные методы экономики», в том числе был председателем диссертационного совета при МФПУ «Синергия». Он читал студентам лекции, готовил аспирантов и докторантов. Имел непосредственное отношение к подготовке более 30 молодых кандидатов наук, выполняя роль либо научного руководителя, либо научного консультанта, либо официального оппонента. Несколько молодых докторов наук также вспоминают добрым словом его помощь и участие. Его всегда очень точные и конструктивные замечания, а также советы относительно возможных улучшений и направлений дальнейшего развития идей вселяли веру в собственные силы, не давали опустить руки и стимулировали продолжение работы. Эту помощь сложно переоценить. Благодаря Александру Анатольевичу многие работы состоялись

в том виде, в каком они были представлены к защите.

За многолетнюю плодотворную работу Александр Анатольевич награждён нагрудным знаком «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», а также Благодарственным письмом Губернатора Смоленской области.

Профессор А. А. Емельянов является автором более 200 научных и учебных трудов, монографий, статей, учебников и программ для ЭВМ, прошедших государственную регистрацию.

Настольными книгами многих студентов, изучающих теорию систем и системный анализ, являются такие работы Александра Анатольевича, как «Теория систем и системный анализ в управлении организациями. Справочник»/ под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2012. – 848 с. (URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20245777>) и «Системный анализ в управлении» (авторы Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. М.: Финансы и статистика, 2009. – 368 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22329834>). Специалистам же по имитационному моделированию, как опытным, так и только начинающим осваивать эту непростую область, хорошо знакомы такие учебники и учебные пособия, как «Имитационное моделирование экономических процессов» (авторы Емельянов А. А., Власова Е. А., Дума Р. В. / под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2006. – 368 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19805460>), «Компьютерная имитация экономических процессов» (авторы Емельянов А. А., Власова Е. А., Дума Р. В., Емельянова Н. З. / под ред. А. А. Емельянова. М.: Маркет ДС, 2010. – 464 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19919433>), а также последняя крупная работа в этой области – «Имитационное моделирование в экономике и управлении» (авторы Булыгина О. В., Емельянов А. А., Емельянова Н. З. М: Инфра-М, 2019. – 592 с.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35653810>).

Среди разработанных Александром Анатольевичем программ для ЭВМ наибольшее распространение имеет система имитационного моделирования временной, пространственной и финансовой динамики экономических процессов «Actor Pilgrim», зарегистрированная в Роспатенте. Эту систему он продолжал дорабатывать и совершенствовать до последних дней жизни, добавляя в нее новые возможности и алгоритмы в соответствии с новейшими достижениями науки и потребностями практики. В ней реализовано большинство решений, опубликованных профессором А. А. Емельяновым в его монографиях и научных статьях и представленных на конференциях. Университетам система «Actor Pilgrim» предоставляется на безвозмездной основе, что является еще одним свидетельством бескорыстного служения Александра Анатольевича делу подготовки высококвалифицированных специалистов и развития имитационного моделирования как области научного исследования.

Особое место в жизни Александра Анатольевича занимала редакторская работа. Он был одним из инициаторов создания и бессменным главным редактором авторитетного научно-практического журнала «Прикладная информатика / Journal of Applied Informatics». Первый номер журнала «Прикладная информатика» со статусом «средство массовой информации» и издателем МФПУ «Синергия» вышел более 14 лет назад в феврале 2006 г. Высшая аттестационная комиссия (ВАК) при Минобрнауки России в 2010 г. включила журнал в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

На сегодняшний день журнал «Прикладная информатика» – популярное научное издание с солидным импакт-фактором, известное за рубежом и индексируемое в россий-

ских и зарубежных базах научной периодики: eLIBRARY (РИНЦ), Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, ВИНТИ, Ulrich's Periodicals Directory.

Являясь главным редактором научного журнала «Прикладная информатика» и автором-разработчиком профессионального программного обеспечения, Александр Анатольевич очень серьезно занимался наукой. Но для него, пожалуй, самой важной и значимой была его педагогическая деятельность по подготовке высококвалифицированных кадров. Яркий лектор, методист, педагог, он является автором многих учебников и пособий для студентов, аспирантов и преподавателей вузов. Студенты ценили его за методичность изложения материала, пунктуальность, ясность ума и объективность в оценке их знаний.

Совершенно ясно, что заменить или повторить Александра Анатольевича невозможно. Его талант, увлечённость, искренность, невероятные трудолюбие и ответственность, уникальная способность быть одновременно тре-

бовательным и по-настоящему добрым, его особый стиль преподавателя и учёного, умение заинтересовать и вовлечь студента, аспиранта и слушателя в обсуждение самых сложных проблем снискали ему глубокое уважение как преподавателю, учёному и человеку – мужественному, честному, смелому, но удивительно скромному и деликатному.

Память о нем будет жить не только в его работах, но и в сердцах всех, кому посчастливилось встретиться с этим удивительным человеком на своем жизненном пути, – его учеников в широком смысле этого слова, поскольку каждый вынес из общения с Александром Анатольевичем какой-то важный для себя урок.

Нам всем будет не хватать Александра Анатольевича.

Мы скорбим о его преждевременной кончине и выражаем искренние соболезнования родным и близким.

Светлая ему память.

*Н. Д. Рогалев, Ю. Б. Рубин, А. С. Федулов,
В. П. Мешалкин, Е. А. Власова, В. Н. Волкова, М. И. Дли,
В. Н. Козлов, Ю. М. Краковский, Н. Н. Прокимнов, Г. В. Росс,
О. В. Стоянова, В. А. Сухомлин, А. Ф. Шориков, Р. М. Юсупов,
И. П. Бойко, В. Г. Халин, Г. В. Чернова, А. В. Юрков,
В. Н. Бугорский, Р. В. Соколов, Е. В. Стельмашонок,
Л. Ф. Вьюненко, Л. В. Гадасина, Д. В. Денисов, В. Г. Чернов,
О. В. Булыгина, А. В. Виноградова, В. В. Гимаров, И. А. Жужгина,
А. Э. Заенчковский, А. В. Зедаина, Т. В. Какатунова, Е. А. Кириллова,
А. А. Королёва, М. Ю. Лебедева, Е. И. Лобанева, М. В. Максимкин,
В. А. Никифоров, Б. В. Окунев, А. И. Попов, С. А. Прудников,
А. Ю. Пучков, Н. А. Скуратова, Д. А. Тюкаев, А. А. Тютюнник,
В. П. Фомченков, Л. В. Фомченкова, М. В. Черновалова, Д. Ю. Шутова*

Интеллектуальная программная система оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования

А. Ф. Шориков^{1*}, Е. В. Буценко²

¹ Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия

* afshorikov@mail.ru

Аннотация. В статье описываются функциональные возможности разработанной авторами интеллектуальной программной системы оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования в условиях неопределённости. Результаты получены в ходе работы по новому методу оптимизации адаптивного управления проектами, основанному на сетевом экономико-математическом моделировании. На базе этого метода разработана методика решения задачи оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования, которая в предлагаемой интеллектуальной программной системе поддержки принятия решений включает в себя блок, содержащий модель оптимизации адаптивного управления. В качестве целевой функции (оценочного функционала) в указанном методе рассматривается значение длительности периода времени для исполнения бизнес-плана, которое требуется минимизировать. Этот метод позволяет сформировать класс допустимых стратегий адаптивного управления процессом реализации для рассматриваемого бизнес-плана. В рамках этого класса стратегий формируется стратегия оптимального адаптивного управления реализацией процессами бизнес-планирования, вычисляются оптимальное время его реализации и оптимальный календарный график реализации бизнес-плана в целом, соответствующие стратегии оптимального адаптивного управления. Внедрение предлагаемого нового метода в интеллектуальную программную систему позволяет осуществить обратную связь и получить оптимальное время для исполнения бизнес-проекта в целом. Разработанная интеллектуальная система предназначена для автоматизации моделирования процессов бизнес-планирования и оптимизации адаптивного управления принятием решений при их реализации на основе сетевого экономико-математического моделирования, а также методов и инструментария разработки интеллектуальных программных систем. В созданной системе учитываются имеющиеся конкретные технико-экономические условия и информационное обеспечение. Полученные в работе результаты могут служить основой для создания интеллектуальных инструментальных систем поддержки принятия управленческих решений при осуществлении процессов бизнес-планирования в условиях информационной неопределённости и рисков.

Ключевые слова: интеллектуальная программная система, оптимизация адаптивного управления, бизнес-планирование, экономико-математическое моделирование, сетевые методы планирования и управления

Для цитирования: Шориков А. Ф., Буценко Е. В. Интеллектуальная программная система оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 5. С. 9–28. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-9-28

Intelligent software system for optimizing adaptive control of business planning processes

A. Shorikov^{1*}, E. Butsenko²

¹ Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

² Ural state University of Economics, Ekaterinburg, Russia

* afshorikov@mail.ru

Abstract. The article describes the functionality developed by the authors of an intelligent software system for optimizing adaptive control of business planning processes in the face of uncertainty. The results are based on a new method for optimizing adaptive project management using network economic and mathematical modeling. Based on this method, a methodology has been developed for solving the problem of optimizing adaptive control of business planning processes, which in the proposed intelligent software decision support system uses a block containing an adaptive control optimization model. As the objective function (evaluation functional) in the method used, the value of the length of the time period for the execution of the business plan, which needs to be minimized, is considered. The method used allows you to create a class of acceptable strategies for adaptive control of the implementation process for the business plan in question. Within the framework of this class of strategies, an optimal adaptive control strategy for the implementation of business planning processes is formed, the optimal time for its implementation and the optimal schedule for implementing the business plan as a whole, and the corresponding optimal adaptive control strategies are calculated. Application of the proposed new method in an intelligent software system allows for feedback and optimal time for the implementation of the business project as a whole. The developed intelligent system is designed to automate the modeling of business planning processes and optimize adaptive decision-making control during their implementation on the basis of network economic and mathematical modeling, as well as methods and tools for developing intelligent software systems. The created system takes into account the existing specific technical and economic conditions and information support. The results obtained in this work can serve as the basis for creating intelligent instrumental systems for supporting managerial decision-making in the implementation of business planning processes in the face of information uncertainty and risks.

Keywords: intelligent software system, adaptive control optimization, business planning, economic and mathematical modeling, network planning and management methods

For citation: Shorikov A., Butsenko E. Intelligent software system for optimizing adaptive control of business planning processes. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 9-28 (in Russian) DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-9-28

Введение

Успешная деятельность любого предприятия требует создания современного инструментария для оптимизации управления реализацией процессов бизнес-планирования, соответствующих исходному бизнес-проекту,

с учётом имеющихся технико-экономических и информационных условий, а также возникающих реальных производственных или организационных ситуаций. Для решения такой задачи предлагается технология разработки и создания интеллектуальной программной системы оптимизации адаптивного управ-

ления процессами бизнес-планирования, базирующаяся на новом методе оптимизации адаптивного управления реализацией проектов, который разработан А. Ф. Шориковым и изложен в работе [1], моделях и методах сетевого экономико-математического моделирования [2–4] и технологии разработки интеллектуальных систем в форме компьютерных экспертных систем поддержки принятия решений [5–10]. Для формализации знаний в данной системе предлагается использовать продукционные логические правила, алгоритмы в виде реализации конечных наборов арифметических и логических операций, которые устанавливают отношения между различными типами данных, стереотипными ситуациями и фактами с целью получения логических выводов и формирования результатов. При эксплуатации таких систем имеется возможность осуществлять обучение и накопление формализованной и неформализованной информации для применения в последующих процессах логического вывода и решения функциональных задач.

Методы

Предлагаемая интеллектуальная программная система разработана с применением технологий компьютерных экспертных систем поддержки принятия решений [5–6]. В своем составе она имеет следующие подсистемы: *базу данных*, содержащую данные в различных форматах, структурированных в соответствии с архитектурой системы и функциональными задачами; *базу знаний*, содержащую факты и знания о моделях и методах бизнес-планирования, которые структурированы и формализованы различными средствами; *подсистему приобретения знаний*, использующую различные инструментальные средства; *подсистему формирования решений функциональных задач системы (решатель задач)* на основе реализации различных механизмов, включающих в себя процедуры логического вывода, формальные ал-

горитмы и эвристические процедуры, сопряжённых с базой данных и базой знаний; *подсистему объяснений* (протоколирования) вывода решений; *подсистему обучения и интеллектуального пользовательского интерфейса*. На рисунке 1 представлена структурная схема предлагаемой интеллектуальной программной системы, содержащей основные подсистемы.

Общая методика сетевого планирования и управления процессами бизнес-планирования для хозяйствующего субъекта (без возможности адаптации) приведена в монографии [2]. Новый метод решения задачи оптимизации адаптивного управления проектами на основе сетевого моделирования описан в работе [1]. В данной работе на базе этого метода разработана методика решения задачи оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования, в которой в предлагаемой интеллектуальной программной системе поддержки принятия решений задействован блок, содержащий *модель оптимизации адаптивного управления* (рис. 1).

В разработанной авторами интеллектуальной программной системе *решатель задач* содержит следующие основные блоки, предназначенные для формирования: 1) сетевой экономико-математической модели реализации процессов бизнес-планирования; 2) критического пути и критического времени; 3) позиции, описывающей состояние процессов бизнес-планирования; 4) оптимальной адаптивной стратегии управления процессом бизнес-планирования; 5) итоговых результатов решения задачи оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования в форматах, удобных для пользователей.

Результаты

Рассмотрим применение предлагаемой методики оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования на примере реализации бизнес-проекта по открытию кафе.

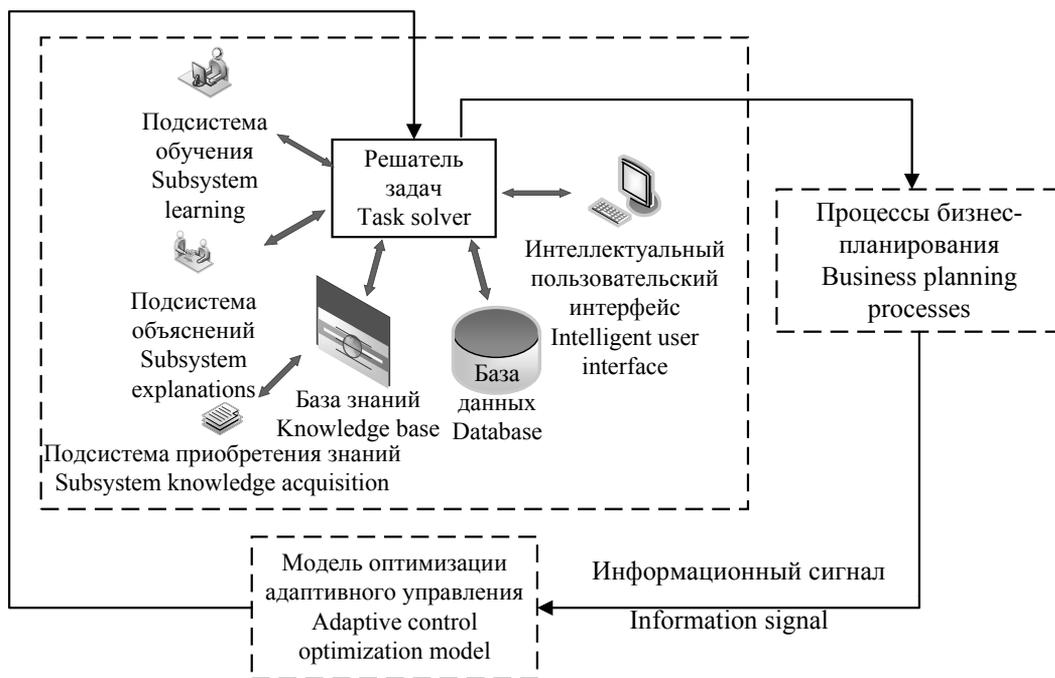


Рис. 1. Структура интеллектуальной программной системы

Fig. 1. Intelligent software system structure

Исходная информация для построения сетевой экономико-математической модели в виде основных работ-операций, необходимых для реализации бизнес-плана, соответствующего рассматриваемому бизнес-проекту, представлена в таблице 1.

Тогда на основе имеющихся исходных данных и условий формируется сетевая экономико-математическая модель реализации процессов бизнес-планирования в виде сетевого графика, которая изображена на рисунке 2. Начальным событием в этой сети является событие под номером 1, финальным – событие под номером 9. Символами $F_i(0), i \in \overline{1,5}$ отмечены фиктивные работы, не требующие затрат времени и ресурсов.

В соответствии с новым методом оптимизации адаптивного управления проектами [1] разработана методика оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования, реализующими исходный бизнес-проект.

На первом этапе вспомогательными параметрами $\tau:=0$ и $s:=0$ на основе исходных данных о рассматриваемых процессах бизнес-планирования и правил сетевого экономико-математического моделирования [3,4] формируется соответствующая сетевая модель реализации процессов бизнес-планирования $WM_\tau^{(e)}(\mathbf{R}(\tau))=WM_0^{(e)}(\mathbf{R}(0)) \in WM_0(\mathbf{R}(0))$ в виде сетевого графика, которая изображена на рисунке 2 и соответствует массиву работ-операций $\mathbf{R}(\tau)=\{R_1(\tau), R_2(\tau), \dots, R_{n_r}(\tau)\}=\mathbf{R}_\tau=\mathbf{R}(0)=\{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\}=\mathbf{R}_0$, массиву длительности исполнения работ-операций $\mathbf{A}(\tau)=\{A_1(\tau), A_2(\tau), \dots, A_{n_r}(\tau)\}=\mathbf{A}_\tau=\mathbf{A}(0)=\{A_1(0), A_2(0), \dots, A_{10}(0)\}=\mathbf{A}_0$.

На втором этапе на основе исходных данных, включающих начальный массив работ-операций $\mathbf{R}(\tau)=\{R_1(\tau), R_2(\tau), \dots, R_{n_r}(\tau)\}=\mathbf{R}_\tau=\{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\}=\mathbf{R}_0$, соответствующий ему массив длительности исполнения работ-операций $\mathbf{A}(\tau)=\{A_1(\tau), A_2(\tau), \dots, A_{n_r}(\tau)\}=\{A_1(0), A_2(0), \dots, A_{10}(0)\}=\mathbf{A}_0$, а также сформированную сетевую модель реализации процессов бизнес-планирования, необходимо оптимизировать сетевую модель по параметру времени — найти

Таблица 1. Исходные данные бизнес-плана

Table 1. Initial data business plan

№ работы Job number	Содержание работы Content of work	Длительность работы, недель Duration of work, weeks	Предшествующие работы Previous work
$R_1(0)$	Определение вида кафе Determining type of cafe	$\Delta_1(0)=1$	–
$R_2(0)$	Построение карты местности торговой территории Building map of area of trading territory	$\Delta_2(0)=2$	–
$R_3(0)$	Подбор шеф-повара Chef selection	$\Delta_3(0)=2$	$R_1(0)$
$R_4(0)$	Разработка меню Menu development	$\Delta_4(0)=2$	$R_1(0), R_3(0)$
$R_5(0)$	Набор персонала Recruitment	$\Delta_5(0)=2$	$R_5(0)$
$R_6(0)$	Оформление документов и проектной документации Paperwork and design documentation	$\Delta_6(0)=2$	$R_4(0)$
$R_7(0)$	Оформление и регистрация договора аренды Registration of lease agreement	$\Delta_7(0)=2$	$R_1(0), R_2(0)$
$R_8(0)$	Выбор и покупка оборудования Selection and purchase of equipment	$\Delta_8(0)=1$	$R_1(0), R_4(0)$
$R_9(0)$	Определение концепции продвижения Definition of promotion concept	$\Delta_9(0)=1$	$R_1(0)$
$R_{10}(0)$	Формирование бюджета открытия кафе Budgeting for opening of cafe	$\Delta_{10}(0)=1$	$R_8(0), R_9(0)$

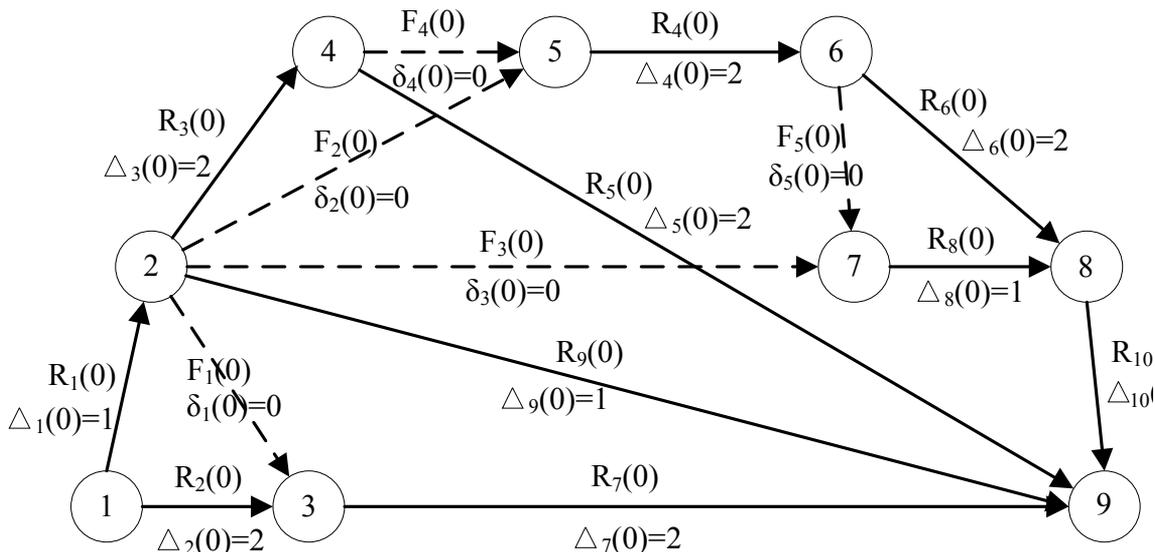


Рис. 2. Сетевая модель реализации процессов бизнес-планирования ($\tau: =0$)

Fig. 2. Network model for the implementation of business planning processes ($\tau: =0$)

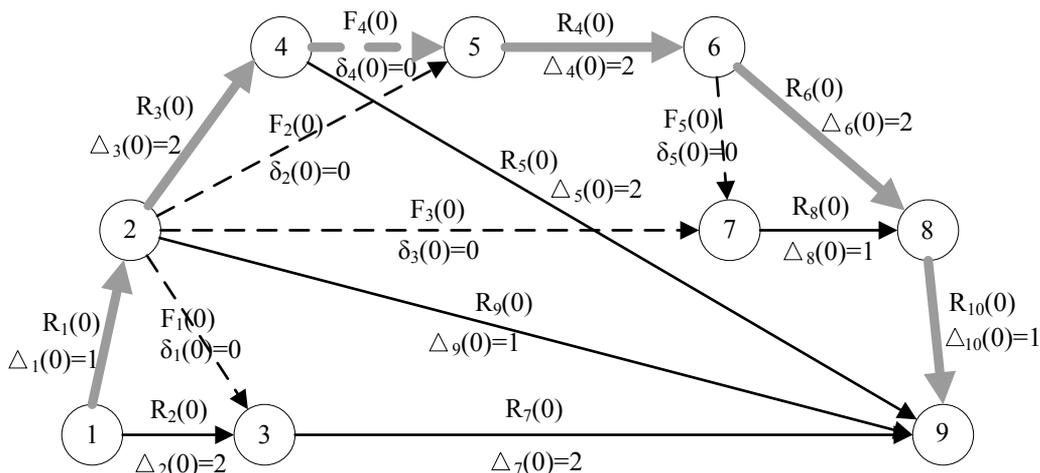


Рис. 3. Критический путь в сетевой модели реализации процессов бизнес-планирования ($\tau = 0$)
Fig. 3. The critical path in the network model of process Implementation business planning ($\tau = 0$)

критический путь, критическое время и сформировать соответствующий календарный график реализации процессов бизнес-планирования в целом, т. е. решить задачу календарного планирования [3, 4].

Формулы для расчётов временных параметров событий сформированной сетевой модели описаны, например, в [3, 4]. Для данной сетевой модели, соответствующей рассматриваемым процессам бизнес-планирования, критический путь представлен на рисунке 3 и выделен серым цветом и жирной линией. Его длительность составляет восемь недель и состоит из набора работ-операций: $\{R_1(\tau), R_3(\tau), F_4(\tau), R_4(\tau), R_6(\tau), R_{10}(\tau)\} = \{R_1(0), R_3(0), F_4(0), R_4(0), R_6(0), R_{10}(0)\}$.

В результате сформирован критический путь $R^{(кр.)}(\tau) = \{R_1^{(кр.)}(\tau; \tau_1), R_2^{(кр.)}(\tau_1; \tau_2), \dots, R_2^{(кр.)}(1;3), R_3^{(кр.)}(3;3), R_4^{(кр.)}(3;5), R_5^{(кр.)}(5;7), R_6^{(кр.)}(7;8)\} = R^{(кр.)}(0) = R_0^{(кр.)}$, где $n_\tau^{(кр.)} = 6$.

Длительность реализации сформированного критического пути $R_\tau^{(кр.)} = R_0^{(кр.)}$ определяет критическое время $T_\tau^{(e)} = T_0^{(e)} = 8$, т. е. минимальное время, необходимое для выполнения всех работ-операций, образующих весь комплекс мероприятий для реализации процессов бизнес-планирования в целом. Далее формируется целочисленный массив периодов времени $T_\tau = \{\tau_k\}_{k \in \overline{0, n_\tau^{(кр.)}}} = T_0 = \{\tau_k\}_{k \in \overline{0, 6}} = \{\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_6\} = \{0; 1; 3; 3; 5; 7; 8\}$, соответствующий событиям $\{1; 2; 4; 5; 6; 8; 9\}$ критического пути.

Для сформированной сетевой модели на основании найденного критического пути и соответствующего ему массива длительности исполнения работ-операций решается задача календарного планирования – формирования календарного графика, т. е. описания допустимых сроков для исполнения всех работ-операций. Календарный график исполнения всех работ-операций бизнес-плана в виде диаграммы Ганта приведён на рисунке 4.

По оси абсцисс отмечена длительность исполнения работ-операций проекта в неделях; по оси ординат – их номер; прямоугольниками с чёрным цветом обозначены не критические работы-операции проекта; прямоугольниками с серым цветом обозначены критические работы-операции; прямоугольниками со штрихом обозначены свободные резервы времени для исполнения работ-операций.

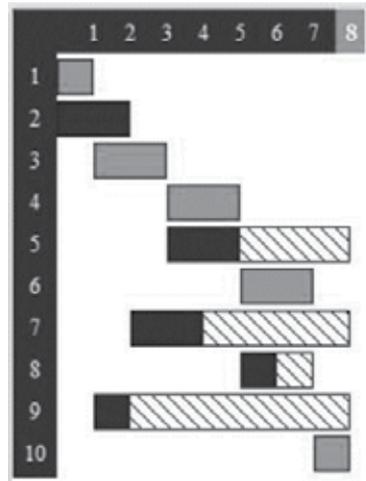


Рис. 4. Календарный график реализации процессов бизнес-планирования ($\tau = 0$)
Fig. 4. Schedule for the implementation of business planning processes ($\tau = 0$)

На *третьем этапе* в предлагаемой интеллектуальной программной системе для сформированной сетевой модели оптимизируется адаптивное управление процессами рассматриваемого бизнес-плана на основе метода, изложенного в работе [1].

Отметим, что в процессе реализации бизнес-плана все не критические работы-операции выполняются в наименее ранние сроки, предписанные им текущим календарным графиком. Это допущение не ограничивает используемый метод, а сделано только для сокращения описания процедуры оптимизации адаптивного управления.

Учитывая, что в начальный период времени, т. е. при $\tau = \tau_0 = 0$, не происходит задержки выполнения работ-операций, для которых наиболее поздним сроком их исполнения является начало периода времени $\tau_1 = 1$, то при применении к рассматриваемому процессу бизнес-планирования нового метода оптимизации адаптивного управления реализацией проектов, описанного в работе [1], формируется отвечающая сложившейся ситуации τ_1 -позиция ($\tau_1 = 1$) проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} \in P(\tau_1)$, где $P(\tau_1)$ – множество всех допустимых τ_1 -позиций [1], а множество работ-операций $\bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau) = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0)\}$ есть множество, состоящее из двух элементов, т. е. $m_{\tau_1} = 2 < n_0 = 10$. При этом $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1)\}\} \neq p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} \in P(\tau_1)$, т. е. $p(\tau_1) \in P(\tau_1) \setminus \{p^{(e)}(\tau_1)\}$ и, следовательно, не является оптимальной τ_1 -позицией, так как в наборе работ-операций $\{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0)\}$ к началу исполнения периода времени $\tau_1 = 1$ работа $R_2(0)$ выполнена только частично (при условии её исполнения в наименее ранние сроки) [1], а именно выполнена только соответствующая её часть $\tilde{R}_2(0)$, где $\tilde{R}_2(\tau_1) = \tilde{R}_2(0) \cup R_2(0) = R_2(0)$, а $\tilde{R}_2(0)$ – оставшаяся для выполнения часть этой работы. Обозначим: $\tilde{\Delta}_2(\tau_1) = \tilde{\Delta}_2(0) = 1$ время в неделях, затраченное на выполнение работы $\tilde{R}_2(0)$, а через время $\tilde{\Delta}_2(\tau_1) = \tilde{\Delta}_2(0) = 1$ в неделях, необходимое для выполнения работы $\tilde{R}_2(0)$. Определим набор $\tilde{R}(\tau_1) = \{\tilde{R}_1(\tau_1), \tilde{R}_2(\tau_1), \dots, \tilde{R}_{l_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\tilde{R}_1(\tau_1)\} = \{\tilde{R}_2(0)\}$, который содержит незавершённую часть работы-операции $R_2(\tau_1) = R_2(0)$, где $l_{\tau_1} = 1$.

В соответствии с определённой в используемом методе стратегией оптимального адаптивного управления проектами $U_a^{(e)} \in U_a$ (где U_a есть множество всех допустимых стратегий

адаптивного управления) для рассматриваемого процесса бизнес-планирования и реализованной τ_1 -позицией $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{R_1(0), R_2(0)\}\} \in \{P(\tau_1) \setminus \{p^{(e)}(\tau_1)\}\}$ имеем:

$$\begin{aligned} U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) &= R(\tau_1) = \bar{R}(\tau_1) \cup \{R_0 \setminus \bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} = \\ &= \{\bar{R}_2(0)\} \cup \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\} \setminus \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \\ &= \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \dots, R_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_2(0), R_3(0), \dots, R_{10}(0)\} = R_{\tau_1}, \end{aligned}$$

где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} + l_{\tau_1} = 10 - 2 + 1 = 9$. Тогда, учитывая, что $R(\tau_1) = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \dots, R_9(\tau_1)\} = R_{\tau_1} \neq \emptyset$, полагается: $s := s + 1$; $t_s := r_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p(\tau_1)$; на основе данных, содержащихся в массиве $A(\tau) = \{A_1(\tau), A_2(\tau), \dots, A_{10}(\tau)\} = \{A_1(0), A_2(0), \dots, A_{10}(0)\} = A_\tau$, вычисляется соответствующий массиву работ-операций $R(\tau_1)$ новый массив длительности исполнения работ-операций

$$A(\tau_1) = \{A_1(\tau_1), A_2(\tau_1), \dots, A_9(\tau_1)\} = \{\bar{A}_2(0), A_3(0), \dots, A_{10}(0)\} = A_{\tau_1},$$

отвечающий новому периоду времени $\tau = \tau_1$; полагается $\tau := \tau_1 = 1$.

Для периода времени $\tau = 1$ в рассматриваемой сетевой модели новый критический путь будет частью критического пути, изображённого на рисунке 3, его длительность составляет семь недель, и он состоит из набора работ-операций: $\{R_3(\tau), F_4(\tau), R_4(\tau), R_6(\tau), R_{10}(\tau)\} = \{R_3(0), F_4(0), R_4(0), R_6(0), R_{10}(0)\}$.

В результате сформирован критический путь $R^{(сп.)}(\tau) = \{R_1^{(сп.)}(\tau; \tau_1), R_2^{(сп.)}(\tau_1; \tau_2), \dots,$

$$R_{n_\tau^{(сп.)}}^{(сп.)}(\tau_{n_\tau^{(сп.)}-1}; \tau_{n_\tau^{(сп.)}})) = R_\tau^{(сп.)} = \{R_1^{(сп.)}(1; 3), R_2^{(сп.)}(3; 3), R_3^{(сп.)}(3; 5), R_4^{(сп.)}(5; 7), R_5^{(сп.)}(7; 8)\},$$

где $n_\tau^{(сп.)} = 5$. Длительность реализации сформированного критического пути $R_\tau^{(сп.)}$ определяет критическое время $T_\tau^{(e)} = T_0^{(e)} = \tau + 7 = 8$, т. е. минимальное время, необходимое для выполнения всех работ-операций, образующих весь комплекс мероприятий для реализации процессов бизнес-планирования в целом. Новый календарный график будет частью графика, сформированного изначально и изображённого на рисунке 4. Далее формируется целочисленный массив периодов времени

$$T_\tau = \{\tau_k\}_{k \in 0, n_\tau^{(сп.)}} = \{\tau_k\}_{k \in 0, 5} = \{\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_5\} = \{1; 3; 3; 5; 7; 8\},$$

соответствующий событиям $\{2; 4; 5; 6; 8; 9\}$ критического пути, где $\tau_0 = \tau_1 = 1$.

В период времени $\tau = \tau_0 = 1$ также не происходит задержка выполнения работ-операций, наиболее поздним сроком исполнения которых является начало периода времени $\tau_1 = 3$, и формируется отвечающая сложившейся ситуации τ_1 -позиция $\tau_1 = 3$ проекта

$p(\tau_1) = \{\tau_1, \bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} \in P(\tau_1)$, где множество работ-операций

$$\bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau) = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \bar{R}_3(\tau_1), \bar{R}_4(\tau_1), \bar{R}_5(\tau_1)\}$$

есть множество, состоящее из пяти элементов, т. е. $m_{\tau_1} = 5 < n_0 = 10$. При этом

$$p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \bar{R}_3(\tau_1), \bar{R}_4(\tau_1), \bar{R}_5(\tau_1)\}\} \neq$$

$$\neq p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), R_3^{(e)}(\tau_1), R_4^{(e)}(\tau_1), R_5^{(e)}(\tau_1)\}\} = \\ = \{\tau_1, \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | \mathbf{R}_0, \mathbf{T}_\tau)\} \in \mathbf{P}(\tau_1), \text{ т.е. } p(\tau_1) \in \{\mathbf{P}(\tau_1) \setminus \{p^{(e)}(\tau_1)\}\}$$

и, следовательно, не является оптимальной τ_1 -позицией, так как в наборе работ-операций

$$\{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \bar{R}_3(\tau_1), \bar{R}_4(\tau_1), \bar{R}_5(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), R_3(0), R_7(0), R_9(0)\}$$

к началу исполнения периода времени $\tau_1=3$ работа $R_7(0)$ выполнена только частично (при условии её исполнения в наименее ранние сроки) [1], а именно выполнена только соответствующая её часть $\tilde{R}_7(0)$, где $\bar{R}_7(\tau_1) = \tilde{R}_7(0) \cup \bar{R}_7(0) = R_7(0)$, а $\bar{R}_7(0)$ – оставшаяся для выполнения часть этой работы. Обозначим: $\tilde{\Delta}_7(\tau_1) = \tilde{\Delta}_7(0) = 1$ время в неделях, затраченное на выполнение работы $\tilde{R}_7(0)$, а через $\bar{\Delta}_7(\tau_1) = \bar{\Delta}_7(0) = 1$ время в неделях, необходимое для выполнения работы $R_7(0)$.

$$\text{Определим набор } \bar{\mathbf{R}}(\tau_1) = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_1(\tau_1)\} = \{\bar{R}_7(0)\},$$

который содержит незавершённую часть работы-операции $\bar{R}_7(\tau_1) = R_7(0)$, где $l_{\tau_1} = 1$.

В соответствии с определённой в используемом методе стратегией оптимального адаптивного управления $U_a^{(e)} \in U_a$, для реализовавшейся τ_1 -позиции

$$p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \bar{R}_3(\tau_1), \bar{R}_4(\tau_1), \bar{R}_5(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{R_1(0), R_2(0),$$

$$R_3(0), R_7(0), R_9(0)\}\} \in \{\mathbf{P}(\tau_1) \setminus \{p^{(e)}(\tau_1)\}\} \text{ имеем:}$$

$$U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) = \mathbf{R}(\tau_1) = \bar{\mathbf{R}}(\tau_1) \cup \{\mathbf{R}_0 \setminus \bar{\mathbf{R}}^{(e)}(\tau_1 | \mathbf{R}_0, \mathbf{T}_\tau)\} =$$

$$= \{\bar{R}_7(0)\} \cup \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\} \setminus \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} =$$

$$= \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \dots, R_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{R_4(0), R_5(0), R_6(0), \bar{R}_7(0), R_8(0), R_{10}(0)\} = \mathbf{R}_{\tau_1},$$

где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} + l_{\tau_1} = 10 - 5 + 1 = 6$. Тогда, учитывая, что $\mathbf{R}(\tau_1) = \{R_1(\tau_1),$

$$R_2(\tau_1), \dots, R_6(\tau_1)\} = \mathbf{R}_{\tau_1} \neq \emptyset, \text{ полагается: } s := s + 1; t_s := \tau_1; p_a^{(e)}(t_s) := p(\tau_1); \text{ на}$$

основе данных, содержащихся в массиве $\mathbf{A}(\tau) = \{A_1(\tau), A_2(\tau), \dots, A_9(\tau)\} =$

$$= \{\bar{A}_2(0), A_3(0), \dots, A_{10}(0)\} = \mathbf{A}_\tau, \text{ вычисляется соответствующий массиву работ-операций } \mathbf{R}(\tau_1)$$

новый массив длительности исполнения работ-операций

$$\mathbf{A}(\tau_1) = \{A_1(\tau_1), A_2(\tau_1), \dots, A_6(\tau_1)\} = \{A_4(0), A_5(0), A_6(0), \bar{A}_7(0), A_8(0), A_{10}(0)\} = \mathbf{A}_{\tau_1}, \text{ отвечающий но-}$$

вому периоду времени $\tau = \tau_1$; полагается $\tau := \tau_1 = 3$.

Для периода времени $\tau = 3$ в рассматриваемой сетевой модели новый критический путь будет опять частью критического пути, изображённого на рисунке 3, его длительность составляет пять недель, и он состоит из набора работ-операций: $\{F_4(\tau), R_4(\tau), R_6(\tau), R_{10}(\tau)\} = \{F_4(0), R_4(0), R_6(0), R_{10}(0)\}$. В результате сформирован критический путь

$$\mathbf{R}^{(сп.)}(\tau) = \{R_1^{(сп.)}(\tau; \tau_1), R_2^{(сп.)}(\tau_1; \tau_2), \dots,$$

$$R_{n_{\tau}^{(сп.)}}^{(сп.)}(\tau_{n_{\tau}^{(сп.)}-1}; \tau_{n_{\tau}^{(сп.)}}))\} = \mathbf{R}_\tau^{(сп.)} = \{R_1^{(сп.)}(3;3), R_2^{(сп.)}(3;5), R_3^{(сп.)}(5;7), R_4^{(сп.)}(7;8)\} ,$$

где $n_{\tau}^{(кр.)}=4$, длительность реализации которого определяет критическое время

$$T_{\tau}^{(e)} = T_0^{(e)} = \tau + 5 = 8.$$

Новый календарный график будет также частью графика, сформированного изначально и изображённого на рисунке 4. Далее формируется целочисленный массив

$$T_{\tau} = \{\tau_k\}_{k \in 0, n_{\tau}^{(кр.)}} = \{\tau_k\}_{k \in 0, 4} = \{\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_4\} = \{3; 3; 5; 7; 8\}, \text{ соответствующий событиям } \{4; 5; 6; 8; 9\}$$

критического пути.

Учитывая, что между событиями под номерами 4 и 5 имеется фиктивная работа-операция $F_4(\tau) = F_4(0)$ и $\tau = \tau_0 = \tau_1 = 3$, для управления оставшимися процессами бизнес-планирования рассматривается уже целочисленный массив

$$T_{\tau} = \{\tau_k\}_{k \in 0, n_{\tau}^{(кр.)}-1} = \{\tau_k\}_{k \in 0, 3} = \{\tau_0, \tau_1, \tau_2, \tau_3\} = \{3; 5; 7; 8\}, \text{ соответствующий событиям } \{5; 6; 8; 9\}$$

критического пути.

Далее, при выполнении работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$ – «разработка меню» шеф-повар из команды ресторатора, который участвовал в реализации бизнес-проекта, внезапно покинул его, разработав за первую неделю только часть необходимого меню, которую обозначим как работу-операцию $\tilde{R}_4(\tau) = \tilde{R}_4(0) \subset R_4(0) = R_4(\tau)$. При этом арендные каникулы для предпринимателя заканчивались и ему требовалось действовать срочно, чтобы уменьшить длительность простоя при реализации разработанного бизнес-плана. В результате, простой, который условно обозначим как задержку $Z_4(\tau) = Z_4(0)$, не требующую ресурсов для исполнения, длился только одну неделю и выполнение работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$ в целом было произведено с задержкой на одну неделю – путём выполнения оставшейся части этой работы, которую обозначим как $\bar{R}_4(\tau) = \bar{R}_4(0) \subset R_4(0) = R_4(\tau)$. Тогда работа-операция $R_4(\tau) = \tilde{R}_4(\tau) \cup \bar{R}_4(\tau) = R_4(0)$, а исполнение ее части $\bar{R}_4(\tau) = \bar{R}_4(0)$ началось в период времени $\tau_1 := \tau + \tilde{\Delta}_4(0) + \delta_4(0) = 3 + 1 + 1 = 5$, где $\delta_4(0) = 1$ – значение величины задержки времени для исполнения работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$ в неделях; $\tilde{\Delta}_4(0) = 1$ – значение величины времени, необходимого для исполнения работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$ в неделях. Обозначим через $\underline{\Delta}_4(0) = 1$ – значение величины времени, необходимого для исполнения работы-операции $\bar{R}_4(\tau) = \bar{R}_4(0)$ в неделях, при этом имеем: $\Delta_4(0) = \tilde{\Delta}_4(0) + \underline{\Delta}_4(0) = 1 + 1 = 2$. В этом случае длительность реализации всего проекта в целом увеличится на одну неделю и составит в итоге девять недель, так как имеем $T_{\tau}^{(e)} = \tau + 6 = 9 = \tau + 4 = 5 + 4 = 9 = T_0^{(e)+1}$. При этом период времени $\tau + 1 = 4$, к началу которого завершилась реализация работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$, соответствует новому событию под номером А5, определённое как промежуточное между событиями под номерами 5 и А6 и начало задержки исполнения работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$, т.е. исполнения задержки $Z_4(\tau) = Z_4(0)$, а событие А6 соответствует завершению этой задержки. Далее, началу периода времени $\tau + 1 = 5$ – завершению задержки $Z_4(\tau) = Z_4(0)$, соответствует новое событие под номером А6, промежуточное между событиями под номерами А5 и 6, причем, ребро, соответствующее задержке $Z_4(\tau) = Z_4(0)$ выходит из события А5 и входит в событие А6, а ребро, соответствующее работе-операции $\bar{R}_4(\tau)$, выходит из события А6 и входит в событие под номером 6 (рис. 5).

Учитывая возникшую задержку при выполнении работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$, на основании используемого метода формируется отвечающая сложившейся ситуации τ_1 -позиция $(\tau_1 = 5)$ проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \mathbf{R}(\tau_1 | \mathbf{R}_0, T_{\tau})\} \in \mathbf{P}(\tau_1)$, где множество работ-операций $\bar{\mathbf{R}}(\tau_1 | \mathbf{R}_0, T_{\tau}) = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_7(\tau_1)\}$ есть множество, состоящее из семи элементов, т. е. $m_{\tau_1} = 7 < n_0 = 10$. При этом $p(\tau) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_7(\tau_1)\}\} \neq p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \dots, R_7^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \bar{\mathbf{R}}^{(e)}(\tau_1 | \mathbf{R}_0, T_{\tau})\} \in \mathbf{P}(\tau_1)$, т. е.

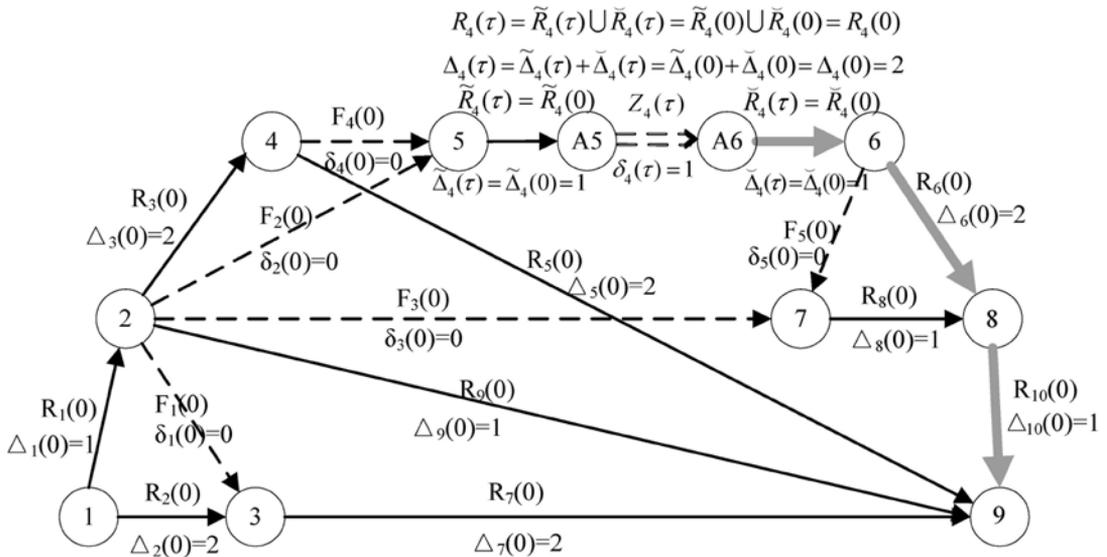


Рис. 5. Критический путь в сетевой модели реализации процессов бизнес-планирования ($\tau=5$)

Fig. 5. The critical path in the network model for the implementation of business planning processes ($\tau=5$)

$p(\tau_1) \in \{P(\tau_1) \setminus \{p^{(e)}(\tau_1)\}\}$ и, следовательно, не является оптимальной τ_1 -позицией, так как набор работ-операций $\{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_7(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_5(0), R_7(0), R_9(0)\}$ есть набор работ, в котором не все работы-операции выполнены к началу периода времени $\tau_1=5$ при условии их реализации в наименее ранние сроки, определенные для них сформированным календарным графиком, а именно, работа-операция $\bar{R}_4(\tau_1) = \tilde{R}_4(\tau_1) \cup \bar{R}_4(\tau_1) = \tilde{R}_4(0) \cup \bar{R}_4(0) = R_4(0)$, и к периоду времени $\tau_1=5$ выполнена только часть этой работы – $\tilde{R}_4(\tau_1) = \tilde{R}_4(0)$, и работа $\bar{R}_4(\tau_1) = \bar{R}_4(0)$ является оставшейся для выполнения ее частью. Определим набор $\bar{R}(\tau_1) = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{l_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_i(\tau_1)\} = \{\bar{R}_i(0)\}$ который содержит незавершенную часть работы-операции $\bar{R}_4(\tau_1) = R_4(0)$, где $l_{\tau_1} = 1$.

Далее, в соответствии с определенной в используемом методе стратегией оптимального адаптивного управления реализацией бизнес-плана $U_a^{(e)} \in U_a$, для реализовавшейся τ_1 -позиции $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_6(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{R_1(0), \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_5(0), R_7(0), R_9(0)\}\} \in \{P(\tau_1) \setminus \{p^{(e)}(\tau_1)\}\}$ полагаем:

$$U_a^{(e)}(p(\tau_1)) = R(\tau_1) = \bar{R}(\tau_1) \cup \{R_0 \setminus \bar{R}(\tau_1 | R_0, T_r)\} = \bar{R}(\tau_1 | R_0, T_r) =$$

$$= \bar{R}_4(0) \cup \{\{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\} \setminus \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\}\} =$$

$$= \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \dots, R_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_4(0), R_6(0), R_8(0), R_{10}(0)\} = R_{\tau_1},$$

где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} + l_{\tau_1} = 10 - 7 + 1 = 4$. Тогда с Учетом $R(\tau_1) = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), R_3(\tau_1), R_4(\tau_1)\} = R_{\tau_1} \neq \emptyset$ полагаются: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p(\tau_1)$; на основе данных, содержащихся в массиве $A(\tau) = \{A_1(\tau), A_2(\tau), \dots, A_6(\tau)\} = \{A_4(0), A_5(0), A_6(0), A_7(0), A_8(0), A_{10}(0)\} = A_{\tau}$, вычисляется соответствующий массиву работ-операций $R(\tau_1) = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), R_3(\tau_1), R_4(\tau_1)\} = \{\bar{R}_4(0), R_6(0), R_8(0), R_{10}(0)\} = R_{\tau_1}$ массив длительности исполнения работ-операций $A(\tau_1) = \{A_1(\tau_1), A_2(\tau_1), A_3(\tau_1), A_4(\tau_1)\} = \{A_4(0), A_6(0), A_8(0), A_{10}(0)\}$, отвечающий новому периоду времени $\tau = \tau_1$; полагаются $\tau := \tau_1 = 5$.

Далее, посредством предложенного в работе [1] нового метода оптимизации адаптивного управления в рассматриваемом процессе бизнес-планирования для периода времени $\tau=5$ формируется новый критический путь

$$R^{(kp)}(\tau) = \{R_1^{(kp)}(\tau; \tau_1), R_2^{(kp)}(\tau_1; \tau_2), \dots, R_{n_{\tau}^{(kp)}}^{(kp)}(\tau_{n_{\tau}^{(kp)}-1}; \tau_{n_{\tau}^{(kp)}})\} = R_{\tau}^{(kp)} = \{R_1^{(kp)}(5;6),$$

$R_2^{(kp)}(6;8), R_3^{(kp)}(8;9)\}$, где $n_{\tau}^{(kp)} = 3$, состоящий из последовательности работ-операций

$\{\bar{R}_4(0), R_6(0), R_{10}(0)\}$, и его длительность составляет четыре недели, т. е. новое критическое время $T_{\tau}^{(e)} = \tau + 4 = 5 + 4 = 9$. Новый критический путь в сетевой модели рассматриваемого бизнес-проекта с учетом задержки при выполнении работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$ представлен на рисунке 5.

На основании сформированного критического пути $R^{(kp)}(\tau)$ производится расчет нового календарного графика реализации всех работ для рассматриваемого бизнес-проекта, отвечающего сложившейся ситуации, т. е. τ -позиции проекта $p(\tau) = \{\tau, \{\bar{R}_1(\tau), \bar{R}_2(\tau), \dots, \bar{R}_7(\tau)\}\} = \{\tau, \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_3(0), R_7(0), R_9(0)\}\}$ (рис. 6), в которой содержатся все работы-операции, реализовавшиеся полностью или частично к периоду времени $\tau=5$. Расчет описывает допустимые сроки исполнения всех оставшихся работ-операций $R_{\tau_1} = \{\bar{R}_4(0), R_6(0), R_8(0), R_{10}(0)\}$. Обозначения на рисунке 6 такие же, как на рисунке 2, и работа $R_1(\tau) = \bar{R}_4(0)$ – оставшаяся часть работы-операции $\bar{R}_4(\tau) = R_4(0)$ – является критической работой и отмечена светло-серым цветом.

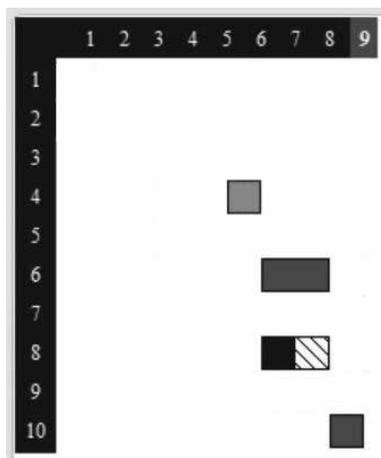


Рис. 6. Календарный график реализации процессов бизнес-планирования ($\tau=5$)

Fig. 6. Schedule for the implementation of business planning processes ($\tau=5$)

Далее формируется целочисленный массив $T_{\tau} = \{\tau_k\}_{k \in 0, n_{\tau}^{(kp)}} = \{\tau_k\}_{k \in 0, 3} = \{5; 6; 8; 9\}$, соответствующий событиям $\{A6;6;8;9\}$ критического пути.

В период времени $\tau = \tau_0 = 5$, отвечающий 6-й неделе реализации процессов бизнес-планирования, не происходит задержки выполнения работ-операций, наиболее поздним сроком исполнения которых является начало периода времени $\tau_1 = 6$, и формируется, отвечающая сложившейся ситуации τ_1 -позиция ($\tau_1 = 6$) проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \bar{R}(\tau_1 | R_0, T_{\tau})\} \in P(\tau_1)$, где множество работ-операций $\bar{R}(\tau_1 | R_0, T_{\tau}) = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_7(\tau_1)\}$ есть множество, состоящее из семи элементов, то есть $m_{\tau_1} = 7 < n_0 = 10$.

При этом $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_7(\tau_1)\}\} = p^{(e)}(\tau_1) =$

$= \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \dots, R_7^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_{\tau})\} \in P(\tau_1)$, так как набор работ-операций

$\{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_7(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_5(0), R_7(0), R_9(0)\}$ есть такой, и только такой набор работ, которые и должны быть выполнены к периоду времени $\tau_1=6$, при условии их реализации в наименее ранние сроки, определенные для них сформированным новым календарным графиком.

В соответствии с определенной в методе стратегией оптимального адаптивного Управления $U_a^{(e)} \in U_a$ и сложившейся τ -позицией

$$p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \dots, R_7^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_7(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_5(0), R_7(0), R_9(0)\}\} \in P(\tau_1) \text{ имеем:}$$

$$\begin{aligned} U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) &= R^{(e)}(\tau_1) = \{R_0 \setminus \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_r)\} = \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_r) = \\ &= \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\} \setminus \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \\ &= \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \dots, R_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{R_6(0), R_8(0), R_{10}(0)\} = R_{\tau_1}, \end{aligned}$$

где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} = 10 - 7 = 3$. Тогда, учитывая, что $R^{(e)}(\tau_1) = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1)\} = R_{\tau_1} \neq \emptyset$, полагается: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p^{(e)}(\tau_1)$; на основе данных, содержащихся в массиве $A(\tau) = \{A_1(\tau), A_2(\tau), A_3(\tau), A_4(\tau)\} = \{\bar{A}_4(0), A_6(0), A_8(0), A_{10}(0)\} = A_{\tau}$, вычисляется соответствующий массиву работ-операций $R^{(e)}(\tau_1)$ новый массив длительности исполнения работ-операций $A(\tau_1) = \{A_1(\tau_1), A_2(\tau_1), A_3(\tau_1)\} = \{A_6(0), A_8(0), A_{10}(0)\} = A_{\tau_1}$, отвечающий новому периоду времени $\tau = \tau_1$; полагается $\tau := \tau_1 = 6$.

Для периода времени $\tau=6$, соответствующего 7-й и 8-й неделям реализации процессов бизнес-планирования, в рассматриваемой сетевой модели новый критический путь будет частью предыдущего критического пути и (рис. 7), его длительность составляет три недели, и он состоит из набора работ-операций: $R^{(kp)}(\tau) = \{R_1^{(kp)}(\tau; \tau_1), R_2^{(kp)}(\tau_1; \tau_2), \dots, R_{n_{\tau}^{(kp)}}(\tau_{s^{(kp)}-1}; \tau_{n_{\tau}^{(kp)}})\} = R_{\tau}^{(kp)} = \{R_1^{(kp)}(6; 8), R_2^{(kp)}(8; 9)\}$, где $n_{\tau}^{(kp)} = 2$, длительность реализации которого определяет критическое время $T_{\tau}^{(e)} = \tau + 3 = 6 + 3 = 9$.

Новый календарный график изображен на рис. 8.

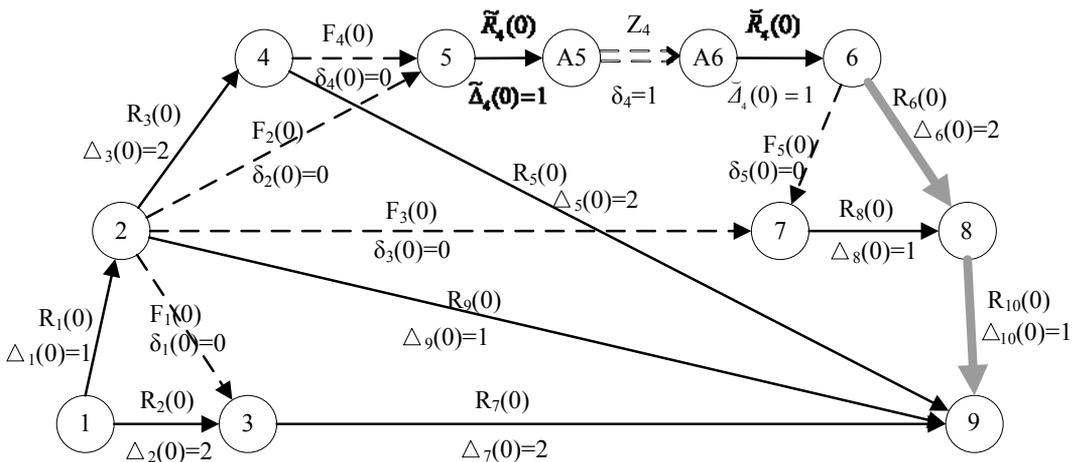


Рис. 7. Критический путь в сетевой модели реализации процессов бизнес-планирования ($\tau=6$)

Fig. 7. The critical path in the network model of process implementation business planning ($\tau=6$)

Далее формируется целочисленный массив $T_\tau = \{\tau_k\}_{k \in 0, n_\tau} = \{\tau_k\}_{k \in 0, 2} = \{\tau_0, \tau_1, \tau_2\} = \{6; 8; 9\}$, соответствующий событиям $\{6; 8; 9\}$ нового критического пути.

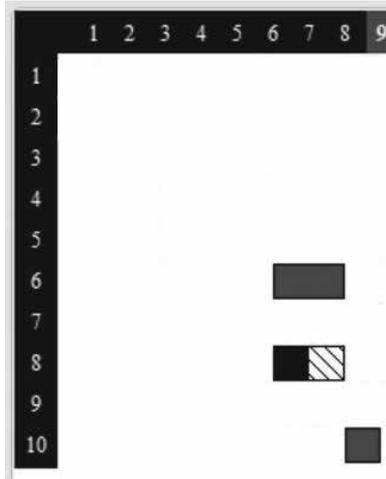


Рис. 8. Календарный график реализации процессов бизнес-планирования ($\tau=6$)

Fig. 8. Schedule for the implementation of business planning processes ($\tau=6$)

В период времени $\tau = \tau_0 = 6$, соответствующий 7-й и 8-й неделям реализации процессов бизнес-планирования, также не происходит задержки выполнения работ-операций, наиболее поздним сроком исполнения которых является время $\tau_1 = 8$. Формируется отвечающая сложившейся ситуации τ_1 -позиция ($\tau_1=8$) проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} \in P(\tau_1)$, где множество работ-операций $\bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau) = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_9(\tau_1)\}$ есть множество, состоящее из девяти элементов, т. е. $m_{\tau_1} = 9 < n_0 = 10$.

При этом $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_9(\tau_1)\}\} = p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \dots, R_9^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} \in P(\tau_1)$ т.к. набор работ-операций $\{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_9(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_9(0)\}$ есть такой, и только такой набор работ, которые и должны быть выполнены к периоду времени $\tau_1 = 8$ при условии их реализации в наименее ранние сроки, определённые для них сформированным новым календарным графиком.

В соответствии с определённой в используемом методе стратегией оптимального адаптивного управления $U_a^{(e)} \in U_a$ реализовавшейся τ_1 -позицией

$$p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \dots, R_9^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \dots,$$

$$\bar{R}_9(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_9(0)\}\} \in P(\tau_1), \text{ имеем:}$$

$$U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) = R^{(e)}(\tau_1) = \{R_0 \setminus \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} = \hat{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_\tau) =$$

$$= \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\} \setminus \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} =$$

$$= \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \dots, R_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{R_{10}(0)\} = R_{\tau_1},$$

где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} = 10 - 9 = 1$; Тогда, учитывая, что $R^{(e)}(\tau_1) = \{R_1(\tau_1)\} = R_{\tau_1} \neq \emptyset$, то полагается: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p^{(e)}(\tau_1)$; на основе данных, содержащихся в массиве $A(\tau) = \{A_1(\tau), \dots, A_2(\tau), A_3(\tau)\} = \{A_6(0), A_8(0), A_{10}(0)\} = A_\tau$, вычисляется соответствующий массиву работ-операций $R^{(e)}(\tau_1)$ новый массив длительности исполнения работ-операций $A(\tau_1) = \{A_1(\tau_1)\} = \{A_{10}(0)\} = A_{\tau_1}$,

отвечающий новому периоду времени $\tau = \tau_1$; полагается $\tau := \tau_1 = 8$.

Для периода времени $\tau=8$, соответствующего 9-й неделе реализации процессов бизнес-планирования, в рассматриваемой сетевой модели новый критический путь будет опять частью критического пути, изображенного на рисунке 7, его длительность составляет одну неделю и он состоит из одной работы-операции $\{R_{10}(\tau)\} = \{R_{10}(0)\}$. В результате сформирован критический путь $R^{(sp.)}(\tau) = \{R_1^{(sp.)}(\tau; \tau_1), R_2^{(sp.)}(\tau_1; \tau_2), \dots, R_{n_\tau^{(sp.)}}^{(sp.)}(\tau_{n_\tau^{(sp.)}-1}; \tau_{n_\tau^{(sp.)}})\} = R_\tau^{(sp.)} = \{R_1^{(sp.)}(8; 9)\}$, где $n_\tau^{(sp.)}=1$, длительность реализации которого определяет критическое время $T_\tau^{(e)} = \tau + 1 = 8 + 1 = 9$. Новый календарный график будет частью предыдущего графика, изображенного на рисунке 8.

Далее формируется целочисленный массив $T_\tau = \{\tau_k\}_{k \in 0, n_\tau^{(sp.)}} = \{\tau_k\}_{k \in 0, 1} = \{\tau_0, \tau_1\} = \{8; 9\}$,

соответствующий событиям $\{8; 9\}$ нового критического пути.

В период времени $\tau = \tau_0 = 8$, соответствующий 9-й неделе реализации процессов бизнес-планирования, также не происходит задержка выполнения работ-операций, наиболее поздним сроком исполнения которых является период времени $\tau_1 = 9$. Формируется, отвечающая сложившейся ситуации τ_1 -позиция $(\tau_1 = 9)$ проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} \in P(\tau_1)$, где множество работ-операций $\bar{R}(\tau_1 | R_0, T_\tau) = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_1}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{10}(\tau_1)\}$ есть множество, состоящее из десяти элементов, т. е. $m_1 = 10 = n_0 = 10$. При этом $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{10}(\tau_1)\}\} = p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \dots, R_{10}^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} \in P(\tau_1)$, т.к. набор работ-операций $\{\bar{R}_1(\tau_1),$

$\bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{10}(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\} = R_0$ есть такой, и только такой набор работ, которые и должны быть выполнены к периоду времени $\tau_1 = 9$, при условии их реализации в наименее ранние сроки, определенные для них сформированным новым календарным графиком.

В соответствии с определенной в используемом методе стратегией оптимального адаптивного управления $U_a^{(e)} \in U_a$ и реализовавшейся τ_1 -позицией

$$p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \dots, R_9^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_9(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_9(0)\}\} \in P(\tau_1)$$
 имеем:

$$\begin{aligned} U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) &= R^{(e)}(\tau_1) = \{R_0 \setminus \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_\tau)\} = \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_\tau) = \\ &= \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\} \setminus \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{m_1}(\tau_1)\} = \\ &= \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \dots, R_{m_1}(\tau_1)\} = \{R_{10}(0)\} = R_{\tau_1}. \end{aligned}$$

Тогда на основании определенной в используемом методе стратегии оптимального адаптивного управления $U_a^{(e)} \in U_a$ и учитывая, что

$$\begin{aligned} \bar{R}^{(e)}(\tau_1 | R_0, T_\tau) &= \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \dots, R_{10}^{(e)}(\tau_1)\} = \{\bar{R}_1(\tau_1), \bar{R}_2(\tau_1), \dots, \bar{R}_{10}(\tau_1)\} = \\ &= \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\}, \text{ т.е. } m_{\tau_1} = n_0 = 10 \text{ и } R^{(e)}(\tau_1) = R_{\tau_1} = \emptyset, \end{aligned}$$

получается, что к периоду времени $T_\tau^{(e)} = \tau + 1 = \tau_1 = 9$ реализовались все работы-операции, описывающие рассматриваемые процессы бизнес-планирования. Следовательно, процесс оптимизации адаптивного управления, т. е. формирования и реализации стратегии $U_a^{(e)} \in U_a$,

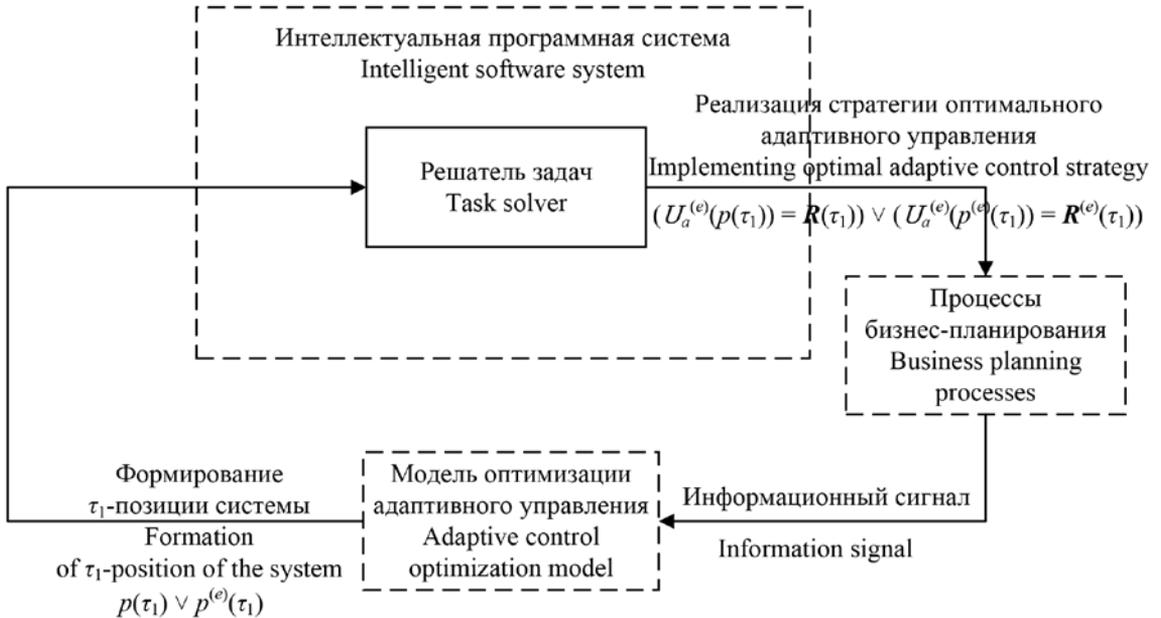


Рис. 9. Реализация оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования

Fig. 9. Implementation of the optimization of adaptive management of business planning processes

считается выполненным, полагается: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1 = 9$; $p_a^{(e)}(t_s) := p^{(e)}(\tau_1)$ и осуществляется переход на формирование итоговых результатов решения рассматриваемой задачи.

На четвертом этапе согласно п. 14 используемого нового метода [1] формируется решение рассматриваемой задачи оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования, т. е. отображение итоговых результатов, соответствующих реализовавшейся стратегии $U_a^{(e)} \in U_a$. Есть следующие данные: $R_a^{(e)} = R(0) = \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{n_0}(0)\} = \{R_1(0), R_2(0), \dots, R_{10}(0)\}$ – исходный набор работ-операций, реализующих рассматриваемые процессы бизнес-планирования; $WM_a^{(e)} = WM_a^{(e)}(R(0))$ – исходная сетевая модель, описывающая реализацию процессов бизнес-планирования; $p_a^{(e)}(t_k)$ – набор t_k -позиций $k \in \overline{1, s}$ реализации процессов бизнес-планирования, соответствующих реализации стратегии оптимального адаптивного управления бизнес-планированием $U_a^{(e)}$; $T_a^{(e)} = T_i^{(e)} = T_s^{(e)} = 9$ – оптимальное время реализации рассматриваемых процессов бизнес-планирования, соответствующее реализации стратегии оптимального адаптивного управления проектом $U_a^{(e)}$.

Полученные результаты отображаются в форме, удобной для хозяйствующего субъекта (лица, принимающего решения), оптимизирующего адаптивное управление бизнес-планированием, например, в виде таблиц, графиков или диаграмм.

Общая схема реализации оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования изображена на рис. 9.

Отметим, что если не применять предложенный метод оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования, то уже в период времени, отвечающий $\tau = 4$, когда работа-операция $R_4(\tau) = \{\tilde{R}_4(\tau) \cup \bar{R}_4(\tau)\} = R_4(0)$ реализовалась ещё не в полном объеме, а только её часть $\tilde{R}_4(\tau_1)$, осуществление рассматриваемого бизнес-проекта в соответствии с календарным графиком, разработанным для начального периода времени $\tau = 0$, приведет

$\tau=4$ к пересечению периодов исполнения, входящих в него работ $R_4(\tau)=R_4(0)$ и $R_6(\tau)=R_6(0)$, что является недопустимым из условий его реализации и приведет к неисполнению бизнес-проекта в целом.

Таким образом, из полученных результатов решения модельной задачи оптимизации адаптивного управления реализацией процессов бизнес-планирования, можно сделать общий вывод, что применение предлагаемого нового метода в разработанной авторами интеллектуальной программной системе позволяет осуществить обратную связь в форме соответствующих реакций управляющего воздействия на непредвиденные изменения ситуаций при реализации процессов и получить искомый результат – оптимальное время для исполнения бизнес-проекта в целом.

Главная форма разработанной интеллектуальной программной системы представлена на рис. 10. На рис. 11-13 приведены скриншоты некоторых экранных форм нижних уровней программной системы.



Рис. 10. Главная форма программной системы для оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования

Fig. 10. Main form of a software system for optimizing adaptive control of business planning processes

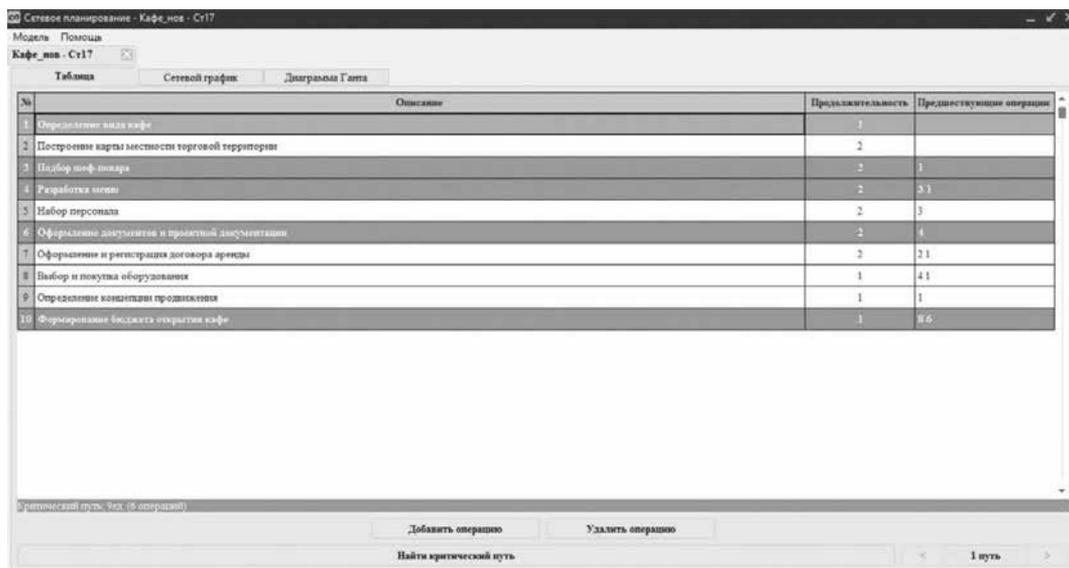


Рис. 11. Форма для ввода исходных данных в интеллектуальной программной системе

Fig. 11. Form for inputting input data in an intelligent software system

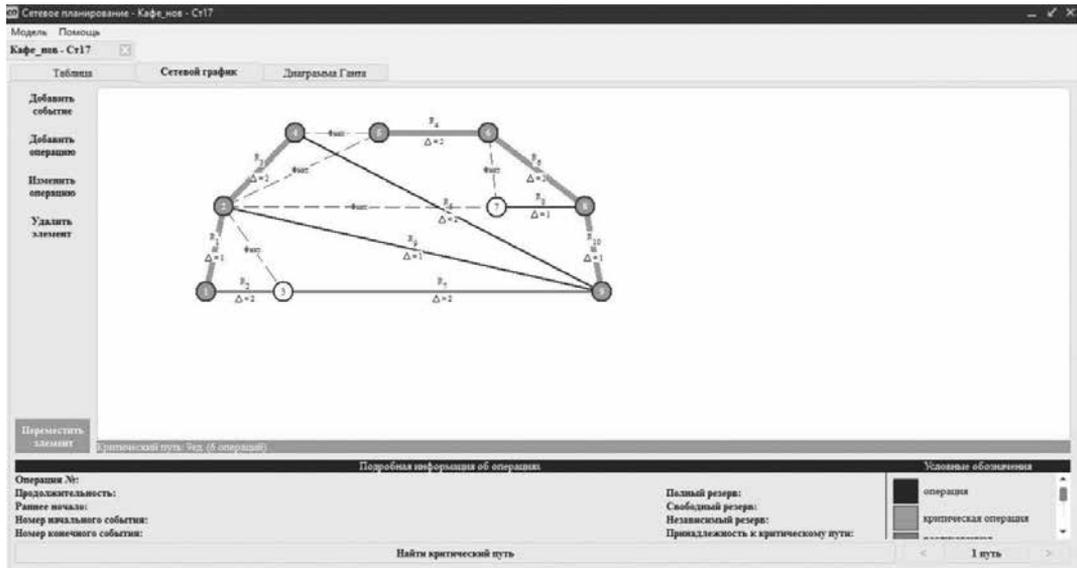


Рис. 12. Форма с построенным критическим путем сетевой модели оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования

Fig. 12. Form with a critical path constructed of a network model for optimizing adaptive control of business planning processes

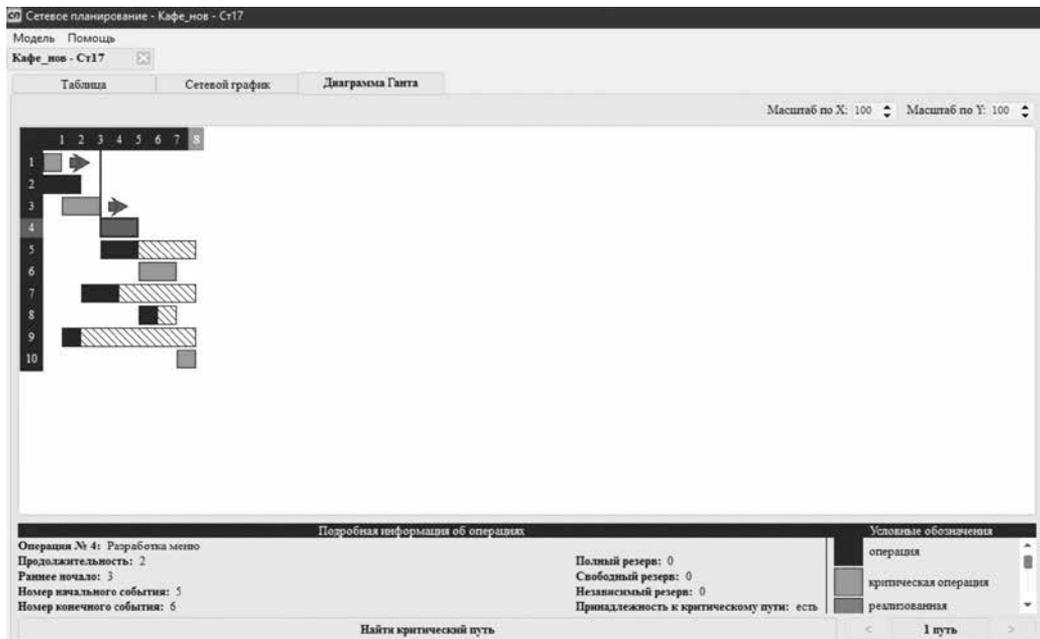


Рис. 13. Форма с изображением диаграммы Ганта сетевой модели оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования

Fig. 13. Gantt chart form of a network model for optimizing adaptive control of business planning processes

Подробному описанию структуры интеллектуальной программной системы оптимизации адаптивного управления процессами бизнес-планирования и функций входящих в нее модулей будет посвящена отдельная статья авторов.

Заключение

Реализация процессов бизнес-планирования является важным элементом функционирования любого финансово-хозяйственного объекта и для решения возникающих при этом сложных задач необходима разработка экономико-математических моделей и методов их решения, а также создание на их основе программных комплексов, автоматизирующих базовые функции и поддержку принятия управленческих решений.

В данной статье представлено описание функциональных возможностей разработанной авторами интеллектуальной программной системы, реализующей оптимизацию адаптивного управления процессами бизнес-планирования на основе нового метода, использующего сетевое экономико-математическое моделирование и технологии компьютерных экспертных систем. Предлагаемая интеллектуальная программная система реализована в среде Delphi в виде web-приложения и удобна в качестве инструментария для поддержки принятия решений при реализации сетевого экономико-математического моделирования и процессов бизнес-планирования.

Внедрение разработанной интеллектуальной программной системы хозяйствующими субъектами в практику своей работы позволит им повысить эффективность процессов формирования и реализации бизнес-проектов. Эта система может также использоваться для экспертизы качества разработанных бизнес-проектов и для тренинга.

Авторы выражают благодарность Ю.Л. Итунину за помощь в разработке программного кода системы.

Список литературы

1. *Шориков А. Ф.* Сетевая экономико-математическая модель адаптивного управления проектами / Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем: сборник материалов XIII Междунар. школы-симпозиума АМУР-2019 // под общ. ред. А. В. Сигала. Симферополь: Изд-во КФУ; ИП Корниенко А. А., 2019. С. 425–428.
2. *Шориков А. Ф., Буценко Е. В.* Прогнозирование и оптимизация результата управления инвестиционным проектированием. М.: URSS-ЛЕНАНД, 2017. – 272 с.
3. *Кофман А., Дебазей Г.* Сетевые методы планирования и их применение. М.: Прогресс, 1968. – 182 с.
4. *Таха Хемди А.* Введение в исследование операций / пер. с англ. 7-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
5. *Марселлус Д.* Программирование экспертных систем на турбо-прологе / пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1994. – 256 с.
6. *Емельянов В. А., Емельянова Н. Ю.* Теоретические основы построения и обучения гибридных интеллектуальных систем. В книге: Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты. Коллективная монография. Уфа, 2016. С. 54–69.
7. *Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A.* Application of the Hybrid Agents Technology for Control of the Construction Company // Proceedings of the International Conference on Computer Science and Applications 2016 (ICCSA 2016) part of the World Congress on Engineering and Computer Science 2016, WCECS 2016, October 19–21, 2016, San Francisco, USA. Vol. I. P. 159–164.
8. *Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A.* Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP) // Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 26–29 July, 2015. Simulation Series. Vol. 47. Issue 10. 2015. P. 345–348.
9. *Astroem K. J., Wittenmark B.* Adaptive control. 2nd edition. – Dover Publications, 2008. – 590 p.
10. *Landau I. D., Lozano R., M'Saad M., Karimi A.* Adaptive Control: Algorithms, Analysis and Applications. London: Springer, 2011. – 610 p.

Сведения об авторах

Шориков Андрей Фёдорович, ORCID 0000-0003-1255-0862, докт. физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, afshorikov@mail.ru
Буценко Елена Владимировна, ORCID 000-0003-2747-5391, канд. экон. наук, доцент, кафедра бизнес-информатики, Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия, evl@usue.ru

Статья поступила 10.04.2020, рассмотрена 16.04.2020, принята 03.05.2020

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-01-00544).

Авторы выражают благодарность Ю. Л. Итунину за помощь в разработке программного кода системы.

References

1. Shorikov A. F. *Setevaya ekonomiko-matematicheskaya model' adaptivnogo upravleniya proektami* [Network economic and mathematical model of adaptive project management]. *Analiz, modelirovanie, upravlenie, razvitiye sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: sbornik materialov XIII Mezhdunar. shkoly-simpoziuma AMUR-2019*. Ed. by A.V. Sigal. Simferopol', KFU Publ., 2019, pp. 425-428.
2. Shorikov A.F., Butsenko E.V. *Prognozirovanie i optimizatsiya rezul'tata upravleniya investitsionnym proektirovaniem* [Prediction and optimization of the results of investment design management]. Russ. ed., Moscow, URSS-LENAND Publ., 2017, 272 p. (in Russian).
3. Kofman A., Debazey G. Network planning methods and their application [Setevye metody planirovaniya i ikh primeneniye]. (Russ. ed.: Kofman A., Debazei G. Moscow, Progress Publ., 1968, 182 p.) (in Russian).
4. Taha Hemdy A. *Operations Research: An Introduction*. 7th ed. Prentice Hall Publ., 2002, 848 p. (Russ. ed.: Takha Khemdi A. Moscow, Vil'yams Publ., 2005, 912 p.) (in Russian).
5. Marcellus D. *Expert systems programming in Turbo Prolog*. Prentice Hall Inc., NJ, 1989, 266 p. (Russ. ed: Marsellus D. *Programmirovaniye ekspertnykh sistem na turbo-prologe*. Moscow, *Finansy I statistika* Publ., 1994, 256 p.).
6. Emel'yanov V.A., Emel'yanova N.Yu. *Teoreticheskie osnovy postroeniya i obucheniya gibridnykh intellektual'nykh sistem* [Theoretical foundations of the construction and training of hybrid intelligent systems]. *Aktual'nye voprosy tekhnicheskikh nauk: teoreticheskie I prakticheskie aspekty*. Ufa, 2016, pp. 54-69.
7. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Application of the Hybrid Agents Technology for Control of the Construction Company. Proceedings of the International Conference on Computer Science and Applications 2016 (ICCSA 2016) part of the World Congress on Engineering and Computer Science 2016, WCECS 2016, October 19-21, 2016, San Francisco, USA, vol.I, p. 159-164.
8. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the

Subject of Technological Logistics (WIP). Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago, USA, 26-29 July, 2015, Simulation Series, vol. 47, is. 10, 2015, pp. 345-348.

9. Astrom K.J., Wittenmark B. *Adaptive control*. 2nd edition. Dover Publications, 2008, 590 p.
10. Landau I.D., Lozano R., M'Saad M., Karimi A. *Adaptive Control: Algorithms, Analysis and Applications*. London, Springer, 2011, 610 p.

About the authors

Andrey F. Shorikov, ORCID 0000-0003-1255-0862, Dr.Sci.(Phys.-Math.), Professor, Leading Researcher, Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia, afshorikov@mail.ru

Elena V. Butsenko, ORCID 000-0003-2747-5391, Cand.Sci.(Econ.), Associate Professor, Department of Business Informatics, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia, evl@usue.ru

Received 10.04.2020, reviewed 16.04.2020, accepted 03.05.2020

Acknowledgments

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 18-01-00544)

The authors are grateful to Yu. L. Itunin for help in developing the program code of the system.

Rubrication of text information based on the voting of intellectual classifiers

M. Dli¹, O. Bulygina^{1}, A. Sokolov²*

¹ *The Branch of National Research University MPEI in Smolensk, Russia*

² *National Research University MPEI, Russia*

** baguzova_ov@mail.ru*

Abstract. The practical implementation of the concept of electronic government is one of the priorities of Russian state policy. The organization of effective interaction between authorities and citizens is an important element of this concept. In addition to providing public services, it should include the processing of electronic appeals (applications, complaints, suggestions, etc.). Research has shown that the speed and efficiency of appeal processing largely depend on the quality of determining the thematic rubric, i.e. solving the rubrication task. The analysis of citizens' appeals received by the e-mail and official websites of public authorities has revealed several specific features (small size, errors in the text, free presentation style, description of several problems) that do not allow the successful application of traditional approaches to their rubrication. To solve this problem, it has been proposed to use various methods of intellectual analysis of unstructured text data (in particular, fuzzy logical algorithms, fuzzy decision trees, fuzzy pyramidal networks, neuro-fuzzy classifiers, convolutional and recurrent neural networks). The article describes the conditions of the applicability of six intellectual classifiers proposed for rubricating the electronic citizens' appeals. They are based on such factors as the size of the document, the degree of intersection of thematic rubrics, the dynamics of their thesauruses, and the amount of accumulated statistical information. For a situation where a specific model cannot make an unambiguous choice of a thematic rubric, it is proposed to use the classifier voting method, which can significantly reduce the probability of rubrication errors based on the weighted aggregation of solutions obtained by several models selected using fuzzy inference.

Keywords: electronic citizens' appeals, rubrication of text documents, intellectual classifiers, classifier voting

For citation: Dli M., Bulygina O., Sokolov A. Rubrication of text information based on the voting of intellectual classifiers. *Prikladnaya informatika = Journal of Applied Informatics*, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 29-36. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-29-36

Рубрицирование текстовой информации на основе голосования интеллектуальных классификаторов

М. И. Дли¹, О. В. Булыгина^{1*}, А. М. Соколов²

¹ Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Россия

² Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия

* baguzova_ov@mail.ru

Аннотация. Одним из приоритетов государственной политики России выступает практическая реализация концепции электронного правительства. Важным элементом этой концепции является организация эффективного взаимодействия органов власти и граждан, которая, помимо оказания государственных услуг, должна включать в себя обработку электронных обращений (заявлений, жалоб, предложений и т.п.). Исследования показывали, что скорость и оперативность обработки обращений в значительной степени зависит от качества определения тематических рубрик, т.е. решения задачи рубрицирования. Проведенный анализ обращений граждан, поступающих на электронную почту и официальные сайты различных органов власти, выявил ряд специфических особенностей (небольшой размер, наличие ошибок в тексте, свободный стиль изложения, рассмотрение нескольких проблем), которые не позволяют успешно применять традиционные подходы к их рубрицированию. Для решения указанной проблемы было предложено использовать различные методы интеллектуального анализа неструктурированных текстовых данных (в частности, нечетко-логические алгоритмы, нечеткие деревья решений, нечеткие пирамидальные сети, нейро-нечеткие классификаторы, сверточные и рекуррентные нейронные сети). В статье описаны условия применимости шести интеллектуальных классификаторов, предложенных для рубрицирования электронных обращений граждан. В их основе лежат такие факторы, как размер документа, степень пересечения тематических рубрик, динамичность их тезаурусов и объемом накопленной статистической информации. Для ситуации, когда конкретная модель не может произвести однозначный выбор тематической рубрики, предложено использовать метод голосования классификаторов, который позволяет существенно снизить вероятность ошибок рубрицирования на основе взвешенного агрегирования решений, полученных несколькими моделями, отобранными с помощью нечетко-логического вывода.

Ключевые слова: электронные обращения граждан, рубрицирование текстовых документов, интеллектуальные классификаторы, голосование классификаторов

Для цитирования: Дли М. И., Булыгина О. В., Соколов А. М. Рубрицирование текстовой информации на основе голосования интеллектуальных классификаторов // Прикладная информатика. 2020. Т.15. №5. С. 29-36. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-29-36

Introduction

Currently, the key priority in the development of public administration in the Russian Federation is the practical implementation of the concept of electronic government (e-Government). It

consists of the active introduction of information and communication technologies and intelligent solutions into activities of federal and regional government bodies.

The concept of e-Government appeared at the beginning of the XXI century in developed

countries with a high level of informatization of the socio-economic sphere and public authorities. Its main objective was to increase the efficiency of servicing citizens and businesses and to ensure the availability of government information [1].

Today, there are four approaches to building e-Government that are determined, in turn, by different state models [2]:

1. Continental-European model: the presence of supranational bodies, a high degree of countries' integration, single legislation in the information sphere (due to the principles of the European Union); the focus on the citizens' needs.

2. Anglo-American model: an extensive range of electronic services and provided information on the state activities; orientation on reducing the burden on public servants.

3. Asian model: the focus on meeting the information needs of citizens, the active introduction of information and communication technologies in culture and education.

4. Russian model: the orientation on increasing the efficiency of public administration, the provision of services to individuals and legal entities in electronic form.

A distinctive feature of the Russian model is its focus on overcoming the technological gap from developed countries. In the 2000s, Russia was in fifth ten in the ranking of countries according to the EGDI (E-Government Development Index) compiled by the United Nations.

To solve this problem, the Concept of formation of e-government in the Russian Federation until 2010 (approved by Order of the Government of the Russian Federation No. 632-p, dated May 6, 2008) [3] and the State program of the Russian Federation "Information Society (2011-2020)" (approved by Order of the Government of the Russian Federation No. 1815-p, dated October 20, 2010) [4] were developed.

These program documents were aimed at increasing:

- accessibility, efficiency, and quality of state and municipal services provided to citizens and organizations in electronic form;

- transparency of information on the activities of public authorities at various levels;

- effectiveness of interagency cooperation.

World experience shows that the solution to these problems is possible as a result of building a system of effective interaction between the following participants of the electronic market:

- federal and regional authorities and citizens (G2C model, i.e. Government-to-Citizen): the provision of state and municipal services, the access to state information, the feedback organization;

- federal and regional authorities and organizations (G2B model, i.e. Government-to-Business): the provision of various services and information, the electronic public procurement system;

- various government agencies among themselves (G2G model, i.e. Government-to-Government): the interdepartmental exchange, the optimization of business processes and costs;

- authorities of various levels and public servants (model G2E, i.e. Government-to-Employees): the introduction of electronic document management, the reduction of routine operations.

As a result of the implementation of these program documents, in 2018 the Russian Federation took 32nd place in the corresponding rating, moving to the group of countries with a very high EGDI index (primarily due to the intensive development of online services and mobile technologies) [5].

Prospects for the development of e-government in Russia are reflected in the Concept of digitalization of public administration for 2018-2024 "The service state 2.0" and the National program "Digital Economy of the Russian Federation" [6]. Their implementation involves an increase in electronic interaction within the described models of the electronic market.

So, the implementation of G2C model consists not only in the provision of public services in electronic form but also it involves the organization of effective feedback, which is primarily associated with the processing of

appeals (applications, complaints, suggestions, etc.) received from individuals and legal entities.

Statement of the task of analyzing citizens' appeals

Every year, the volume of appeals to public authorities received on their official websites, e-mail, the portal of state and municipal services, the system of interdepartmental electronic document management is steadily increasing.

For example, in 2018 the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia) received more than 99 thousand appeals that are 25 % more than in 2017. Moreover, the number of appeals in the form of an electronic document sent to the e-mail and official websites of the ministry and its territorial bodies increased by 24 % and amounted to 46 thousand [7].

In 2018 the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies, and Mass Communications (Roskomnadzor) and its territorial bodies received about 155 thousand appeals from citizens, with an increase of 33 % compared to the previous year. Through e-mail, official sites, the portal of state, and municipal services and the interdepartmental document management system, over 122 thousand electronic documents have been received, i. e. about 80 % of the total number of appeals [8].

Due to the variety of questions raised in the appeals, the promptness and quality of the answers to them directly depend on the correct determination of the addressee. Today, a significant part of the official websites of ministries and departments provides the citizens with the opportunity of a multi-level choice of topics for circulation. However, the applicant is not always able to choose the right rubric due to the lack of sufficient information or the consideration of several problems at the same time.

Thus, the above determines the urgent task of developing effective tools for automatic

rubrication of electronic citizens' appeals arriving in various public authorities through the e-mail, official sites, and interdepartmental document management system.

From a mathematical point of view, this task boils down to the classification of electronic text documents. It consists in assigning them to one or more thematic rubrics that define the work of specific departments and divisions in the organizational structure of a certain ministry.

To date, a variety of methods of analysis and classification of text documents have been developed, while the choice of a particular one is determined by the characteristics of the object under study.

The analysis of electronic citizens' appeals arriving in various public authorities revealed the following features [9, 10, 11]:

- the small document size that significantly complicates the statistical analysis;
- the free style of content presentation that greatly complicates the extraction of information;
- the presence of grammatical and spelling errors in the text that necessitates the pre-processing;
- the presentation of several problems in one appeal that makes it difficult to choose a specific rubric.

Additionally, it is necessary to note the unsteadiness of the thesaurus (the composition and importance of words that define a specific thematic rubric), which is due to the constant change in the regulatory framework.

These features indicate the impossibility of explicitly applying traditional approaches to the analysis of unstructured electronic text documents. This, in turn, confirms the feasibility of using text mining methods that allow you to categorize electronic unstructured documents in the face of a lack of statistical data and a dynamic thesaurus.

Methods of intellectual analysis of citizens' appeals

The papers [12, 13] show that for automatic analysis of electronic appeals it is advisable to use several rubrication models, while the criteria for choosing a specific model can be used as follows:

- the degree of thesauri intersection, determined by the number of unique words that are the same for the considered rubrics;
- the amount of accumulated statistical information characterizing the possibility of constructing a specific rubrication model;
- the dynamism of the thesaurus of thematic rubrics.

Using the above criteria, six models of rubricating electronic citizens' appeals arriving at public authorities were proposed:

1. The probabilistic method using fuzzy significance scales. It can classify documents with a lack of statistical information, a weak degree of intersection of thematic rubrics, and the high thesaurus dynamism. To calculate the weighting coefficients of significant words in the rubrics, the fuzzy logical inference according to the Mamdani algorithm is used, because it combines expert opinions and available statistics [14].

2. The fuzzy decision tree. It allows analyzing documents with the stationary thesaurus, a significant degree of rubric intersection, and the insufficient statistics for the application of probabilistic and neural network methods. The construction of the decision tree is based on the analysis of the degree of rubric thesaurus intersection and the distances between rubrics in the n -dimensional feature space [15].

3. The fuzzy pyramidal networks. They can rubricate documents with a significant degree of rubric intersection, a lack of statistical data, and the thesaurus dynamics. This model takes into account the degree of rubric connectedness based on the use of the Mamdani fuzzy logical algorithm [16].

4. The cascade neuro-fuzzy model. It allows classifying documents with an insignificant degree of rubric intersection and a sufficient amount and quality of statistical data but under conditions of the stationary thesaurus. The model is based on the application of a set of neuro-fuzzy classifiers used to form the degree of accession to each rubric [17].

5. The convolutional neural networks. They allow the classification of documents in the presence of a sufficient amount of statistical information, a weak degree of rubric intersection and the high thesaurus dynamism. A short appeal is received at the network input, in which each word is determined by a vector of fixed length. For the output layer, the Softmax function is used, which implements the multiclass classification [18, 19].

6. The recursive neural networks. They can perform document rubrication in the presence of a sufficient amount of statistical information, a weak degree of rubric intersection, and the high thesaurus dynamism. A distinctive feature is the ability to take into account the word order in the title of thematic rubrics and the phrases that define their thesaurus (i.e. the task of classifying sequences is solved) [20].

However, there are situations when a particular rubrication model cannot make an unambiguous choice of a thematic rubric due to a mismatch of several conditions. In this case, it is advisable to use the classifier voting method, which allows reducing the likelihood of errors in the rubrication of unstructured text documents. This method involves aggregating the solutions obtained by the described rubrication models for the final selection of the rubric.

Method of the voting of intellectual classifiers

Today ensemble methods are actively used in machine learning. Their essence lies in the application of several methods (called weak classifiers) to form a decision rule that can be

used to improve the classification accuracy. The result is a strong meta-classifier.

To date, a variety of approaches to construct ensemble methods have been developed. In practice, the most widely used methods are the following [21]:

1. Bagging (short for *bootstrap aggregating*) is a classification method based on the composition of independent algorithms. The elementary classifiers are based either on different methods or the same method, however, independent samples are used for training. The final decision on the belonging of an object to a specific class can be determined by:

- consensus (all elementary classifiers assigned the same label to the object);
- a simple majority (the object is assigned a label of the class that was defined by the majority of elementary classifiers);
- the weighting of classifiers (the vote of each classifier is multiplied by its weight).

2. Boosting is a method of sequential composition building when each subsequent algorithm seeks to compensate for the shortcomings of the previous ones (i.e. it is a greedy composition building algorithm). It is only used for classifiers that implement a particular method.

3. Stacking (short for stacked generalization) is a method of constructing a composition from the algorithms of different nature (i.e., with

different feature spaces) and applying a meta-algorithm for classification. Its essence lies in dividing the sample into two parts (for training and testing elementary classifiers). The results of testing the elementary classifiers are the basis (inputs) for training the meta-algorithm.

Each of the above approaches has specific conditions of applicability determined by their essence and subject area.

For the considered task of analyzing electronic citizens' appeals, it is advisable to use the method based on constructing a composition from the described rubrication models and using the procedure for voting.

In general, the proposed method of the voting of intellectual classifiers includes the following steps:

1. The analysis of the received electronic appeal to determine the conditions for rubricating text document by the above criteria. In addition, it is necessary to take into account such a factor as the size of the analyzed appeal. A document with less than 50 words is considered short, a document with 50-150 words is medium, and a document with more than 150 words is long.

2. The choice of the rubrication models that can be used in these conditions. Table 1 shows the conditions of the applicability of the above models.

Table 1. The conditions of the applicability of the rubrication models

Document size	Degree of rubric intersection	Volume of statistics	Type of thesaurus	Rubrication model
short	insignificant	sufficient	dynamic	Convolutional neural networks
short	insignificant	sufficient	dynamic	Recursive neural networks
short, medium	insignificant	sufficient	static	Cascade neuro-fuzzy model
medium	significant	insufficient	static	Fuzzy decision tree
medium, long	significant	insufficient	dynamic	Fuzzy pyramidal networks
long	insignificant	insufficient	dynamic	Probabilistic method using fuzzy significance scales

Due to the fact that the conditions of the applicability of the rubrication models given in Table 1 are determined by expert information, it is proposed to use the fuzzy inference system to select a set of applied models. This system will consist of six subsystems that determine the degree of compliance of the current situation with the conditions of the applicability of a particular rubrication model.

3. The document rubrication using the selected models (at least two).

4. The weighted aggregation of decisions obtained by the used models.

References

1. Al-Gabri V. M. *Elektronnoye pravitel'stvo: yego perspektivy, vozmozhnosti i ugrozy* [E-government: its prospects, opportunities and threats]. *Molodoy uchenyy*, 2016, vol. 15, pp. 337-342 (in Russian). Available at: <https://moluch.ru/archive/119/32857/> (accessed 03.08.2020).
2. Filatova L. A., Pogorelova E. V. Models and principles of electronic government. *Teoriya. Praktika. Innovatsii* = Theory. Practice. Innovation, 2016, vol. 11, pp. 47-50 (in Russian).
3. *Rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 06.05.2008 g. № 632-р* [Order of the Government of the Russian Federation No. 632-p, dated May 6, 2008]. Official website of the Government of the Russian Federation (in Russian). Available at: <http://government.ru/docs/all/64062/> (accessed 03.08.2020).
4. *Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 15.04.2014 № 313 "Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii "Informatsionnoye obshchestvo (2011 - 2020 gody)"* [Order of the Government of the Russian Federation No. 313, dated April 15, 2014 "On approval of the state program of the Russian Federation "Information Society (2011-2020)"]. GARANT.ru (in Russian). Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70544220/> (accessed 03.08.2020).
5. United Nations e-Government Survey 2018: Gearing e-government to support transformation towards sustainable and resilient societies. Website of United Nations. Available at: <https://publicadministration.un.org> (accessed 03.08.2020).
6. *Pasport natsional'noy programmy "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii"* [Passport of the national program "Digital Economy of the Russian Federation"]. Official website of the Government of the

Conclusion

The proposed approach for the automated rubrication of electronic citizens' appeals arriving at various public authorities through e-mail, official sites, and interdepartmental document management system, based on the use of several methods of intelligent analysis of unstructured text data, can improve the accuracy of their classification as specific subject rubrics, taking into account the specifics of their subject area and the volume of the accumulated statistics. The practical implementation of this approach will improve the efficiency and quality of response to incoming appeals.

- Russian Federation (in Russian). Available at: <http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaK-w3M5cNLo6gczMkPF.pdf> (accessed 03.08.2020)
7. *Itogi raboty s obrashcheniyami grazhdan* [Results of work with citizens' appeals]. Website of EMERCOM of Russia (in Russian). Available at: <https://www.mchs.gov.ru/deyatelnost/obrashcheniya-grazhdan/itogi-raboty-s-obrashcheniyami-grazhdan/> (accessed 03.08.2020)
8. *Obzor obrashcheniy grazhdan* [Review of citizens' appeals]. Website of Roskomnadzor (in Russian). Available at: <https://rkn.gov.ru/treatments/p436/> (accessed 03.08.2020)
9. Dli M., Salov N., Kakatunova T., Tukaev D. An economic and mathematical model of it service provider selection on the basis of analysis of non-structured text documents. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, vol. 14, pp. 1662-1667.
10. Borisov V. V., Dli M. I., Kozlov P. Yu. Analysis and monitoring of electronic text documents rubrication. *Vestnik MEI = Bulletin of MPIE*, 2018, vol. 4, pp. 121-127 (in Russian).
11. Kozlov P. Yu. Methods of automated analysis of short unstructured text documents. *Programmnyye produkty i sistemy* = Software Products and Systems, 2017, vol. 1, pp. 100-105 (in Russian).
12. Dli M., Bulygina O., Kozlov P. Development of multi-method approach to rubrication of unstructured electronic text documents in various conditions. Proceedings of the International Russian Automation Conference (RuSAutoCon), Sochi, 2018.
13. Dli M., Bulygina O., Kozlov P., Ross G. Developing the economic information system for automated analysis of unstructured text documents. *Prikladnaya Informatika* = Journal of Applied Informatics, 2018, vol. 13, no. 5(77), pp. 51-57.

14. Bulygina O., Kozlov P., Kakatunova T. Analysis of short unstructured documents using fuzzy significance scales and special procedures for economic information integration. *Prikladnaya Informatika = Journal of Applied Informatics*, 2019, vol. 14, no. 6(84), pp. 138–143.
 15. Dli M. I., Bulygina O. V., Kozlov P. Yu. The use of fuzzy decision trees to categorize unstructured text documents of small size. *Prikladnaya Informatika = Journal of Applied Informatics*, 2019, vol. 14, no. 5(83), pp. 129-139 (in Russian).
 16. Bulygina O. V., Okunев B. V. Fuzzy-network tools for analyzing the prospects of projects for the development of information and telecommunications infrastructure. *Neurokomp'yutery = Neurocomputers*, 2016, vol. 7, pp. 15-20 (in Russian).
 17. Tukaev D., Bulygina O., Kozlov P., Morozov A., Chernovalova M. Cascade neural-fuzzy model of analysis of short electronic unstructured text documents using expert information. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018, vol. 13, no. 21, pp. 8531-8536.
 18. Kim Y. Convolutional neural networks for sentence classification. *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2014, pp. 1746-1751.
 19. Zhang X., Zhao J., LeCun Y. Character-level convolutional networks for text classification. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2015, pp. 649-657.
 20. Dli M. I., Bulygina O. V. Features of the use of neural network models for the classification of short text messages. *Programmnyye produkty i sistemy = Software Products and Systems*, 2019, vol. 32, no. 4, pp. 650-654 (in Russian).
 21. Kashnitskiy Yu. S., Ignatov D. I. *Ansamblevyy metod mashinnogo obucheniya, osnovanny na rekomendatsii klassifikatorov* [An ensemble machine learning method based on the classifiers' recommendation]. *Intellectual'nyye sistemy. Teoriya i prilozheniya = Intelligent systems. Theory and applications*, 2015, vol. 19, no. 4, pp. 37-55 (in Russian).
- Andrey M. Sokolov, ORCID 0000-0003-1357-4807, Master's Student, department of Management and Intellectual Technology, National Research University MPEI, Russia, ansokol98@mail.ru

Acknowledgements

The reported study was funded by RFBR according to the research project 18-01-00558 A «Neuro-fuzzy methods of decision-making support for managing complex systems on the basis of dynamic information classification».

Received 06.08.2020, reviewed 13.08.2020, accepted 18.08.2020

Сведения об авторах

Дли Максим Иосифович, ORCID 0000-0002-5657-0892, докт.техн.наук, профессор, зав. кафедрой Информационных технологий в экономике и управлении, Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск, Россия, midli@mail.ru

Бulygina Ольга Валентиновна, ORCID 0000-0001-6890-2842, канд.экон.наук, доцент, кафедра Информационных технологий в экономике и управлении, Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск, Россия, baguzova_ov@mail.ru

Соколов Андрей Максимович, ORCID 0000-0003-1357-4807, магистрант, кафедра Управления и интеллектуальных технологий, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия, ansokol98@mail.ru

Поддержка исследований

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-01-00558 А «Нейро-нечеткие методы поддержки принятия решений по управлению сложными системами на основе динамического рубрицирования информации».

Статья поступила 06.08.2020, рассмотрена 13.08.2020, принята 18.08.2020

About the authors

Maxim I. Dli, ORCID 0000-0002-5657-0892, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of department of Information Technology in Economics and Management, the Branch of National Research University MPEI in Smolensk, Russia, midli@mail.ru

Olga V. Bulygina, ORCID 0000-0001-6890-2842, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, department of Information Technology in Economics and Management, the Branch of National Research University MPEI in Smolensk, Russia, baguzova_ov@mail.ru

Модель цифровой образовательной среды вуза

Л. А. Александрова^{1*}, Э. Р. Галимов¹,

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ,
Казань, Россия

* ludmilasis@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является определение места, роли, значимости развития образования, в эпоху цифровизации, возможностей, перспектив on-line обучения, выявление перспектив и проблем при подготовке специалистов цифровой экономики. В работе предложена модель цифровой образовательной среды вуза, сформулированы требования, которые необходимо учесть на этапе проектирования «Цифрового университета»: открытость системы для студентов и преподавателей; участие студента в формировании траектории индивидуального обучения; возможность доступа к дополнительным ресурсам, курсам, участие в выборе места для прохождения практики; формирование и анализ цифрового следа на всех этапах процесса обучения; использование интеллектуальных методов оценки приобретенных знаний и компетенций. В статье определены основные компоненты модели и первоочередные задачи, которые необходимо решать при подготовке специалистов цифровой экономики, отмечена необходимость, значимость и возможности цифрового следа студента при формировании его индивидуальной траектории обучения, оценивании его компетентности, предложены подходы к решению поставленных задач, технологии по оцениванию знаний и компетенций, которые авторы протестировали, оценили и опубликовали результаты в своих предыдущих работах. В заключении отмечена актуальность использования SMART технологий, как для создания учебного контента, так и на этапах управления учебным процессом.

Ключевые слова: модель цифровой образовательной среды, цифровой университет, специалисты цифровой экономики, цифровой след студента, индивидуальная траектория обучения, компетентность специалиста

Для цитирования: Александрова Л. А., Галимов Э. Р. Модель цифровой образовательной среды вуза // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 5. С. 37–51. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-37-51

University digital educational model

L. Aleksandrova^{1*}, E. Galimov¹,

¹ Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

* ludmilasis@mail.ru

Abstract. This work was carried out in accordance with the Digital Economy program of the Russian Federation and is therefore relevant. The program posed the following tasks for universities: the digital transformation of universities and the training of specialists of the digital economy. The Ministry of Education has articulated these issues as the creation of the Digital University. The paper proposes a model that can be laid the foundation of the Digital University. The model was developed on the basis of an analysis of the development of education in the field of digitalization over the past 20 years, an assessment of the readiness of the leading universities of the Russian Federation to transform at present, and their own experience in using digital technologies. The proposed model satisfies the following requirements: openness of the system for students and teachers; the student's participation in the formation of the trajectory of his own learning; the ability to access additional resources, courses and choose the places for practical training; formation and analysis of the digital trace; the use of intelligent methods for assessing acquired knowledge and competencies. The main blocks of the model are identified and the tasks for each block are formulated, which must be solved at the stage of creating the Digital University. The paper proposes approaches to their solution, technologies that the authors tested, evaluated and published the results in their previous works. In conclusion, we note that to create a Digital University, first of all, it is necessary: expand the base of control and training materials, modify, improve their forms; implement software smart systems for training and control; form a digital student trace, digital passports of information resources and, on their basis, form an individual learning path, an image of a specialist; develop learning scenarios for different images of students, goals, objectives; integrate intellectual resources of science and education; automate the management of the learning and control process as much as possible.

Keywords: university digital educational model, digital university, digital economy specialist, digital student trace, individual learning trajectory, specialist competence

For citation: Aleksandrova L., Galimov E. University digital educational model. Prikladnaya informatika=Journal of Applied Informatics, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 37-51 (in Russian) DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-37-51

Введение

Программа «Цифровая экономика РФ» от 28.07.2017 №1632-р — основная программа правительства России на 2017-2030 годы. Главная цель программы — создание и развитие цифровой среды, цифровой экосистемы государства. Таким образом, данные в цифровой форме становятся ключевым фактором развития социально-экономической деятельности нашего государства. Реализация этой программы требует новых специалистов, способных выполнить эти задачи.

В рамках программы выделены 5 базовых направлений развития цифровой экономики (ЦЭ) и одно из этих направлений: образование и кадры. Кроме базовых, определены три прикладных направления: государственное управление, «умный город», здравоохранение.

Аналитический центр при правительстве РФ опубликовал в июле 2019 года информационно-справочные материалы о «Текущем развитии проектов в сфере цифровой экономики в регионах России». В обзоре приведена краткая информация о текущем статусе

разработки и реализации программ и проектов в сфере цифровой экономики в регионах России. Из обзора видно, что во многих областях вообще отсутствуют программы развития ЦЭ, а если такие программы приняты, то приоритетные проекты решают проблемы города, здравоохранения, туризма. Проекты в сфере государственного и муниципального управления занимают передовые позиции почти во всех регионах. Наиболее интересные проекты находят отражение в научных публикациях и в основном затрагивают модели «умных городов» и модели управления в различных сферах деятельности [1-4].

Что касается сферы образования, то перед ней поставлены две основные задачи:

- цифровая трансформация образовательных учреждений;
- подготовка специалистов цифровой экономики.

Следует отметить, что эти задачи должны решаться параллельно. Без подготовки специалистов цифровой экономики, невозможно выполнить программу «Цифровая экономика РФ», а для их подготовки необходима эффективная цифровая образовательная среда (ЦОС). Такая среда должна позволить выпускникам приобрести навыки освоения различных цифровых платформ, сред, с которыми они могут встретиться во время своей активной производственной деятельности. Только взаимодействуя с ЦОС можно научиться формулировать требования, ставить задачи в направлении реализации цифровой экономики, формирования передового цифрового общества.

Цифровая экономика — это не просто цифровизация всех социально-экономических процессов, а использование инновационных технологий, решение перспективных задач, достижение новых целей. Именно это определение мы будем использовать, при решении поставленных задач. В данной работе мы уделим внимание цифровизации, трансформации вузов, технологиям и изменениям, которые должны произойти

в процессе подготовки специалистов цифровой экономики.

В соответствии с программами «Цифровая экономика РФ» и программой РФ «Развитие образования», утвержденной 26 декабря 2017 г., на основе изучения опыта передовых вузов РФ в сфере цифровизации и собственного опыта использования цифровых образовательных сред и методов искусственного интеллекта для оценивания приобретенных знаний, навыков и компетенций, в работе предлагается модель цифровой образовательной среды вуза.

На этапе проектирования этой среды были заложены следующие требования:

- открытость системы для обучаемых и преподавателей;
- участие обучаемого в формировании траектории собственного обучения;
- возможность получать доступ к дополнительным ресурсам и курсам;
- расширение возможностей выбора места прохождения практик;
- формирование и анализ цифрового следа обучаемого;
- использование интеллектуальных методов оценивания приобретенных знаний и компетенций;
- использование существующих информационных систем вуза и расширение их возможностей.

Также, в работе проанализируем предложенную модель на готовность к трансформации в «Цифровой университет» и сформулируем первоочередные задачи цифровой трансформации.

Программа «Развития образования» РФ

С 1 января 2018 г. вступило в силу постановление Правительства РФ от 26 декабря 2017 г. № 1642 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Развитие образования”». В рамках этой программы был выделен приоритетный проект

«Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации». Цель этого проекта создать условия для повышения качества непрерывного образования для всех категорий граждан за счет развития российского цифрового образовательного пространства. В рамках проекта поставлена такая задача, как создание информационного портала, обеспечивающего доступ всем пользователям к онлайн ресурсам и онлайн курсам по принципу «одного окна».

Поставленные задачи, безусловно, актуальны, но могли быть решены значительно раньше. Дело в том, что сфера образования — это одна из первых сфер, где начался процесс цифровизации образовательных ресурсов и обучающих процессов. Сфера образования прошла такие этапы как:

- 1 этап, создание электронных учебников, изданий;
- 2 этап, создание, дистанционных электронных курсов;
- 3 этап, создание и использование электронных сред для дистанционного обучения.

Сейчас вузы приступили следующему этапу: созданию и использованию массовых открытых образовательных курсов MOOC (Massive Open Online Courses).

На протяжении этих этапов принимались такие программы, положения, решения, постановления правительства, как:

- Положение о формировании межвузовской научно-технической программы Министерства образования Российской Федерации «Создание системы открытого образования», от 12 октября 2000 года № 2925;
- Решение коллегии Министерства образования Российской Федерации «О создании интегрированной автоматизированной информационной системы сферы образования», от 11 октября 2002 года № 3568;
- Постановление Правительства Российской Федерации о федеральной целевой программе «Развитие единой образовательной информационной среды (2001-2005 годы)», от 28 августа 2001 года № 630.

Все эти документы, на тот момент, были приняты образовательными учреждениями с творческим энтузиазмом. Вузы были заинтересованы в электронных ресурсах, курсах, дистанционном обучении, интеграции информационных систем для создания системы открытого образования. К сожалению, все эти перспективные начинания, не были доведены до завершения. Возможно, на это повлияло отсутствие правового статуса электронных ресурсов, курсов и дистанционного обучения.

Положение изменилось с принятием новой редакции Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации», от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ, изменениями, внесенными в части применения электронного обучения. В соответствии с законом, для электронного обучения, прежде всего, необходимо было создать электронную образовательную среду. Эти изменения повлекли колоссальные преобразования в сфере электронного обучения. Многие вузы, в том числе и КНИТУ-КАИ, создали в 2012 году электронную обучающую среду (ЭОС) на платформе Blackboard и начали активно использовать ее в учебном процессе. Таким образом, можно надеяться, что приоритетный проект «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации» будет выполнен, по таким позициям, как создание онлайн-курсов.

Программа «Развитие образования», особое внимание уделяет онлайн-образованию и трактует его, как увеличение численности обучаемых на онлайн курсах. По каждому году и категории учащихся (общеобразовательных организаций, студентов профессиональных образовательных организаций и организаций высшего образования) указаны плановые цифры. Такая цель развития образования, требует комментариев. Можно увеличить число обучаемых на онлайн курсах, но это не означает, что обучаемые приобретут новые или улучшат имеющиеся знания и компетенции.

Цифровой университет

Задача подготовки кадров для цифровой экономики трактуется Министерством науки и высшего образования РФ, как задача проектирования «Цифрового университета». Этот проект сопровождает «Аналитический центр при правительстве РФ». 01.04.19 аналитический центр провел круглый стол обсуждения опыта ведущих университетов РФ по цифровизации инфраструктуры вуза, подходов к разработке и внедрению модели «Цифрового университета». По результатам круглого стола должна быть разработана концепция «Цифрового университета». За круглым столом обсуждались такие составляющие этого проекта как: информационные системы управления университетом (ИСУУ), цифровая трансформация обучающего процесса, содержание и методики формирования ключевых компетенций цифровой экономики, формирование индивидуальных образовательных траекторий (ИТО).

ИСУУ — это системы управления административно-хозяйственной деятельностью, кампусом, инфраструктурой, безопасностью.

ИТО — это основа гибкости и адаптивности образовательных программ, активного обучения, обратной связи (итеративности). ИТО формируется на основе цифрового следа (профиля) обучаемого, мнения преподавателя и администрации.

Цифровой след (ЦС) — совокупность данных об образовательном процессе, профессиональной, научной и общественной деятельности, процесса обучения и самообучения. Цифровой профиль студента (ЦПС) — цифровой след, к которому добавляется субъективная оценка.

Остановимся на состоянии цифровизации вузов, которые давно зарекомендовали себя в сфере автоматизации, информатизации, и цифровизации и их представлении процесса цифровой трансформации вуза.

В ноябре 2017 года было объявлено о создании УНТИ «20.35». Университет «20.35»

едва ли можно назвать университетом в строгом смысле слова, он был создан для реализации Национальной технологической инициативы и цифровой трансформации экономики. Сегодня Университет «20.35» — прежде всего цифровая платформа с постоянно расширяющимся списком образовательных возможностей подготовки, переподготовки специалистов с компетенцией самоорганизации и готовности к предпринимательской, инновационной и научной деятельности, на основе индивидуальных траекторий обучения.

Московская школа управления СКОЛКОВО — одна из ведущих частных бизнес-школ России и СНГ, основана в 2006, направлена на воспитание равнодушных и активных лидеров перемен, способных предвидеть и формировать тренды, а значит, управлять масштабными преобразованиями. СКОЛКОВО особое отношение уделяет ИТО и содержанию образования. Основной лозунг цифровой трансформации университета — это вовлеченность студентов в образовательный процесс.

Цифровая трансформация Тюменского государственного университета (ТюмГУ) направлена на формирование уникальных наборов компетенций, уникальной образовательной траектории, которая отличается набором элективных дисциплин, таким образом, студента учат делать осознанный выбор, работать в разнородных командах.

ИТМО — планирует цифровую трансформацию, как поэтапную цифровизацию бизнес-процессов: переход от цифровизации вспомогательных процессов к цифровизации основных процессов, причем особое внимание уделяется реорганизации основных процессов, внедрению систем глубокой аналитики, разработке новых моделей процессов обучения и исследовательской работы. Необходимо отметить, что в ИТМО проведена широкая цифровизация наиболее востребованных информационных ресурсов, особенно необходимо отметить актуальный сервис «Электронные заявки», где можно получить в режиме оп-

line копии кадровых документов, документы на командировку, отпуск.

Томский государственный университет (ТГУ) наметил цифровую трансформацию вуза, как процесс доведения существующих информационных систем до нового качества, погружения базовых процессов в новую реальность. Цифровая трансформация предполагает: цифровые модели образовательных программ, индивидуальные траектории обучения, развития, цифровой профиль студента, вовлечение студентов в реальные образовательные проекты, создание роботизированных информационных систем (ИС).

Томский государственный университет входит в пятерку российских вузов, являющихся лидерами в области онлайн-обучения. В арсенале ТГУ — более 60 собственных онлайн-курсов, слушателями, которых, являются жители 183 стран. Согласно статистике международных онлайн-платформ, ТГУ находится в мировом топ-30 самых эффективных разработчиков онлайн-курсов (МООС), куда также входят MIT (Massachusetts Institute of Technology) и Стэндфордский университет. ТГУ придерживается стратегии развития собственных экосистем: выстраивания эффективного общения с промышленными партнерами, в том числе зарубежными, создания базы для производства инновационных процессов.

МГТУ им Н. Э. Баумана — содержит стандартный набор ИС, но особого внимания заслуживает подход к созданию электронного контента (система НОМОТЕХ) фундаментальных дисциплин.

НИУ ВШЭ активно использует онлайн курсы в индивидуальных учебных планах, студенты подключаются к МООС, но только 20% онлайн курсов разработаны преподавателями НИУ ВШЭ.

УФУ также ориентируется на онлайн обучение. УФУ прошел аккредитацию образовательных программ с включением онлайн курсов. Направление цифровизации — создание комфортной среды для работы

и учебы, создание и использование цифрового следа для создания образовательного и научного процесса.

Анализируя состояние передовых, в сфере цифровизации вузов, можно сделать следующий вывод. Учреждения, которые на протяжении, как минимум, 20-30 лет занимались автоматизацией, информатизацией основных и вспомогательных процессов вуза, в настоящее время имеют разнородные ИС, что осложняет стоящую перед ними задачу. Имея такой опыт работы, лучше начинать работу с нуля, чем переделывать то, что создано. Такие учреждения, как СКОЛКОВО и Университет «20.35» имеют большой потенциал по использованию современных интеллектуальных технологий.

С момента создания в КНИТУ-КАИ ЭОС электронной образовательной среды на платформе Blackboard, авторами проводилась работа по анализу средств и технологий обучения и контроля, формированию цифрового следа студента, выявлению информативных признаков ЦС, влияющих на качество обучения и контроля [5-6]. Выявленные информативные признаки цифрового следа обучаемого, цифрового паспорта (ЦП) качества обучаемых и контрольных материалов (мероприятий) позволяют формировать траектории индивидуального обучения, переподготовки, повышения квалификации, модифицировать, улучшать качество обучающих и контрольных мероприятий

Модель цифровой образовательной среды вуза

На основе анализа наиболее перспективных ИС вуза и собственного опыта сформирована модель обучающей среды (рис.1 – рис.4) для подготовки специалиста цифровой экономики. Мы постарались оставить все лучшее, что есть в вузах, но в тоже время, выделить наиболее актуальные задачи и поделиться собственным опытом их решения.

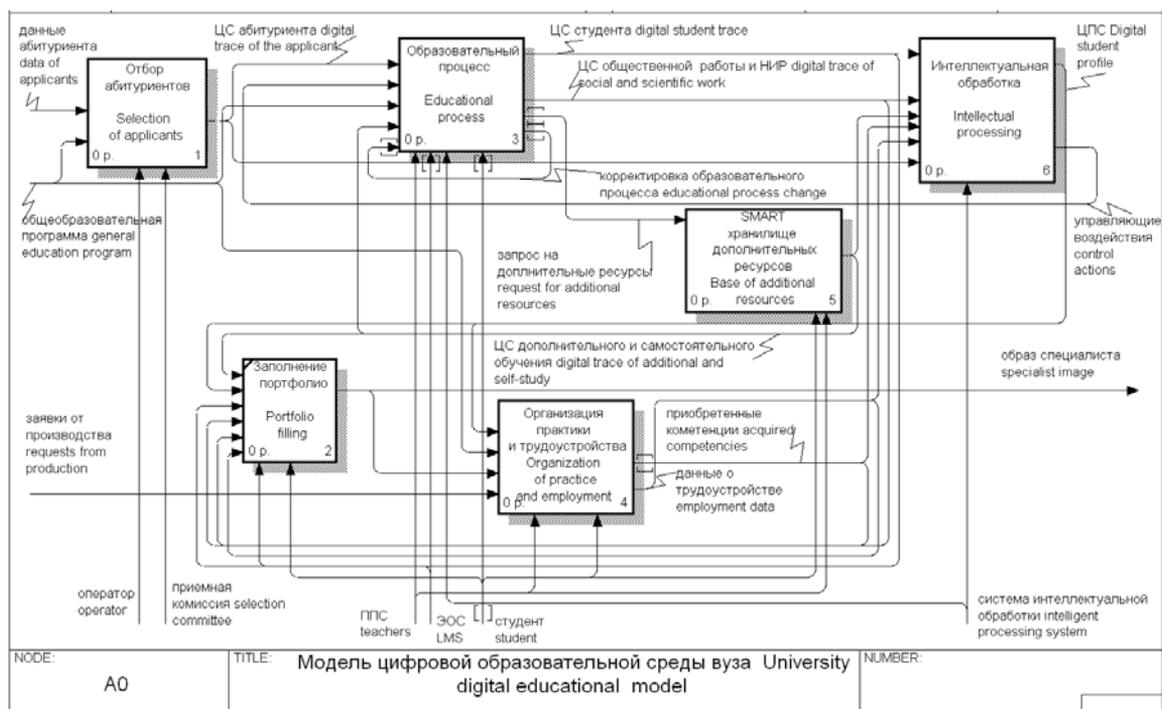


Рис. 1. Модель цифровой образовательной среды вуза

Fig. 1. University digital educational model

В предложенной модели цифровой образовательной среды вуза выделены следующие блоки (модули):

- Отбор абитуриентов;
- Образовательный процесс (модуль знаний и компетенций, модули научной и общественной работы, модули организации работы с дополнительными ресурсами и курсами, анализа текущего образовательного процесса);
- Организация прохождения практики и трудоустройства;
- SMART хранилище дополнительных ресурсов и курсов;
- Интеллектуальная обработка данных (модуль ИО);
- Портфолио.

Отбор абитуриентов (блок 1, диаграмма А0, рис. 1) — это модуль, представляющий собой информационную систему, которая создана для работы приемной комиссии, и является практически первой ИС, которая воз-

никала на этапе автоматизации вузов. Можно сказать, что это информационные системы со стандартным набором данных (персональные данные, индивидуальные достижения и результаты ЕГЭ или вступительных экзаменов), они могут отличаться интерфейсом, в некоторых случаях критериями отбора или решающими правилами. В соответствии с классификацией ИС ее можно назвать информационно справочной системой (ИСС). Данные абитуриента, которые зафиксированы в этом модуле в дальнейшем будем называть цифровым следом (ЦС) абитуриента.

Информационно и функционально насыщенным является модуль образовательного процесса (блок 3, диаграмма А0, рис. 1).

Модуль знаний и компетенций (блок 1, диаграмма А3) должен обеспечивать качество обучающего процесса и процесса контроля обучения. Декомпозиция этого блока представлена на рис. 4. Процессы обучения и контроля традиционно реализуются с ис-

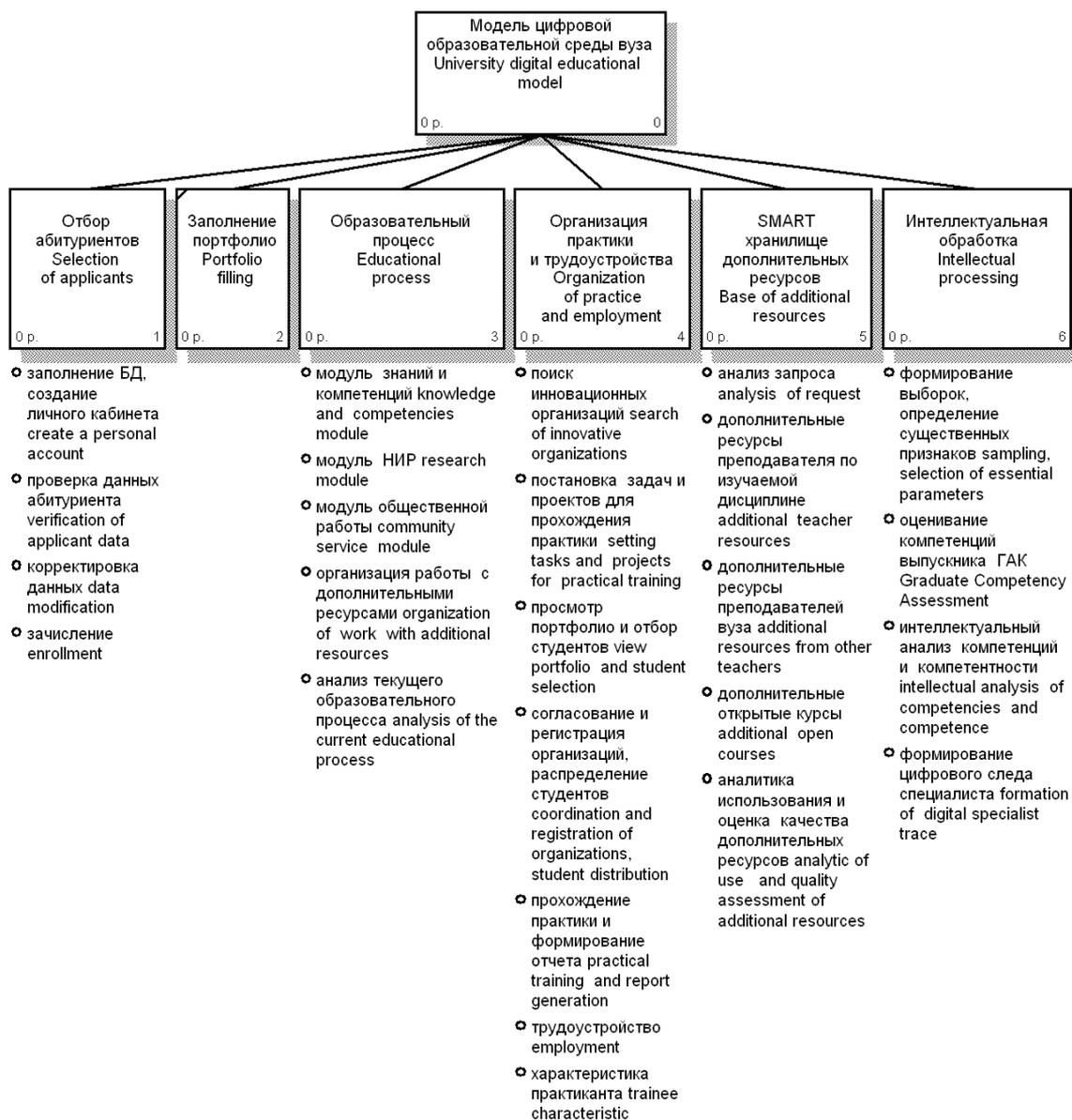


Рис. 2. Модель цифровой образовательной среды в виде дерева
Fig. 2. Model of a digital educational environment in the form of a tree

пользованием электронных средств обучения LMS (Learning Management System), которые позволяют реализовать E-learning, SMART, CDIO и другие современные технологии и концепции обучения. Подробно эти технологии, их возможности описаны в работах [5-7]. Те сотрудники, которые давно используют эти средства в обучающем процессе, ощу-

тили, насколько трудоемки процессы подготовки обучающихся и контрольных материалов, процессы проверки контрольных заданий, процессы взаимодействия с обучаемым в режиме on-line [8]. Но все эти технологии и процессы, по-прежнему, остаются актуальными и должны быть гибкими, творческими, направленными на саморазвитие обучаемого.

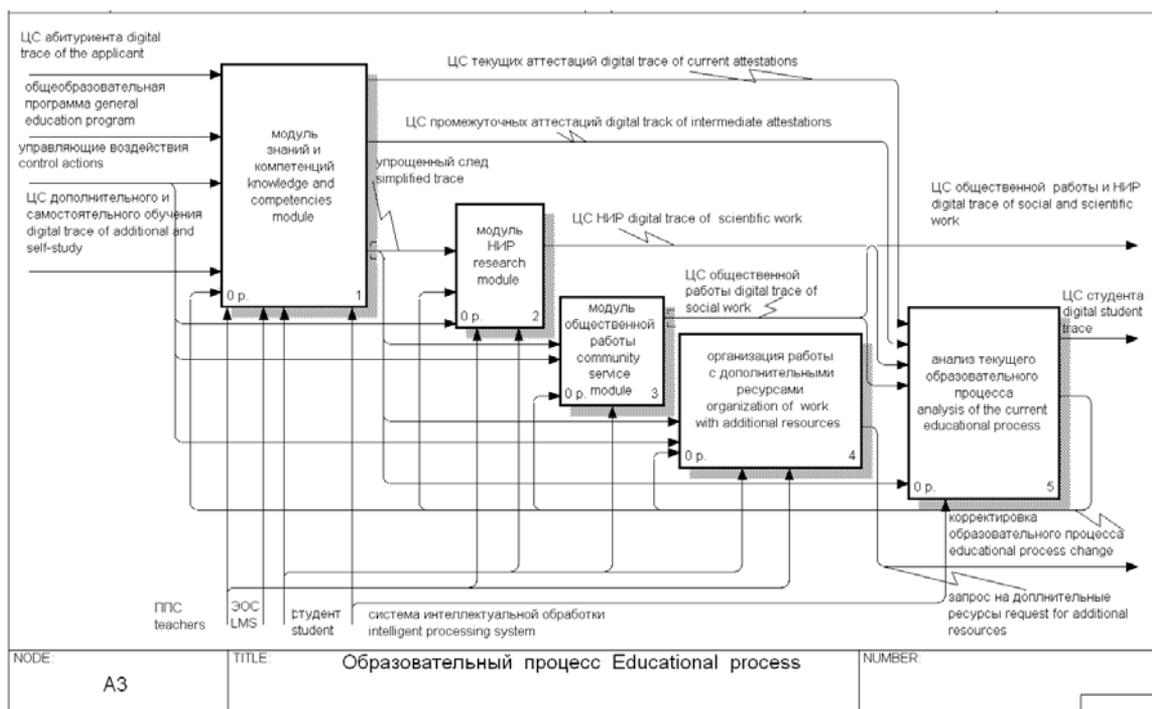


Рис. 3. Декомпозиция образовательного процесса

Fig. 3. Decomposition of the educational process

Молодые сотрудники с энтузиазмом воспринимают процессы цифровизации, автоматизации обучающего процесса. Но, к сожалению, облегчить можно только механический труд, автоматизировать только те процессы, которые подвергаются алгоритмизации (обучение на тренажерах, формирование контрольных заданий, для которых можно разработать модели, отбор по некоторым критериям обучающих материалов из общего хранилища ресурсов, процедуры оценивания приобретенных знаний и компетенций [9-11]). Но, по-прежнему за преподавателем остается формирование актуальных учебных материалов, организация и наполнение, современных контрольных мероприятий (проектов, деловых игр) и, прежде всего, гибких интерактивных сценариев обучения [12-13].

Высококвалифицированный специалист должен иметь навыки общественной работы, уметь проявлять, реализовывать свой творческий и научный потенциал. Эти требования

традиционно поддерживаются вузами (блоки 2,3, диаграмма А3, рис. 3).

Кроме того, выпускник должен научиться самостоятельно изучать предложенные материалы, пытаться найти, освоить новые дополнительные материалы, постоянно развиваться, совершенствоваться. Стремиться к познанию, изучению, приобретению новых знаний и компетенций. Поэтому в модель образовательного процесса включен модуль организации работы с дополнительными ресурсами (блок 4, диаграмма А3, рис 3). Для работы этого модуля необходимо создать хранилище дополнительных ресурсов и курсов (блок 5, диаграмма А0, рис. 1), которые готовят преподаватели не только своего, но и других вузов, организовать ссылки на курсы различных открытых платформ (МООС). Этот модуль должен быть интеллектуальным — снабжен системой поиска и рекомендаций, в зависимости от потребностей обучаемого.

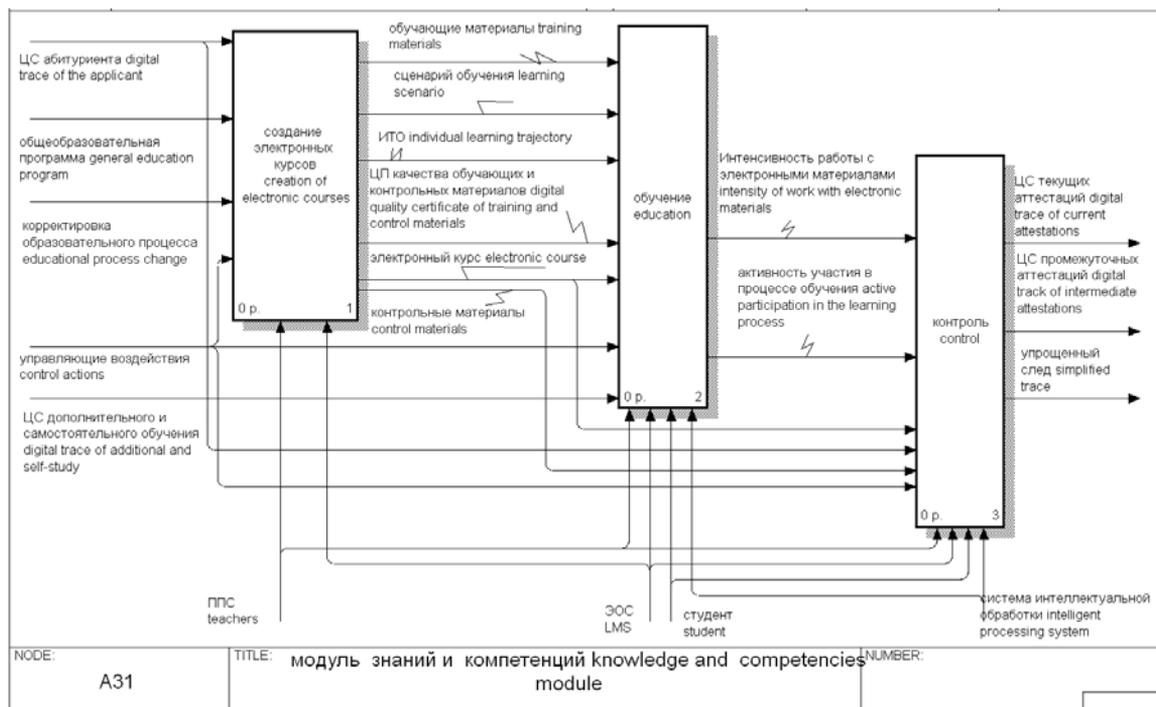


Рис. 4. Декомпозиция модуля знаний и компетенций
Fig. 4. Decomposition of the knowledge and competency module

Не всегда самостоятельность обучаемого или рекомендации преподавателя могут привести к желаемым результатам, поэтому на всех этапах необходимы анализ и корректировка текущего состояния процесса обучения, контрольных и обучающих материалов (блок 5, диаграмма А3, рис. 3). Эта корректировка может выполняться с помощью модуля интеллектуальной обработки (блок 6, диаграммы А0) на основе анализа цифрового следа контрольных и промежуточных аттестаций, цифрового паспорта обучающих и контрольных материалов и мероприятий, индивидуальной траектории обучаемого.

Для подготовки высококвалифицированного специалиста необходима платформа для получения практических навыков (блок 4, диаграмма А0). Очень важна доступность этих платформ, возможность обратиться напрямую к работодателю. А чтобы работодатель мог выбрать специалиста, просмотреть его достижения необходим доступ работодателя

к портфолио (блок 2, диаграмма А0). К сожалению, в большинстве вузов, портфолио скрыто от работодателя.

Задачи подготовки специалистов ЦЭ, проблемы и пути их решения

Предложенная модель цифровой образовательной среды, может быть основой цифрового университета. Проанализируем, насколько вузы готовы к подготовке специалистов ЦЭ, выделим основные задачи и обсудим пути их решения.

Первоочередная задача — это стыковка информационных систем, взаимодействующих в процессе подготовки специалистов. Причем это не просто стыковка, это согласование всех информационных потоков. Информационные системы должны быть максимально автоматизированы. Качественная автоматизация требует реструктуризации, реорганизации информационных систем.

Как уже упоминалось процесс отбора абитуриентов цифровизирован и решается на должном уровне. Единственное замечание, это то, что цифровой след абитуриента не учитывается в дальнейшем при формировании специалиста, ни в учебном плане, ни в научном. Возможно, что только спортивные достижения не остаются незамеченными.

Цифровизация образовательного процесса в разных вузах находится на различных уровнях. Лучше всего обстоит дело с цифровизацией образовательных ресурсов. Информатизации образования более 30 лет. За это время создано большое количество электронных образовательных ресурсов и курсов, а сценарии обучения почти не менялись. Изменения коснулись только сферы электронного контроля – тестирования. Но формы тестовых заданий по сей день остаются примитивными (обычно это вопрос с одним правильным ответом). Не используются мультимедийные и интерактивные формы заданий и ответов. Поэтому, на наш взгляд, надо выделить следующие задачи, которым необходимо уделить должное внимание:

- Интеграция созданных образовательных ресурсов;
- Формирование общего сценария обучения и ИТО, в которых должны быть заложены требования и возможности самообучения, самоорганизации и саморазвития. Для этого необходимо, чтобы обучаемый чаще оказывался в ситуации выбора, требования постановки конкретных целей и их достижения, научился работать в коллективе и руководить им;
- Использование новых формы обучения и контроля: умные программные комплексы, кейс-метод, деловая (ролевая) игра, метод проектов и т.п. [5,6]. Умный программный комплекс погружает обучаемого в конкретную ситуацию, анализирует, оценивает ситуацию и обучаемого, подсказывает дальнейшие действия обучаемому. Нами разработан такой программный комплекс для выполнения лабораторных работ по дисциплинам направления «Информационная безопасность» Обучение

и контроль с помощью такого комплекса происходит без участия преподавателя, поэтому он назван авторами, как SMARTlabwork [5,6]. В процессе выполнения этой работы обучаемый попадает в различные ситуации, выбирает пути выхода из сложившейся ситуации, принимает конкретные решения. На основе его действий формируется цифровой след, который обрабатывается методами интеллектуального анализа (Data Mining) и определяется уровень компетенций обучаемого;

- Формирование цифрового следа обучаемого на всех этапах обучения, выполнения научной и общественной жизни, его активности в использовании дополнительных материалов и курсов, выборе площадок для получения практического опыта и т.п.;

- Переподготовка, обучение преподавателей современным, информационно-коммуникационным технологиям, технологиям электронного и on-line обучения;

- Увеличение количества учебных часов по информационным технологиям. К сожалению, количество учебных часов по информатике, информационным технологиям резко сокращается, а количество новых технологий резко увеличивается.

Хранилища информационных ресурсов организованы, обычно, в виде электронных библиотек, но их необходимо стыковать с хранилищами информационных курсов и обеспечить интеллектуальную поддержку (SMART поддержку) принятия решения обучаемым по выбору ресурса или курса на основе сформулированных целей задач, предпочтений. В дальнейшем аналогичные хранилища могут быть объединены на одной платформе [14].

Площадки по прохождению практико-ориентированной подготовки формируются вузами самостоятельно, ограничены предоставляемыми возможностями. Поэтому такие площадки должны формироваться централизованно, поддерживаться высокотехнологичными компаниями. У обучаемого должна быть возможность сделать самостоятельный

выбор о месте прохождения практики, а у работодателя должна быть возможность ознакомиться с достижениями практиканта, то есть доступа к портфолио.

Что касается портфолио, это пока самое слабое звено. Так как ИС вуза обычно не стыкованы, то владелец портфолио заполняет его самостоятельно, а это трудоемкий процесс. А работодатели не имеют к нему доступ.

On-line курсы, обучение, значимость и использование ЦС

В программе «Развития образования РФ», большое внимание уделяется on-line курсам и использованию методов искусственного интеллекта в формировании специалиста ЦЭ.

Мы отмечаем, что увеличение числа on-line курсов, это не тот показатель, который улучшит качество подготовленных специалистов. Для решения этой проблемы необходимы мультимедийные, интерактивные, интеллектуальные, качественные курсы. Это очень сложная задача. Для ее решения нужны заинтересованные и квалифицированные преподаватели.

Отношение преподавателя к внедрению информационно-коммуникационных технологий часто описывают с помощью, так называемой метафоры карандаша «pencil metaphor». Эта метафора в ходу с 2006 года [15], но по-прежнему актуальна. Есть преподаватели новаторы в этой сфере, к сожалению, их меньшинство, которые создают качественные курсы, постоянно стремятся их усовершенствовать. Они передают свои курсы и знания другой категории преподавателей, которые либо используют наработки новаторов, либо стараются создавать собственные неплохие курсы. Но существует категория преподавателей, которые не стремятся осваивать новые технологии и бездействуют, либо тормозят процесс развития on-line обучения. Использование on-line курсов необходимо для развития навыков самообучения и самоорганизации обучаемого, стремления

к непрерывному процессу познания, но не означает замены традиционного обучения on-line обучением.

On-line курсы, ресурсы необходимы, как средство дополнительного обучения и средство поддержки традиционного процесса обучения. Отметим также, что онлайн обучение это не цель, это технологии, средства. Они необходимы для дистанционного обучения. В настоящее время на смену традиционному обучению идет смешанное обучение: гармоничное сочетание традиционного и on-line обучения. Так же нельзя не отметить тот факт, что онлайн технологии и средства позволяют значительно повысить качество образования: обучаемые учатся работать в группе, проявлять активность, общаться с единомышленниками и преподавателем. Выбор формы обучения (традиционное, смешанное, дистанционное) должен остаться за обучаемым [16-17].

Перспективы on-line курсов и технологий неоспоримы, но необходимо заинтересовать преподавателей, создать условия для их обучения и создания on-line курсов.

Одной из важных задач при подготовке специалистов, является задача оценивания приобретенных компетенций и знаний. Эта задача традиционно решается с использованием контрольных мероприятий. Поэтому преподаватели, в настоящее время, должны разрабатывать и использовать новые формы контроля, все сервисы, которые предоставляют LMS, снабжать их показателями и критериями качества. С появлением ЭОС в КНИТУ-КАИ авторы занимались вопросами оценки качества приобретенных знаний и компетенций: отбирали и создавали контрольные мероприятия, регистрировали качество их выполнения, формировали цифровой след выполнения мероприятий текущего и промежуточного контроля и методами Data Mining отбирали существенные признаки цифрового следа и, на их основе, формировали образы обучаемых [5,6]. Необходимо отметить, что создание новых форм контрольных и практико-ориентированных меропри-

ятий, предоставление дополнительных услуг и мероприятий способствует саморазвитию не только профессиональному, но и научному, организационному. А регистрация достижений обучаемого на всех этапах обучающего процесса, в виде цифрового следа, их анализ, позволят определить наиболее перспективные пути дальнейшего развития специалиста.

Заключение

Цифровой университет, прежде всего, призван решить проблему подготовки специалистов цифровой экономики и, только решив эту проблему, у вузов появится возможность выйти на международный рынок образования.

Для качественного решения этой задачи, прежде всего, необходимо:

- Расширять базы контрольных и контрольно-обучающих материалов, модифицировать, совершенствовать их формы. Реализовывать программные SMART комплексы для обучения и контроля;

- Формировать цифровой след, профиль студента, цифровые паспорта информационных ресурсов. Выделять признаки следов, которые с высокой информативностью отражают качество приобретенных студентом знаний и компетенций. На их основе формировать индивидуальную траекторию обучения, образ студента, образ специалиста;

- Разрабатывать сценарии обучения под разные внешние ситуации, образы студентов, цели и задачи обучения, индивидуальные траектории обучения;

- Интегрировать интеллектуальные ресурсы в области науки и образования (контрольно-обучающие материалы, сценарии обучения, цифровые профили и образы студентов). Интегрировать надо начинать в рамках вуза, затем расширять область интегрирования;

- Максимально автоматизировать управление процессом обучения и контроля. Прежде всего, необходимо автоматизировать все рутинные процессы. За преподавателем

необходимо оставить только научное и творческое взаимодействие.

Авторы, в свою очередь, продолжают работы по использованию интеллектуальных методов при формировании цифрового профиля и образа студента и специалиста, разработке многофункциональных программных SMART комплексов для обучения и контроля, управления учебным и образовательным процессом.

Список литературы

1. Кононова О. В., Павловская М. А. Технологии цифровой экономики в проектах умный город: участники и перспективы // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14. № 3. С. 692–706. DOI: 10.25559/SITITO.14.201803.692-706
2. Кириенко А. С., Соловьев И. П. Анализ активности человека в задаче автоматизированного управления «умным домом» // Компьютерные инструменты в образовании. 2017. № 1. С. 15–29.
3. Боброва Е. Г., Гольдштейн С. Л., Грицюк Е. М., Донцов О. Г., Дугина Е. А. Проблема развития моделей механизма цифрового управления персоналом в медицинском учреждении третьего уровня // Системная интеграция в здравоохранении. 2018. № 2 (39). С. 5–15.
4. Косоруков А. А. Технологии дополненной реальности в сфере государственного управления // Социодинамика. 2019. № 1. С. 57–69. DOI: 10.25136/2409-7144.2020.1.31949.
5. Aleksandrova L. A., Galimov E. R. Digital Learning Platform Services // Компьютерные инструменты в образовании. 2019. № 1. С. 79–87. DOI: 10.32603/2071-2340-2019-1-79-87.
6. Александрова Л. А., Галимов Э. Р. Электронное обучение: приобретение и оценивание компетенций // Современные информационные технологии и ИТ-образование. Сборник научных трудов II Международной научной конференции и XII Международной научно-практической конференции / Под ред. В. А. Сухомлина. 2017. С. 115–121.
7. Tikhomirov V., Dneprovskaya N., Yankovskaya E. Three dimensions of smart education // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2015. Vol. 41. P. 47–56.
8. Александрова Л. А., Галимов Э. Р., Тяпкин М. С. Трудоемкость электронного обучения. // Ученые записки ИСГЗ. 2016. Т. 14. № 1. С. 32–37.
9. Прокимов Н. Н. Концепции построения и принципы реализации приложения для автоматизации непрофильных функций преподавателя // Прикладная

- информатика. 2019. Т. 14. № 6 (84). С. 13–24. DOI: 10.24411 / 1993-8314-2019-10044.
10. Лиштва́н А. А., Кацу́ба В. С. Особенности разработки современного электронно-образовательного ресурса для математических дисциплин // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 1 (73). С. 64–68.
 11. Сычев С. В., Чирцов А. С. Средства автоматизации разработки учебного контента по физике и химии для сопровождения массового индивидуализированного образования // Компьютерные инструменты в образовании. 2017. № 1. С. 45–60.
 12. Федосеев А. А. К вопросу об уменьшении объема порций учебного материала при электронном обучении // Информатика и ее применения. 2016. Т. 10. № 3. С. 105–110. DOI: 10.14357/19922264160314.
 13. Каишинская И. В., Коровкина Н. Л., Левочкина Г. А. Исследование влияния интерактивных форм обучения на развитие гибких навыков студентов // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 5 (77). С. 20–31.
 14. Копылова Н. А. Ryazan universities networking cooperation: the theory and experience of the organization // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15. № 2. С. 499–506. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.499-506.
 15. Богданова Д. А. Информационные технологии и образование в Евросоюзе: формирование новых профессионалов // Системы и средства информатики. 2016. Т. 26. № 2. С. 171–180. DOI: 10.14357/08696527160212.
 16. Нефедов Ю. В. Анализ методик онлайн-курсов в сфере ИТ, доступных на платформе Coursera // Прикладная информатика. 2017. Т. 12. № 6 (72). С. 40–49.
 17. Ребус Н. А. Особенности трансформации современного образовательного пространства. Дистанционные образовательные технологии. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции / Ответств. ред. В. Н. Таран. 2018. С. 68–73.

Сведения об авторах

Александрова Людмила Авенировна, ORCID 0000-0003-4378-9569, канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры систем информационной безопасности, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ (КНИТУ-КАИ), Казань, Россия, ludmilasis@mail.ru
 Галимов Эдвард Рауфович, ORCID 0000-0002-0687-0918, аспирант кафедры систем информационной безопасности, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ (КНИТУ-КАИ), Казань, Россия, 96bedward@mail.ru

Статья поступила 28.02.2020, рассмотрена 12.04.2020, принята 24.04.2020

References

1. Kononova O. V., Pavlovskaya M. A. Digital economy technologies in SMART city projects: participants and prospects. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie*=Modern Information Technologies and IT-Education, 2018, vol. 14, no. 3, pp. 692-706 (in Russian). DOI: 10.25559/SITITO.14.201803.692-706.
2. Kirienko A. S., Solviev I.P. Human Behaviour Analysis in Context of Smart Environment Automation. *Kompyuternye instrumenty v obrazovanii*=Computer tools in education, 2017, no. 1, pp. 15-29 (in Russian).
3. Bobrova E. G., Goldstein S. L., Gritsyuk E. M., Dontsov O. G., Dugina E. A. Problematics of the development of models of the digital personnel management mechanism in the third level medical institution. *Sistemnaya integraciya v zdravooхранenii*, 2018, no. 2(39), pp. 5-15 (in Russian).
4. Kosorukov A. A. The technologies of augmented reality in the area of public administration. *Sociodinamika*, 2019, no.1, pp. 57-69 (in Russian). DOI: 10.25136/2409-7144.2020.1.31949.
5. Aleksandrova L. A., Galimov E. R. Digital Learning Platform Services. *Kompyuternye instrumenty v obrazovanii*=Computer tools in education, 2019, no. 1, pp. 79-87. DOI: 10.32603/2071-23402019-1-79-87.
6. Aleksandrova L. A., Galimov E. R. E-learning: acquisition and assessment of competencies. *Sbornik nauchnyh trudov II Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii i XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Pod red. V. A. Suhomlina, 2017, pp. 115-121 (in Russian).
7. Tikhomirov V., Dneprovskaya N., Yankovskaya E. Three dimensions of smart education. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2015, vol. 41, pp. 47-56.
8. Aleksandrova L. A., Galimov E. R., Tyapkin M. S. Labor expenses E-learning, *Scientific notes of the Institute of Social and Humanitarian Knowledge*, 2016, vol. 1(14), pp. 32-37 (in Russian).
9. Prokimnov N. Approach to creating applications for non-core teacher functions. *Prikladnaya Informatika*=Journal of Applied Informatics, 2019, vol. 14, no. 6(84), pp. 13-24 (in Russian). DOI: 10.24411 / 1993-8314-2019-10044.
10. Lishtvan A., Katsuba V. Features of the development of modern electronic educational resources for mathematics. *Prikladnaya Informatika*=Journal of Applied Informatics, 2018, vol. 13, no. 1(73), pp. 64-68 (in Russian).
11. Sychoy S., Chirtsov A. *Sredstva avtomatizatsii razrabotki uchebnogo kontenta po fizike i khimii dlya soprovozheniya massovogo individualizirovannogo*

- go obrazovaniya* [Automated Content Development for a Massively Individualized Education in Physics and Chemistry]. *Kompyuternye instrumenty v obrazovanii*=Computer tools in education, 2017, no. 1, pp. 45-60 (in Russian).
12. Fedoseev A. A. What is behind the concept of 'Knowledge in small packages'. *Informatika i ee primeneniya*=Informatics and applications, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 105-110 (in Russian). DOI: 10.14357/19922264160314.
 13. Kashinskaya I., Korovkina N., Levochkina G. Research of interactive learning influence on students soft skills development. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2018, vol. 13, no. 5 (77), pp. 20-31 (in Russian).
 14. Kopylova N. A. Ryazan universities networking cooperation: the theory and experience of the organization. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie*=Modern Information Technologies and IT-Education, 2019, vol. 15, no. 2, pp. 499-506. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.499-506.
 15. Bogdanova D. A. Information technologies and education in the European union: forming the new professionals. *Sistemy i sredstva informatiki*=Systems and Means of Information, 2016, vol. 26, no. 2, pp. 171-180 (in Russian). DOI: 10.14357/08696527160212.
 16. Nefedov Y. Analysis of educational methods of online IT-courses available on Coursera platform. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2017, vol. 12, no. 6(72), pp. 40-49 (in Russian)
 17. Rebus N. F. Peculiarities of transformation of the contemporary educational space. *Distancionnye obrazovatel'nye tehnologii. Materialy III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Otvetstv. red. V. N. Taran*, 2018, pp. 68-73 (in Russian).

About the authors

Ludmila A. Aleksandrova, ORCID 0000-0003-4378-9569, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor, Department of Information Security Systems, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan, Russia, ludmilasis@mail.ru

Edvard R. Galimov, ORCID 0000-0002-0687-0918, Postgraduate, Department of Information Security Systems, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan, Russia, 96bedward@mail.ru

Received 28.02.2020, reviewed 12.04.2020, accepted 24.04.2020

Семантические технологии в системе поддержки онлайн-обучения

И. Ю. Шполянская¹, Т. А. Середкина¹

¹ *Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия*

** irinaspol@yandex.ru*

Аннотация. В работе представлен новый подход к решению задачи персонализации обучения в условиях динамичной электронной среды. Для выработки рекомендаций студентам по выбору наиболее подходящего для них онлайн-курса используется семантический подход, основанный на представлении и использовании знаний о предметной области электронного обучения и о характеристиках обучающегося. В рамках данного подхода предложена методика использования OWL-онтологии для интеграции ресурсов в индивидуальную траекторию обучения. Онтологии обеспечивают более адекватное представление онлайн-ресурсов и совместимость формата запроса пользователя с описаниями учебных ресурсов от разных разработчиков. Определена архитектура системы поддержки электронного обучения по выбору онлайн-ресурсов для дальнейшего их включения в индивидуальную траекторию обучения студента. Рекомендательная система анализирует контекст профиля пользователя для формирования рекомендации контента учебного курса. Система использует информацию из анкет и запросов пользователя для поиска семантического соответствия между информацией о курсе и профилем пользователя – обучающегося. Разрабатываемая система реализуется в виде набора персональных агентов и сервисов, которые взаимодействуют на основе базы знаний, представленной в виде комплекса взаимосвязанных онтологических моделей. Система рекомендует ресурс в зависимости от текущих запросов и характеристик пользователя в соответствии с его профилем. В процессе работы система динамически обновляет базу знаний о текущих характеристиках пользователя, тем самым повышая эффективность формируемых рекомендаций. На основе полученных рекомендаций пользователь может выбрать наиболее подходящий вариант композиции учебных материалов с учетом своего уровня знаний и своих предпочтений.

Ключевые слова: онлайн-обучение, персонализация, индивидуальная траектория обучения, семантика, онтология

Для цитирования: *Шполянская И.Ю., Середкина Т.А.* Семантические технологии в системе поддержки онлайн-обучения // Прикладная информатика. 2020. Т. 15 № 5. С. 52–61. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-52-61

Semantic technologies in the online learning support system

I. Shpolianskaya^{1*}, T. Seredkina¹

¹ Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russia

* irinaspol@yandex.ru

Abstract. This paper presents a new approach to solving the problem of personalization of learning in a dynamic electronic environment. To make recommendations to students on choosing the most suitable online course, a semantically approach is used, based on the representation and use of knowledge about the subject area of e-learning and the characteristics of the student. Within the framework of this approach, a method of using OWL-ontology for integrating resources into an individual learning trajectory is proposed. Ontologies provide a more adequate representation of online resources and compatibility of the user request format with descriptions of education resources from different developers. The architecture of the e-learning support system for the selection of online resources for their further inclusion in the individual trajectory of student learning is defined. The recommendation system analyzes the context of the user profile to generate recommendations for the content of the training course. The system uses information from user profiles and queries to find a semantic match between the course information and the user profile of the student. The developed system is implemented as a set of personal agents and services that interact based on a knowledgebase represented as a set of interconnected ontological models. The system recommends a resource based on current requests and user characteristics regarding their profile. In the process, the system dynamically updates the knowledge base about the current user characteristics, thereby increasing the effectiveness of generated recommendations. Based on the recommendations received, the user can choose the most appropriate version of the composition of educational materials, taking into account their level of knowledge and their preferences.

Keywords: online learning, personalization, learning path, semantic web, ontology

For citation: Shpolianskaya I., Seredkina T. Semantic technologies in the online learning support system. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 52-61 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-52-61

Введение

Современные условия требуют от вузов перевода значительной части образовательных процессов в онлайн-среду. Системы elearning предоставляют образовательным учреждениям возможность для эффективной организации учебного процесса и обмена знаниями, обеспечивают каждому обучающемуся свободу доступа к информации и гибкость в учебном процессе. Обучающийся получает возможность самостоятельно опре-

делять продолжительность и последовательность курсов, изменяя траекторию учебного процесса в соответствии со своими потребностями.

В условиях онлайн-обучения возрастают требования к персонализации процессов обучения. Необходимость внедрения интеллектуальных систем поддержки онлайн-обучения обусловлена требованиями индивидуального подхода к каждому студенту. Цифровые интеллектуальные технологии позволяют создавать индивидуальные образователь-

ные траектории для каждого обучающегося за счет выбора методов, форм и темпа освоения учебного материала. Построение индивидуальных траекторий является сложной задачей в связи с необходимостью многопараметрического анализа, учитывающего пререквизиты и результаты обучения программы курса, текущие знания, индивидуальные особенности, стили обучения студентов [1].

В последние годы наблюдается большой рост числа учебных ресурсов, доступных в режиме онлайн через массовые открытые курсы (MOOCs) [2]. Основной проблемой при этом является трудность для обучающихся найти наиболее подходящие курсы, которые наилучшим образом соответствуют их интересам в рамках заданной программы обучения. Большие объемы знаний и множество альтернативных курсов в онлайн-среде требуют построения индивидуальных траекторий обучения с учетом возможностей, запросов и характеристик учащихся, их когнитивных и личностных особенностей.

Проблема персонализации онлайн обучения

В системах персонализированного электронного обучения решаются следующие задачи: а) формирование индивидуальной траектории обучения в динамическом режиме и рациональный выбор набора учебных материалов, соответствующих текущим потребностям обучающегося; б) определение профиля обучающегося; в) разработка способов представления знаний об учебном процессе [4, 5].

Композиция разнородных информационных ресурсов и сервисов при их включении в траекторию обучения должна осуществляться автоматически на основе анализа качества учебных ресурсов с учетом их характеристик, их соответствия профилю пользователя, который может меняться в процессе обучения.

Для автоматического построения индивидуальной траектории обучения используются

элементы знаний (концепты), которые упорядочиваются в требуемом порядке в последовательность. Выбор и последовательность фрагментов знаний нужно определить в соответствии с характеристиками студента, например предпочтениями в выборе контента, стилем обучения, способностями или по некоторым ограничениям, таким как начальные требования к уровню знаний и длительность курса. Построение траектории обучения предполагает поиск наилучшего возможного способа привязки между каждым студентом и учебными объектами в соответствии с требованиями образовательного процесса.

Ряд исследователей рассматривают задачу формирования оптимальной траектории обучения как многокритериальную оптимизационную задачу принятия решения. Во многих работах предложены эволюционные алгоритмы, такие как генетический алгоритм, алгоритмы оптимизации пчелиного роя и колонии муравьев, метод оптимизации Particle Swarm Optimization, нейронные сети, нечеткая логика [6].

Рекомендательные системы как инструмент персонализации обучения

Методы поиска оптимальной траектории обучения в электронной среде реализуются в виде рекомендательных систем. Целью разработки и внедрения рекомендательных систем в среде электронного обучения являются задачи оптимального выбора учебных ресурсов из множества доступных на основе анализа качества учебных ресурсов и восприятия их пользователями [7,8]. Чтобы сделать процесс обучения персонализированным рекомендательная система может быть интегрирована в платформу электронного обучения, чтобы рекомендовать учебный материал на основе информации, относящейся к конкретному пользователю.

Рекомендательные системы в общем случае используют методы многокритериального процесса принятия решений (MCDM), искусственный интеллект, онтологии, нечеткую логику, а также другие методы для предоставления персонализированных рекомендаций [9, 10, 11].

В рекомендациях ресурсов электронного обучения, представленных в виде онлайн курсов или отдельных учебных модулей, онтологии используются для представления знаний об обучаемом и об учебных ресурсах. В работе [12] предложен подход к созданию рекомендательной системы, где онтология используется для моделирования знаний предметной области об обучаемом и учебных ресурсах, в то время как алгоритм анализа последовательностей шаблонов (SPM) обнаруживает последовательные шаблоны выбора студентами учебных модулей в процессе обучения. В алгоритмах выдачи рекомендаций пользователей со схожими интересами можно группировать, а внутри группы применять алгоритмы коллаборативной фильтрации [3].

Использование онтологии в качестве интеграционной платформы процессов электронного обучения

Технологии Семантического Веба дают возможность обеспечить явное представление знаний, содержащихся во множестве онлайн ресурсов. Они позволяют интегрировать информацию с использованием интеллектуальных технологий, обеспечивая семантический доступ к ресурсам и извлечение информации из их содержимого [13]. В качестве базового элемента семантического веба выступают онтологии.

Системы электронного обучения обеспечивают доступ к огромному количеству учебных материалов, но зачастую они не могут показать явно какие-либо реальные связи

между ними. Информация курсов представлена на естественном языке, который компьютеры не могут понять и интерпретировать ее смысловое значение с тем, чтобы отобразить и интегрировать различные фрагменты учебных материалов, необходимые конкретному пользователю.

Для выработки рекомендаций студентам по выбору наиболее подходящего для них онлайн курса разрабатывается система, основанная на семантическом подходе и знаниях предметной области электронного обучения, а также характеристиках самого студента. Чтобы процесс поиска и композиции учебных ресурсов в траекторию обучения мог быть реализован в динамическом режиме автоматически, всем элементам учебного процесса дается семантическое описание с помощью языка OWL на основе онтологий. Система анализирует контекст профиля пользователя для формирования рекомендации контента учебного курса.

Благодаря онтологиям в системе обеспечивается совместное и многократное использование знаний. В разрабатываемой системе поддержки электронного обучения онтологии используются следующим способом:

- для определения контекста учебного процесса и описания предметной области используемых профессиональных и научных знаний;
- для описания семантики (содержания) учебных материалов;
- для структурирования учебных материалов в учебных курсах и программе в целом;
- для описания контекста профиля обучающегося.

Онтологическая модель включает модель описания ресурсов, модель обучающегося (профиль пользователя) с описанием его предпочтений и характеристик, а также онтологическую модель компетенций учебной программы. Использование онтологического подхода обеспечивает основу для создания интеллектуальной системы поддержки электронного обучения, когда в онтологиях

сохраняются данные о текущем состоянии персонального учебного процесса обучающегося, данные о его требованиях и данные об успешных стратегиях выбора и освоения ресурсов другими пользователями со схожими характеристиками. На основе этой информации система осуществляет поиск ресурсов с последующей их интеграцией в структуру индивидуальной траектории обучения. Оценка функциональных характеристик учебного ресурса производится на основе сравнения описаний ресурса в онтологической модели учебных материалов и моделью пользователя, содержащей описание его требований и характеристик. Для оценки соответствия ресурсов профилю обучающегося используются семантические меры близости (мера Жаккара, мера Дайса, мера косинуса). Формируемая и обновляемая база знаний предоставляет данные, необходимые для работы алгоритмов машинного обучения и синтеза эффективной траектории обучения.

С помощью онтологий задачи и содержание курса аннотируются в терминах понятий предметной области с помощью ключевых слов и некоторых отношений между задействованными понятиями. Понятия предметной области (компетенции) используются также в качестве основы для формирования персонализированной траектории онлайн-обучения. Они используются для контекстно-зависимой конфигурации учебных модулей и их адаптации к конкретным потребностям пользователей. В этих целях к онтологии компетенций должны быть привязаны онтологии, определяющие контекст курса и профиль пользователя. Благодаря связыванию онтологий обеспечивается возможность построения семантических запросов по заданной тематике.

Онтология предметной области классифицирует различные области профессиональных и научных знаний и привязывает к ним понятия (ключевые слова), используемые в различных онлайн-курсах, с помощью организованной иерархической струк-

туры. Прикладные онтологии структурируют информацию, связанную с пользователями и учебными ресурсами. Система использует профиль обучающегося для рекомендаций электронного курса с соответствующими характеристиками. Профиль обучающегося непрерывно обновляется в процессе обучения.

Любой поиск курсов в базе данных системы, например по «программированию», может выдать несколько альтернативных курсов, которые схожи по предметной области изучения и ряду тематических концепций, но каждый из них может включать учебные модули или учебные объекты с разным содержанием, или разным уровнем представления материала, которые в итоге будут влиять на уровень освоения компетенций студентом. Если отдельные модули или блоки включить как экземпляры в структуру онтологии системы, выделить для каждого из них ключевые компетенции и понятия и определить отношения для модулей с аналогичными темами в разных курсах, это будет способствовать более релевантному поиску и предложению студенту курсов, в наибольшей степени соответствующих его интересам и возможностям. Информация о характеристиках курсов, хранящаяся в атрибутах элементов онтологии, позволяет выяснять, как они соотносятся с потребностями конкретных пользователей.

Система рекомендаций по выбору учебного объекта (или курса) и включению его в траекторию обучения рассматривает схожие родственные понятия, которые имеются в профилях как студента, так и курса, используя динамическое сопоставление и привязку онтологий профилей курсов и профиля студента, и определяя семантическое сходство между ними. Алгоритмы фильтрации, использующие связанные на основе онтологии понятия, а также онтологическое сходство между профилями курсов и пользователей, обеспечивают более релевантные результаты. Данный подход использует алгоритмы контентной фильтрации на основе вычисления семантической меры сходства между векто-

рами характеристик учебных курсов и профиля студента, что обеспечивает более точные результаты поиска соответствия.

Онтологии используются в качестве интеграционной платформы для всех процессов электронного обучения. Онтологии связывают потребности (запросы) пользователя с учебными ресурсами и компетенциями образовательной программы через их характеристики. Возможности навигации по portalу также могут быть расширены с помощью семантически определенных связей между страницами портала.

Онтология профилей пользователя-обучающегося включает в себя данные о студенте, такие как личная информация, академическая информация и информация о предпочтениях пользователя. Предпочтения пользователя определяются на начальной стадии с помощью анкет. В процессе работы с системой предпочтения в профиле корректируются, в частности по результатам анализа запросов пользователей и по данным освоенных курсов. Слова в запросе поиска, введенные

пользователями, обрабатываются и определяются семантически схожие термины (ключевые слова) в онтологии курса. Профиль пользователя также содержит данные о текущей и общей академической успеваемости студента и компетенциях, которые фиксируются по результатам освоенных учебных модулей. На рисунке 1 представлена онтология рекомендательной системы, с помощью которой запросы пользователей через профиль и ключевые слова связываются с курсом, имеющие по семантической близости сходные термины.

На листинге 1 представлен текст запроса на языке запросов к онтологии SPARQL, сгенерированный системой на основании запроса пользователя «Программирование на java» по ключевым словам запроса «программирование» и «программирование на java». Для уточнения семантики ключевых слов из запроса пользователя эти слова сопоставляются, в случае необходимости, со словами-синонимами из онтологии.

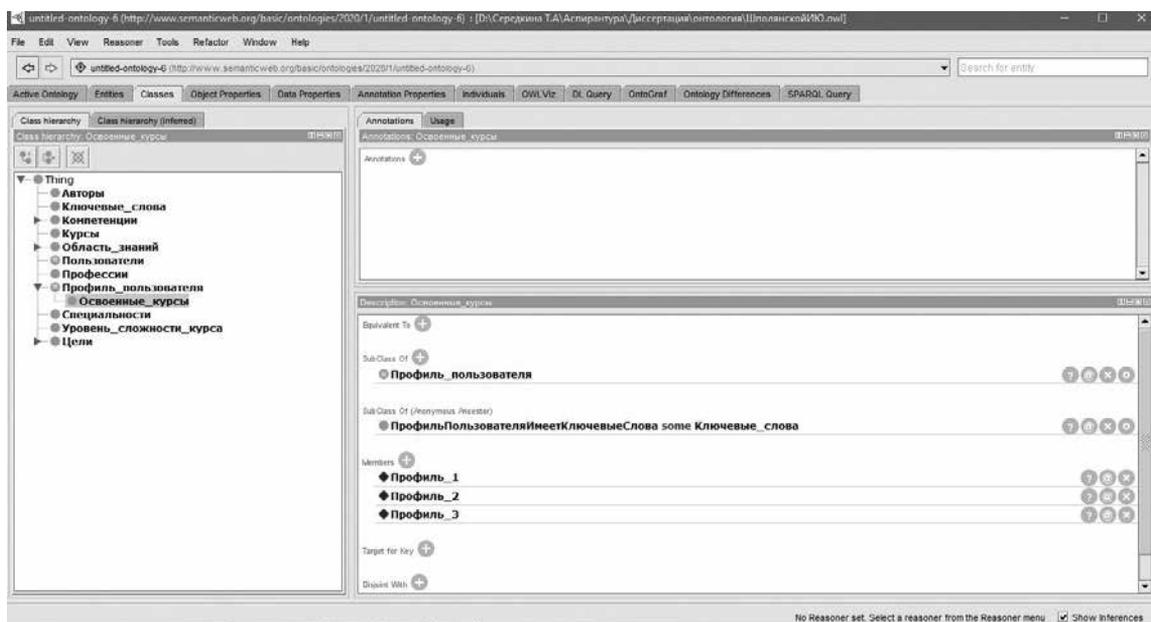


Рис. 1. Онтология рекомендательной системы онлайн обучения

Fig. 1. The online learning recommender system's ontology

Листинг 1. Запрос на языке SPARQL для поиска курсов с ключевыми словами, совпадающими со словами запроса пользователя

Listing 1. SPARQL- query for searching for courses with keywords that match the user's query words

```

PREFIX rdf:<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl:<http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd:<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs:<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX untitled-ontology-6:<http://www.semanticweb.org/basic/ontologies/2020/1/untitled-ontology-6#>
SELECT DISTINCT ?Ключевые_слова ?Рекомендуемые_Курсы
      WHERE {
?Курс а ?Курсы .
?Рекомендуемые_Курсы untitled-ontology-6:КурсИмеетКлючевыеСлова ?Ключевые_слова.
      }
    
```

Таблица 1. Результат выполнения SPARQL запроса по ключевым словам пользователя

Table 1. Result of the SPARQL query based on the user's keywords

Ключевые слова Keywords	Рекомендуемые курсы Recommended courses
Программирование на java Java programming	Основы программирования на java Basics of java programming
Программирование Programming	Программирование на java Java programming
Программирование Programming	Основы программирования на java Basics of java programming
Программирование на java Java programming	Основы программирования Basics of programming

В таблице 1 показан результат выполнения SPARQL запроса по ключевым словам пользователя, которые система сопоставляет с ключевыми словами всех курсов на основе онтологии курсов.

Ключевые слова, выделенные из запроса пользователя, сопоставляются с профилем пользователя. Если такие ключевые слова в профиле отсутствуют, они заносятся в онтологию профиля пользователя, тем самым уточняя интересы и предпочтения обучающегося.

Пользователи, принадлежащие к определенному профилю, имеют схожий интерес к некоторому курсу в онтологии. Таким образом, курс с искомыми параметрами (ключевые слова, уровень сложности, автор, и т. д.), ранее предложенный другим пользователям с данным профилем, можно рекомендовать

новому пользователю, если его данные соответствуют параметрам профиля (семантически сходны).

Разрабатываемая система поддержки персонализированного обучения реализует следующие функции:

- поиск и оценка соответствия учебных ресурсов (онлайн курсов, модулей и учебных объектов) запросам пользователей на основе онтологии курсов, онтологии предметной области и онтологии профилей пользователя для включения в индивидуальную траекторию;
- сбор данных о поведении и предпочтениях пользователя в системе (на основе анкет, запросов, электронных ведомостей с оценками, а также с использованием технологий Web Mining);

- формирование адаптивной модели обучаемого (профиля пользователя);
- функция обратной связи: оценка курсов учащимися после их освоения на основе анкет, а также в процессе обучения с использованием технологий Web Mining).

Система включает процедуры поддержки процессов обнаружения, оценки качества ресурсов; генерации и оценки альтернативных вариантов синтеза индивидуальных траекторий и выбора варианта, в наибольшей степени соответствующего текущим характеристикам обучающегося. На каждом шаге после освоения некоторого курса или учебного модуля происходит оценка уровня освоения компетенций студентом и выбор нового курса с соответствующими образовательными компетенциями из заданной последовательности компетенций учебной программы.

Заключение

В этой статье мы представили систему поддержки онлайн-обучения с использованием онтологий для формирования персонализированных рекомендаций обучающимся по выбору курсов для включения их в траекторию обучения. Использование онтологий позволяет повысить качество рекомендаций за счет использования семантических технологий и связывания онтологии профиля студента и онтологии курса.

Преимущества предложенного подхода заключаются в следующем:

- Разработка модели рекомендательной системы с использованием метода онтологического моделирования позволит преодолеть проблему перегрузки обучающихся большими объемами информацией. Это достигается за счет использования единой онтологии для связывания профилей курсов с профилями пользователей (студентов) и предложения им наиболее релевантных учебных ресурсов.
- Использование онтологий в структуре рекомендательной системы обеспечивает возможность извлечения и интеграция данных

из разных источников, а также их сопоставления. Сопоставление различных данных на основе онтологии обеспечивает возможность получить студентам исчерпывающие знания о рекомендуемых учебных курсах и модулях.

- Использование онтологий позволяет определить семантическое сходство между профилями пользователей, между профилями учебных объектов, а также связать эти профили для рекомендаций новому студенту курса, модуля или учебного объекта с учетом его требований.

Используя интерактивную среду обучения, обучающиеся могут просматривать с помощью онтологии структуру учебной программы и предметной области в целом, в которую входит искомый учебный материал, чтобы установить контекст для запроса. Сервис рекомендаций может автоматически сопоставить найденный материал с уровнем знаний и предпочтениями обучающегося (в частности, какой формат презентации использовать, или какую стратегию обучения выбрать).

Использование онтологического подхода в системах выдачи рекомендации учебных материалов с учетом семантического анализа их содержания позволит повысить эффективность и результативность процесса онлайн обучения и способствовать повышению уровня его персонализации.

Список литературы

1. *Лямин А. В.* Формирование индивидуальных траекторий обучения на основе анализа достижений и функционального состояния обучающегося // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. № 3. С. 543–553. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-543-553.
2. *Рощина Я. М., Роцин С. Ю., Рудаков В. Н.* Спрос на массовые открытые онлайн-курсы (МООС): опыт российского образования // Вопросы образования. 2018. С. 174–199. DOI: 10.17323/1814-9545-2018-1-174-199.
3. *Новиков О. В.* Методы ускорения работы рекомендательных систем для высоконагруженных веб-сайтов // Прикладная информатика. 2013. № 5 (47). С. 29–34.

4. *Biletskiy Y., Baghi H., Keleberda I., Fleming M.* An adjustable personalization of search and delivery of learning objects to learners // *Expert Systems with Applications*. 2009. Vol. 36. No. 5. P. 9113–9120. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.12.038.
 5. *Eyharabide V., Gasparini I., Schiaffino S., Pimenta M., Amandi A.* Personalized e-Learning Environments: Considering Students' Contexts // *Education and Technology for a Better World*. WCCE 2009. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer, Berlin, Heidelberg. 2009. Vol. 302. P. 48–57. DOI: 10.1007/978-3-642-03115-1_5
 6. *O'Donnell E., Lawless S., Sharp M., Wade V.P.* A Review of Personalised E-Learning: Towards Supporting Learner Diversity // *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*. 2015. Vol. 13. No. 1. P. 22–47. DOI: 10.4018/ijdet.2015010102.
 7. *Dascalu M.-I., Bodea C.-N., Mihailescu M. N., Tanase E. A., Pablos P. O. D.* Educational recommender systems and their application in lifelong learning // *Behaviour & Information Technology*, 2016. Vol. 35. No. 4. P. 290–297. DOI: 10.1080/0144929X.2015.1128977.
 8. *Drachsler H., Verbert K., Santos O. C., Manouselis N.* Panorama of Recommender Systems to Support Learning // *Recommender Systems Handbook*, 2015. P. 421–451. DOI: 10.1007/9781-4899-7637-6_12.
 9. *Chen W., Niu Z., Zha X., Li Y.* A hybrid recommendation algorithm adapted in e-learning environments // *World Wide Web*. 2012. Vol. 17. No. 2. P. 271–284. DOI: 10.1007/s11280-012-0187-z.
 10. *George G., Lal A. M.* Review of ontology-based recommender systems in e-learning // *Computers & Education*. 2019. Vol. 142. 103642. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103642
 11. *Tarus J. K., Niu Z., Mustafa G.* Knowledge-based recommendation: a review of ontology-based recommender systems for e-learning // *Artificial Intelligence Review*. 2017. Vol. 50. No. 1. P. 21–48. DOI: 10.1007/s10462-017-9539-5.
 12. *Gulzar Z., Raj L. A., Leema A. A.* Ontology supported hybrid recommender system with threshold based nearest neighbourhood approach // *International Journal of Information and Communication Technology Education*. 2019. Vol. 15. No. 2. P. 85–107. DOI: 10.4018/ijct.2019040106.
 13. *Gómez-Pérez Asunción, Corcho Oscar.* Ontology Specification Languages for the Semantic Web // *IEEE Intelligent Systems*. 2002. Vol. 17. No. 1. P. 54–60.
- Сведения об авторах**
- Шполянская Ирина Юрьевна, ORCID 0000-0002-1834-6419, докт.экон.наук, доцент, профессор, кафедра Информационных систем и прикладной информатики, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия, irinaspol@yandex.ru
- Середкина Татьяна Андреевна, ORCID 0000-0003-1754-3629, магистр прикладной математики и информатики, ассистент, кафедра Информационных систем и прикладной информатики, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия, seredkina.1994@yandex.ru
- Статья поступила 08.07.2020, рассмотрена 11.08.2020, принята 18.08.2020

References

1. Lyamin A.V. Creation of individual learning trajectories based on student's achievements and functional state analysis. *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki=Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 115, pp. 543–553 (in Russian) DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-543-553.
2. Roshhina J., Roshchin S., Rudakov V. The Demand for Massive Open Online Courses (MOOC): Evidence from Russian Education. *Voprosy obrazovanija=Educational Studies Moscow*, 2018, no. 1, pp. 174–199 (in Russian) DOI: 10.17323/1814-9545-2018-1-174-199.
3. Novikov O.V. Accelerating recommendation systems operating in high loaded web sites. *Prikladnaya Informatika=Journal of Applied Informatics*, 2013, no. 5(47), pp. 29–34 (in Russian).
4. Biletskiy Y., Baghi H., Keleberda I., Fleming M. An adjustable personalization of search and delivery of learning objects to learners. *Expert Systems with Applications*, 2009, vol. 36, no. 5, pp. 9113–9120. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.12.038.
5. Eyharabide V., Gasparini I., Schiaffino S., Pimenta M., Amandi A. Personalized e-Learning Environments: Considering Students' Contexts. *Education and Technology for a Better World*. WCCE 2009. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, vol. 302, pp. 48–57. DOI: 10.1007/978-3-642-03115-1_5.
6. O'Donnell E., Lawless S., Sharp M., Wade V.P. A Review of Personalised E-Learning: Towards Supporting Learner Diversit. *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 22–47. DOI: 10.4018/ijdet.2015010102.
7. Dascalu M.-I., Bodea C.-N., Mihailescu M. N., Tanase E. A., Pablos P. O. D. Educational recommender systems and their application in lifelong learning. *Behaviour & Information Technology*, 2016, vol. 35, no. 4, pp. 290–297. DOI: 10.1080/0144929X.2015.1128977.
8. Drachsler H., Verbert K., Santos O. C., Manouselis N. Panorama of Recommender Systems to Support Learn-

- ing. Recommender Systems Handbook, 2015, pp.421–451. DOI: 10.1007/9781-4899-7637-6_12.
9. Chen W., Niu Z., Zhao X., Li Y. A hybrid recommendation algorithm adapted in e-learning environments. *World Wide Web*, 2012, vol. 17, no. 2, pp. 271–284. DOI: 10.1007/s11280-012-0187-z
 10. George G., Lal A. M. Review of ontology-based recommender systems in e-learning. *Computers & Education*. 2019, vol. 142, 103642. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103642
 11. Tarus J. K., Niu Z., Mustafa G. Knowledge-based recommendation: a review of ontology-based recommender systems for e-learning. *Artificial Intelligence Review*, 2017, vol. 50, no. 1, pp. 21–48. DOI: 10.1007/s10462-017-9539-5.
 12. Gulzar Z., Raj L. A., Leema A. A. Ontology supported hybrid recommender system with threshold based nearest neighbourhood approach. *International Journal of Information and Communication Technology Education*, 2019, vol. 15, no. 2, pp. 85-107. DOI: 10.4018/ijicte.2019040106.
 13. Gómez-Pérez A., Corcho O. Ontology specification languages for the Semantic Web. *IEEE Intelligent Systems*, 2002, vol. 17, no. 1, pp. 54–60.

About the authors

Irina Yu. Shpolianskaya, ORCID 0000-0002-1834-6419, Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Professor, Department of Information Systems and Applied Informatics, Rostov State University of Economics (RSUE), Rostov-on-Don, Russia, irinaspol@yandex.ru
Tatyana A. Seredkina, ORCID 0000-0003-1754-3629, Master of Applied Mathematics and Informatics, Postgraduate, Assistant, Department of Information Systems and Applied Informatics, Rostov State University of Economics (RSUE), Rostov-on-Don, Russia, seredkina.1994@yandex.ru

Received 08.07.2020, reviewed 11.08.2020,
accepted 18.08.2020

О проблеме обеспечения интероперабельности при автоматизации поддержки принятия решений

О. В. Туханычев^{1*}

¹ *Группа компаний «Техносерв», г. Москва, Россия*

** tow65@yandex.ru*

Аннотация. Актуальность вопроса интероперабельности автоматизированных систем управления определяется тем, что применение прикладных программ в их составе обеспечивается с использованием формализованной информации об управляемых процессах и объектах, формируемой на основе системы классификации и кодирования, работа которой сильно осложняется при увеличении масштаба управляемых систем и номенклатуры применяемых программных средств. По существующим нормативным документам, взаимодействие между автоматизированными системами управления организуется через специализированные протоколы взаимодействия: технического, организационного, информационного, программного. С ростом масштабов управляемых систем появляется проблема поддержания наборов протоколов в актуальном состоянии, углубляющаяся с увеличением общего количества и типов взаимодействующих агентов в сети управления. В рамках используемой в настоящее время «жесткой» системы кодирования, решить указанную проблему проблематично. Целью исследования является поиск путей решения проблемы интероперабельности, основанных на других, отличных от организационных принципах.

Для решения этой проблемы в статье сформулирована постановка задачи обеспечения интероперабельности в распределённых мультиагентных средах на основе методов «нечеткой» классификации и кодирования. С использованием общенаучного метода системного анализа, синтезированы предложения по разделению систем автоматизированного управления на два кластера, в одном из которых совместимость может быть обеспечена с использованием алгоритмических методов на основе методов «нечеткого» информационного обеспечения. Учитывая, что таких систем в практике управления большинство, теоретически возможно использование указанного метода для решения проблемы взаимодействия. Полученные результаты не противоречат принципам создания единого информационного пространства, а дополняют их за счет перехода от организационных методов обеспечения взаимодействия систем к технологическим.

Ключевые слова: автоматизация управления, информационное обеспечение, поддержка принятия решений, информационно-лингвистическое обеспечение, информационное взаимодействие

Для цитирования: *Туханычев О.В.* О проблеме обеспечения интероперабельности при автоматизации поддержки принятия решений // Прикладная информатика. 2020. Т.15. № 5. С. 62–72. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-62-72

On the problem of information support of decision-making automation

O. Tikhanychev^{1*}

¹ Company group «Technoserv», Moscow, Russia

* tow65@yandex.ru

Abstract. For computer programs need a formalized information. As is known, automated control systems work only with formal information. The basis for the formalization of a system of information classification and coding. The use of formalized data allows users to work with software from the automated control systems. By increasing the size of the control systems and the number of used software, there is a problem of organization of information exchange. Normative documents recommend organizing information interaction through communication protocols. However, with the growing size of the control systems there is the problem of maintaining these protocols to date. Within the framework of the currently used "hard" coding system to solve the problem of updating the information exchange is not possible. The aim of the study is to find ways to solve the problem of interoperability based on other principles other than organizational ones. To solve this problem, the article formulates the formulation of the problem of ensuring interoperability in distributed multi-agent environments based on the methods of "fuzzy" classification and coding. To solve this problem, it is proposed to use in the automated decision support systems fundamentally new information and linguistic support on the basis of the methodology of "fuzzy classification". Practice shows the possibility of using algorithmic formalization methods in a cluster of systems that are not too critical to the input information. In the future, with the development of technology, the scope of the proposed approach can be expanded. In the future, this will make it possible to move from the organization of a potentially effective, but difficult to implement in practice, "Single Information Space" to a "unified information field".

Keywords: automation of control, information support, decision support, information and linguistic support, information interaction

For citation: Tikhanychev O. On the problem of information support of decision-making automation. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 62-72 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-62-72

Введение

Процесс автоматизации управления, как любой процесс создания сложных систем, сопровождается целым рядом проблем самого разного характера. Одна из них, это группа проблем информационного обмена: как между программой и пользователем, так и между различными программами (интероперабельность). С точки зрения системного

подхода, основная причина проблем информационного обмена, при всем их разнообразии – то, что программы оперируют исключительно формализованной информацией, данными. Данными, которые формализуются по определённым правилам, часто различным для разных систем. В настоящее время существуют и применяются на практике различные подходы к организации меж-

программного взаимодействия, но действительно эффективного и универсального средства до настоящего времени не разработано, проблема до сих пор остается актуальной. Анализ опыта работ в предметной области позволяет предположить, что препятствием к решению проблемы является использование организационных методов обеспечения взаимодействия, которые в настоящее время являются основными, но не всегда эффективно работают в условиях мультиагентного взаимодействия на длительном периоде развития взаимодействующих систем [1, 2, 3]. Предлагается сформулировать постановку задачи для поиска эффективного решения проблемы, основанного на других подходах.

Проблема совместимости мультиагентных систем

Проблема формализации информации при работе с программным обеспечением автоматизированных систем управления (АСУ) в настоящее время решается использованием компонентов информационного обеспечения (ИО) из состава информационно-лингвистического обеспечения АСУ: классификаторов, словарей, унифицированных форм документов. Такой подход, обеспечиваемый обменом на уровне данных (*at data level*), вполне адекватно обеспечивал решение проблемы человеко-машинного и межпрограммного взаимодействия на начальном этапе развития информационных технологий, как для простых, так и для распределенных систем, через прямой доступ и репликацию (*replication*) баз данных. Но, с ростом масштаба управляемых систем, с повышением количества агентов, взаимодействующих в АСУ, данный подход, стал источником проблем, в первую очередь, в части информационной совместимости разнородных средств автоматизации управления. Текущее состояние, сложившееся в области обеспечения взаимодействия, затрудняет процесс разработки и внедрения в практику автоматизированных систем управления, как

материальной основы поддержки принятия и выполнения управленческих решений.

В соответствии с существующими нормативными документами, проблема межпрограммного взаимодействия решается на основе разработки протоколов обмена, с детализацией по видам взаимодействия: техническое, организационное, программное и информационное [4-8]. Алгоритмически подобное взаимодействие реализуется разными способами: разработкой исполняемых процедур сопрягаемых баз данных с передачей классификаторов, обменом через XML (*eXtensible Markup Language*) и JSON (*JavaScript Object Notation*) файлы, через протоколы HLA (*High Level Architecture, standard IEEE 1516-2010*) и другими (обмен на «уровне сервисов» или *at service level*).

Технологически указанные алгоритмы реализуются через разработку программ-адаптеров (уровень брокеров – *broker level*). Впрочем, конкретный тип применяемых алгоритмов и технологий не важен, так как в основе всех их лежит один принцип – заранее согласованное сопоставление в соответствие классификаторов и словарей взаимодействующих программ и систем (рис. 1).

При относительно небольшом количестве взаимодействующих агентов такой подход работает достаточно успешно. Но, как показывает практика, любой протокол, это, в первую очередь, вопрос поддержания его в актуальном состоянии. Данный вопрос, как правило, решается выполнением ряда организационных мероприятий. С ростом количества агентов, участвующих в процессе управления, эффективность подхода к организации взаимодействия на основе протоколов сопряжения постоянно снижается. Задача организации взаимодействия осложняется ещё и тем, что базы данных современных АСУ, по сути, являются не классическими базами данных, а хранилищами разнородной информации: фактографической, документальной, графической, аудиовизуальной. То есть банками данных, интегрирующими разнородную

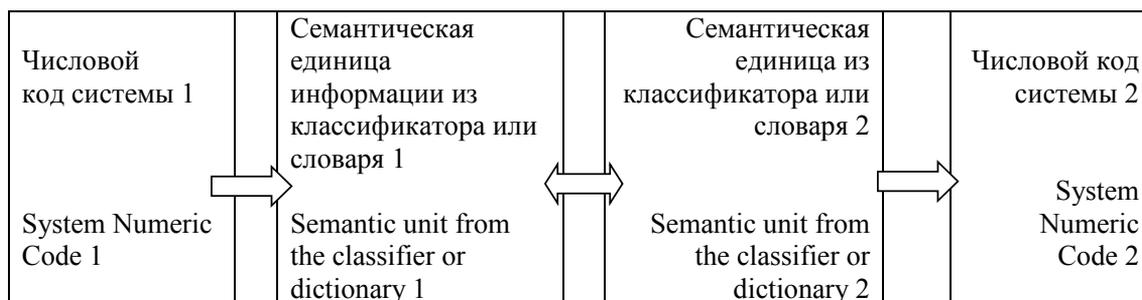


Рис. 1. Схема существующего принципа организации информационного взаимодействия

Fig. 1. Scheme of the existing principle of organization of information interaction

информацию, отличающуюся по формату и уровню формализации. Наличие этих факторов приводит к тому, что эксплуатация АСУ, с точки зрения информационного обеспечения, превращается в процесс ликвидации постоянно возникающих «разрывов» в информационном поле системы. Это порождает системное противоречие между потребностью в управлении крупными распределенными системами и невозможностью обеспечить эффективное функционирование систем автоматизированного управления в едином цикле. Всё это делает для АСУ, которые, по определению, должны формироваться на основе разнородных средств автоматизации, объединяемых для обеспечения решения задач управления [9, 10], указанную проблему чрезвычайно актуальной.

Решением задачи обеспечения интероперабельности могло стать создание единого информационного поля для взаимодействующих комплексов АСУ, реализованных в разных предметных областях [11]. Пример реализации подобного подхода, разработка концепции создания так называемого «Единого информационного пространства» (ЕИП) для АСУ военного назначения, в рамках которого предлагалось обеспечить взаимодействие через использование единых моделей данных, системы унифицированных классификаторов и общих правил их использования. Но, наиболее очевидное и потенциально эффективное решение, как это часто бывает, оказалось не самым рациональным: несмотря на опре-

деленные успехи, ЕИП так и не было создано в полном объеме, и, соответственно проблема совместимости автоматизированных систем оказалась не решена [12, 13, 14]. Препятствия применению подхода к обеспечению совместимости на основе ЕИП, по сути своей правильного, как показала практика, находятся преимущественно в организационной области. И есть обоснованные опасения, что в обозримом будущем они не будут преодолены.

Возникает вопрос, неужели нет иных путей разрешения кризиса информационного обмена в мультиагентных системах? Анализ предметной области показывает, что отличные от применяемых в настоящее время варианты решения, существуют.

Особенности информационной совместимости в системах различного назначения

Анализ проблемы организации взаимодействия показывает, что одной из причин ее возникновения является потребность в организации жесткой связи между неформализованной информацией, ее описанием классификационными признаками и их реализацией в машинных кодах, на аппаратноориентированном уровне данных.

В то же время, детальный анализ ситуации позволяет сделать вывод, что не все распределенные автоматизированные системы

одинаково критичны к методам кодирования информации:

- существует группа АСУ, которые крайне критичны к распознаванию данных. Это, в основном, системы, управляющие потенциально опасными объектами промышленной, энергетической и информационной инфраструктуры, а также сегментами боевого управления АСУ военного назначения;

- в практике встречаются системы, достаточно лояльно относящиеся к распознаванию информации в процессе обмена, располагающие временем и техническими возможностями для уточнения данных в ходе распознавания. Это ERP и CSRP-подобные системы (Enterprise Resource Planning и Customer Synchronized Resources Planning) управления предприятием, разнообразные системы управления процессами производства, такие, как PLM-системы (Product Lifecycle management), а также сегменты управления повседневной деятельностью из состава АСУ военного назначения. Все эти системы не относятся к системам реального времени, они всегда оставляют запас времени на анализ и уточнение данных, в том числе в части обеспечения взаимодействия. Кроме того, в алгоритмах эксплуатации подобных систем часто предусматривается время на предварительную настройку взаимодействующих программ.

Обзорный анализ показывает, что системы управления первого типа встречаются много реже, чем второго. Более того, первые системы, как правило, относительно изолированы от сторонних средств и проблема совместимости для них стоит не так остро.

Таким образом, анализ систем автоматизированного управления показал, что в практике существует достаточно крупный кластер систем, для которых развитие технологий, не меняя базового принципа организации взаимодействия, может предложить другие, отличные от существующих «жестких», принципы формализации информации, обеспечивающие решение проблемы совместимости, например,

алгоритмические, основанные на динамической интерпретации информации.

Один из вариантов решения интероперабельности в автоматизированных системах

Результаты анализа особенностей управляемых систем показывают, что альтернативным вариантом решения проблемы информационной совместимости для целого кластера АСУ может быть использование математических методов формализации информации: элементов нечеткой логики, мягких вычислений и других, которые можно обозначить как «нечеткую» классификацию, в противовес используемой в настоящее время «жесткой».

Данный вывод подтверждается практическим опытом: его частные варианты апробированы на практике [15, 16, 17]. Например, в качестве одно из вариантов решения задач обеспечения информационной совместимости могут быть использованы многомерные OLAP-матрицы. Алгоритмы интеллектуального анализа данных посредством интеграции технологии OLAP (*Online Analytical Processing*) и нечеткой логики, описанные в работе [15] вполне могут быть применены для организации «нечеткой» классификации и кодирования (рис. 2). Реализуемые в них средства для комплексного многомерного анализа больших объемов данных, могут использоваться в АСУ для классификации объектов и явлений, не описанных строгими правилами.

В работах [16, 17] описаны алгоритмы распознавания текста, которые, при соблюдении определенных условий, могут быть применены в структуре «нечеткого» информационного обеспечения АСУ. Предложенное в них применение механизмов теории нечетких множеств для комбинирования выходов классификаторов на основе t - (треугольной) и s -норм (треугольной t -нормы), может быть использовано для анализа классификацион-

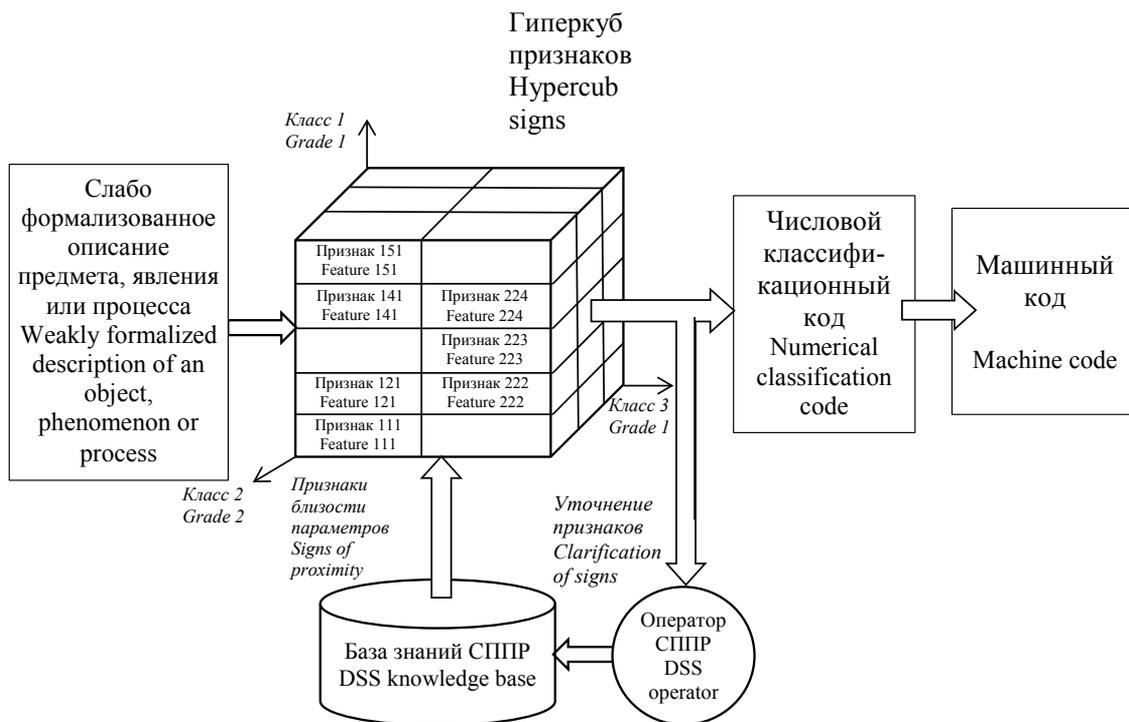


Рис. 2. Графическая интерпретация принципа нечеткой классификации и кодирования
Fig. 2. Graphical interpretation of the principle of fuzzy classification and coding

ных признаков в системах автоматизированного управления. При использовании такого подхода, система «нечеткой» классификации и кодирования может формироваться на основе подмножеств A в X в виде набора упорядоченных связей вида:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X, \mu_A : X \rightarrow I = [0, 1]\},$$

где $\mu_A(x)$ - степень принадлежности x к A ; $X \rightarrow I = [0, 1]$ – степень принадлежности x к классу I .

Кодирование поступающей информации в рамках «гибких» подходов может осуществляться автоматически на основе степени соответствия ее множеству признаков. Механизмы такого кодирования на основе функций принадлежности успешно реализуются некоторыми современными системами управления базами данных [18]. В случае, если уверенное кодирование не может быть осуществлено программой, к формированию

базы знаний признаков может привлекаться оператор АСУ (см. рис. 2).

Еще один подход, который может быть использован для формирования «нечеткого» ИО, его организация на основе RDF-графов, применяемых в семантической среде представления данных RDF (*Resource Description Framework*). Теоретически, этот подход способен обеспечить настраиваемость системы неявных отношений (в рамках модели RDF – триплетов) и обучаемость реализующих «нечеткое» информационное обеспечение АСУ RDF-графов.

Кроме перечисленных подходов, для решения задач классификации и кодирования могут также использоваться алгоритмы на основе семантических сетей [19, 20], нейронных сетей и другие методы работы с большими массивами слабоструктурированной информации. В принципе, какой алгоритмический подход будет использован для ре-

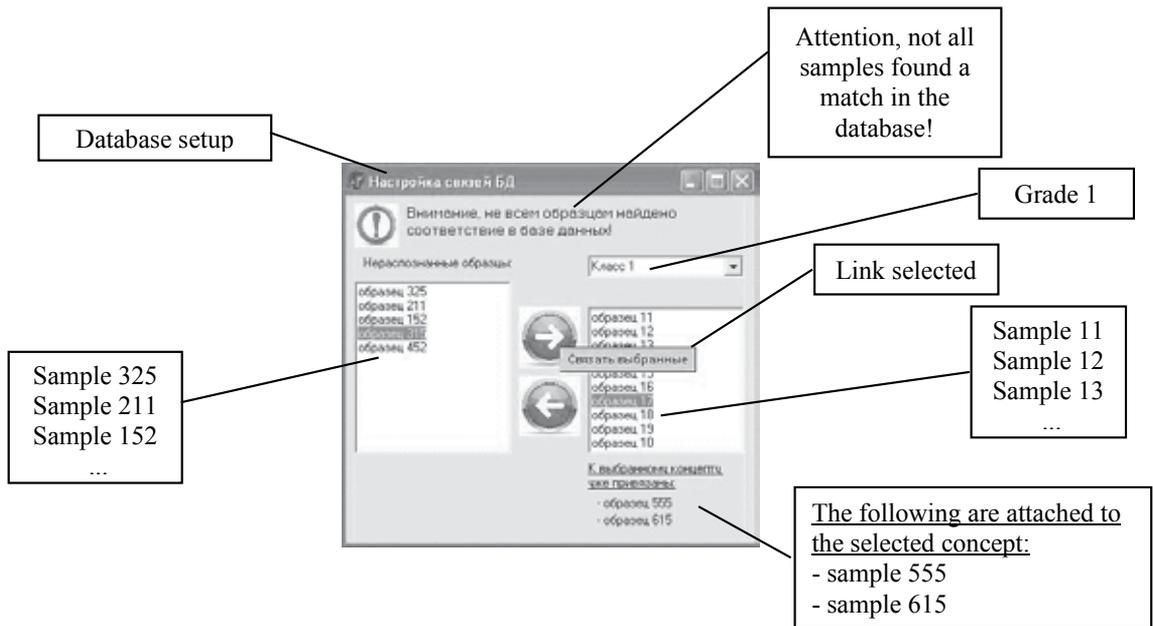


Рис. 3. Программная форма настройки отношений базы данных автоматизированной системы

Fig. 3. The software form for setting up the database relationships of an automated system

шения задачи «нечеткого» кодирования – не важно, выбор способа является предметом исследований в ходе этапа концептуальной разработки конкретной АСУ. Важен результат, обеспечивающий эффективное функционирование АСУ.

С использованием предлагаемых алгоритмических подходов вполне может быть создан прецедент по разработке и использованию «нечеткого» в системах автоматизированного управления. Возможность и эффективность использования конкретного метода создания «нечеткого» ИО может быть подтверждена практическими экспериментами и дальнейшими исследованиями.

Впрочем, попытка реализации отдельных принципов подобного подхода, в части применения настраиваемого ИО в виде матриц соответствия «один ко многим», была на практике реализована коллективом программистов, в котором трудился автор, в ходе выполнения работ по созданию программного обеспечения. Был использован следующий механизм: при работе в системе «жест-

кого» кодирования, когда в ходе обновления базы, программа не могла распознать какие-либо данные, по результатам анализа классификационных признаков оператору вывело сообщение с предложением выбрать класс информации для присвоения нераспознанным данным (рис. 3). Оператор, проанализировав информацию, классифицировал нераспознанные программой данные и сохранял уточнения в матрице соответствия. Дополненная матрица связей запоминалась в базе данных с пометкой «классифицировано оператором» и использовалась в ходе последующих обновлений.

Разумеется, примененный вариант настройки базы данных является частным случаем решения проблемы информационного обеспечения. Но его успешная реализация позволяет сделать вывод, что используемые принципы могут быть применены для решения аналогичных задач в крупных системах. Требуется лишь адаптация метода к масштабам и структуре системы.

Заключение

Сформулированная в статье постановка задачи обеспечения информационной совместности АСУ алгоритмическими методами, может быть реализована в системе организации взаимодействия большинства существующих и разрабатываемых АСУ, с учетом ограничений по применимости математических методов «гибкой» формализации в системах с высокими требованиями по оперативности доведения информации. В большинстве автоматизированных систем поддержки принятия решений использование предлагаемого подхода весьма вероятно в связи с тем, что подобные системы по определению работают со слабоформализованной информацией [9, 10, 20] и имеют собственные средства обработки разнородной информации: программно реализованные алгоритмы обработки разнородных данных, базы знаний, наборы решающих правил [21–29]. И воспользоваться возможностями этих компонентов для разрешения проблемы информационного обеспечения их функционирования в составе АСУ представляется вполне логичным.

Решение сформулированной задачи позволит решить ряд важных научнопрактических проблем.

Во-первых, обеспечить переход от согласовательного подхода, основанного на периодическом уточнении протоколов взаимодействия комплексов средств автоматизации, к оповестительной системе корректировки информационного обеспечения АСУ. Такой переход обещает решение проблемы интероперабельности за счёт существенного упрощения организации информационного взаимодействия разнородных мультиагентных систем.

Во-вторых, за счёт предоставления возможности разнообразить описываемые свойства сущностей баз данных, формируется перспектива использования в мультиагентных АСУ общих моделей данных, обеспечивающих динамический учет текущего состо-

яния управляемых объектов в едином цикле управления.

И, в-третьих, важно отметить, что применение предлагаемого в статье подхода не противоречит созданию ЕИП, а дополняет его, переводя процесс создания единого информационного поля АСУ из организационной плоскости в технологическую. И позволяя перейти от красивой, но практически нереализуемой в распределенных системах идеи создания «Единого информационного пространства» к созданию куда как более реального «объединенного информационного поля».

Список литературы

1. Баранюк В. В. Основные направления создания единого информационного пространства ВС РФ // Военная Мысль. 2004. № 11. С. 32–33.
2. Копытко В. К., Шентура В. Н. Проблемы построения единого информационного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации и возможные пути их решения // Военная мысль. 2011. № 10. С. 16–26.
3. Голубев Ю. Н., Каргин В. Н. Информационные технологии в управлении войсками // Военная Мысль. 2005. № 6. С. 43–45.
4. ГОСТ 34.003-90 Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения (утв. постановлением Госстандарта СССР от 27 декабря 1990 г. № 3399). М.: Стандартинформ, 2009. – 16 с.
5. ГОСТ Р 52292-2004 Информационная технология. Электронный обмен информацией. Термины и определения (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2004 г. № 135-ст). М.: Стандартинформ, 2005. – 16 с.
6. ГОСТ 15971-90 Системы обработки информации. Термины и определения (утв. и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 26.10.1990 г. № 2698). М.: Издательство стандартов, 1991. – 13 с.
7. ГОСТ Р 43.0.4-2009 Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Информация в технической деятельности. Общие положения (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7.09.2011 г. № 258-ст). М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.

8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99 Информа-ционная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 18 марта 1999 г. № 78). М.: Стандартиформ, 2006. – 58 с.
9. Тиханычев О. В. Системы поддержки принятия решений – перспективное направление развития автоматизации управления войсками (силами) // Военная мысль. 2012. № 8. С. 45–51.
10. Тиханычев О. В. Общие подходы к обеспечению автоматизированной поддержки принятия решений. М.: Эдитус, 2014. – 64 с.
11. Концепция формирования и развития единого информационного пространства России и соответствующих государственных информационных ресурсов (одобрена решением Президента РФ от 23.11.1995 №Пр-1694). URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXR&n=240699#024800588408_914304 (дата обращения 13.12.2019).
12. Ахмадишин И. Н., Баранюк В. В. Организационные вопросы создания информационной службы ВС РФ // Военная мысль. 2003. № 4. С. 45–49.
13. Чумичкин А. А. Обоснование путей создания эталонной модели данных единого информационного пространства ВС РФ // Вооружение и экономика. 2009. № 1 (5). С. 35– 42.
14. Черныш А. Я., Попов В. В. Об эволюции теории и практики единого информационного пространства и первоочередных мерах по его развитию в интересах повышения эффективности национальной обороны Российской Федерации // Военная мысль. 2019. №9. С. 47–54.
15. Еремеев А. П., Еремеев А. А. Интеграция технологии OLAP и нечетких множеств для обработки неопределенных и неточных данных в системах поддержки принятия решений // Программные продукты и системы. 2013. № 1. С. 6–11.
16. Багрова И. А., Пономарев С. А., Сорокин С. В., Сытник Д. А. Комбинирование классификаторов на основе теории нечетких множеств // Программные продукты и системы. 2010. № 4. С. 112–117..
17. Сорокин С. В., Улянов С. В., Нефедов Н. Ю., Решетников А. Г. Архитектура подсистемы нечеткого вывода для оптимизатора баз знаний // Программные продукты и системы. 2013. № 1. С. 20–25
18. Сорокин В. Е. Хранение и эффективная обработка нечетких данных в СУБД PostgreSQL // Программные продукты и системы. 2017. № 4. С. 609–618.
19. Письмак А. Е., Харитонова А. Е., Клименков С. Е. Метод автоматического формирования семантической сети из слабоструктурированных источников // Программные продукты и системы. 2016. № 3. С. 74–78.
20. Тиханычев О. В. Об информационном обеспечении поддержки принятия решений // Программные продукты и системы. 2018. № 2. С. 311–315 DOI:10.15827/0236235X.122.311–315.
21. Codd Edgar F. Providing OLAP to User-Analysts: An IT Mandate // Computerworld. 1998. Vol. 27. No. 30. P. 20–26.
22. Pendse Nigel. The origins of today’s OLAP products. OLAP Report (20 July 2002). URL: <http://dssresources.com/papers/features/pendse10062002.html> (дата обращения 19.11.2019)
23. Krzysztof J. Cios, Data Mining: A Knowledge Discovery Approach, Springer Science&Business Media, LLC Publishing, 2007. – 597 p.
24. Щекочихин О. В., Шведенко П. В. Анализ уровней интеграции компонентов гетерогенных информационных систем // Программные продукты и системы. 2016. № 4. С. 73–77.
25. Письмак А. Е., Харитонова А. Е., Клименков С. Е. Метод автоматического формирования семантической сети из слабоструктурированных источников // Программные продукты и системы. 2016. № 3. С. 74–78.
26. Olivier Cure, Guillaume Blin. RDF Database Systems. Morgan Kaufmann Publishing, 2014. – 256 p.
27. Кривенко М. П. Обучаемая классификация данных с учетом анализа главных компонент // Информатика и ее применения. 2018. Т. 12. № 3. С. 56–61 DOI: 10.14357/19922264180308.
28. Toby Segaran, Colin Evans, Jamie Taylor. Programming the Semantic Web. O’Reilly Media Publishing, 2009. – 302 p.
29. Исаченко Р. В., Стрижов В. В. Метрическое обучение в задачах мультиклассовой классификации временных рядов // Информатика и ее применения. 2016. Т. 10. № 2. С. 48–57 DOI: 10.14357/19922264160205.

Сведения об авторе

Тиханычев Олег Васильевич, ORCID 0000-0003-4759-2931, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела управления перспективных разработок, ГК «Техносерв», Москва, Россия, tow65@yandex.ru

Статья поступила 15.05.2020, рассмотрена 11.06.2020, принята 17.06.2020

References

1. Baranyuk V. V. Osnovnyie napravleniya sozdaniya edinogo informatsionnogo prostranstva VS RF [The main directions of creating a unified information space of the Russian Armed Forces]. *Voennaya Mysl*=Military Thought, 2004, no. 11, pp. 32–33 (in Russian)
2. Kopyitko V. K., Sheptura V. N. *Problemyi postroeniya edinogo informatsionnogo prostranstva Vooruzhennyih Sil Rossiyskoy Federatsii i vozmozhnyie puti ih resheniya* [Problems of building a single information space of

- the Armed Forces of the Russian Federation and possible solutions]. *Voennaya mysl*=Military Thought, 2011, no. 10, pp. 16–26
3. Golubev Yu. N., Kargin V. N. *Informatsionnyie tehnologii v upravlenii voyskami* [Information technology in the management of troops]. *Voennaya Mysl*=Military Thought, 2005, no. 6, pp. 43–45
 4. GOST 34.003-90 *Informacionnyie tehnologii. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Terminy i opredeleniya* [State Standard – 34.003-90. Information Technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Terms and Definitions]. Moscow, *Standartinform Publ.*, 2009, 16 p.
 5. GOST R 52292-2004 *Informacionnaya tehnologiya. Ehlektronnyj obmen informaciej. Terminy i opredeleniya* [State Standard – 52292-2004. Information technology. Electronic exchange of information. Terms and Definitions]. Moscow, *Standartinform Publ.*, 2005, 16 p.
 6. GOST 15971-90 *Sistemy obrabotki informacii. Terminy i opredeleniya* [State Standard – 15971-90. Information processing systems. Terms and Definitions]. Moscow, *Standartinform Publ.*, 1991, 16 p.
 7. GOST R 43.0.4-2009 *Informacionnoe obespechenie tekhniki i operatorskoj deyatel'nosti. Informaciya v tekhnicheskoy deyatel'nosti. Obshchie polozheniya* [State Standard – 43.0.4-2009. Information support of equipment and operator activity. Information in technical activities. General Provisions]. Moscow, *Standartinform Publ.*, 2010, 16 p.
 8. GOST R ISO/MEK 7498-1-99 *Informacionnaya tehnologiya. Vzaimosvyaz' otkrytyh sistem. Bazovaya ehtalonnaya model'* [State Standard – 7498-1-99. Information technology. Interconnection of open systems. Base reference model]. Moscow, *Standartinform Publ.*, 2006, 58 p.
 9. Tikhanyichev O. V. *Sistemyi podderzhki prinyatiya resheniy – perspektivnoe napravlenie razvitiya avtomatizatsii upravleniya voyskami (silami)* [Decision Support Systems – a promising direction of development of command and control automation (forces)]. *Voennaya mysl*=Military Thought, 2012, no. 8, pp. 45–51
 10. Tikhanyichev O. V. *Obshie podkhody k obespecheniyu avtomatizirovannoy podderzhki prinyatiya resheniy* [General approaches to providing automated decision support]. Moscow, *Editus Publ.*, 2014, 64 p.
 11. RF Federal Law “The concept of the formation and development of a single information space in Russia and related state information resources” (approved by the decision of the President of the Russian Federation of 11.23.1995 Pr-1694). Available at: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=240699#0248005884089143_04 (accessed 13.12.2019)
 12. Ahmadishin I. N., Baranyuk V. V. *Organizatsionnyie voprosy sozdaniya informatsionnoy sluzhbyi VS RF* [Organizational matters creation of an information service of the Armed Forces]. *Voennaya mysl*=Military Thought, 2003, no. 4, pp. 45–49
 13. Chumichkin A. A. Substantiation of ways of creation of reference model of the data of uniform information space of Armed forces of the Russian Federation. *Vooruzhenie i ekonomika*=Armament and economics, 2009, no. 1(5), pp. 35–42 (in Russian)
 14. Chernysh A. Ya., Popov V. V. *Ob evolyucii teorii i praktiki edinogo informacionnogo prostranstva i pervoocherednyh merah po ego razvitiyu v interesah povysheniya effektivnosti nacional'noj oboronoj Rossijskoj Federacii* [On the evolution of the theory and practice of a single information space and priority measures for its development in the interests of increasing the effectiveness of the national defense of the Russian Federation]. *Voennaya mysl*=Military Thought, 2019, no. 9, pp. 47–54
 15. Ereemeev A. P., Ereemeev A. A. Integration of the OLAP technology and fuzzy sets for processing of uncertain and inexact data in decision support systems. *Programmnyie produkty i sistemy*=Software & Systems, 2013, no. 1, pp. 6–11 (in Russian)
 16. Bagrova I. A., Ponomarev S. A., Sorokin S. V., Sytnik D. A. Combining classifiers based on the theory of fuzzy sets. *Programmnyie produkty i sistemy*=Software & Systems, 2010, no. 4. pp. 112117 (in Russian).
 17. Sorokin S. V., Ulyanov S. V., Nefedov N. Yu., Reshetnikov A. G. Fuzzy Inference Architecture for Soft Computing Optimizer of Knowledge Bases. *Programmnyie produkty i sistemy*=Software & Systems, 2013, no. 1, pp. 20–25 (in Russian).
 18. Sorokin V. E. Fuzzy data storing and efficient processing in PostgreSQL DBMS. Bases. *Programmnyie produkty i sistemy*=Software and Systems, 2017, no. 4, pp. 609–618 (in Russian)
 19. Pismak A. E., Haritonova A. E., Klimenkov S. E. Method of automatic generation of semantic network from semi-structured sources. *Programmnyie produkty i sistemy*=Software & Systems, 2016, no. 3, pp. 74–78 (in Russian)
 20. Tikhanyichev O.V. On Information Support of Decision Support. *Programmnyie produkty i sistemy*=Software & Systems, 2018, no. 2, pp. 311-315. (in Russian). DOI: 10.15827/0236235X.122.311-315.
 21. Providing OLAP to User-Analysts: An IT Mandate. *Computerworld*, 1998, vol.27, no. 30, pp. 20–26.
 22. Pendse Nigel. The origins of today's OLAP products. OLAP Report (20 July 2002). Available at: <http://dss-resources.com/papers/features/pendse10062002.html> (accessed 19.11.2019).

23. Krzysztof J. Cios, Data Mining: A Knowledge Discovery Approach, Springer Science&Business Media, LLC Publ., 2007, 597 p.
24. Schekhochikhin O.V., Shvedenko P.V. Analysis of integration levels of heterogeneous information system components. *Programmnyie produkty i sistemy*=Software & Systems, 2016, no. 4, pp.73–77 (in Russian).
25. Pismak A. E., Haritonova A. E., Klimenkov S. E. Method of automatic generation of semantic network from semi-structured sources. *Programmnyie produkty i sistemy*= Software & Systems, 2016, no. 3, pp.74–78 (in Russian).
26. Olivier Cure, Guillaume Blin. RDF Database Systems. Morgan Kaufmann Publ., 2014, 256 p
27. Krivenko M. P. Supervised Learning Classification of Data Taking into Account Principal Component Analysts. *Informatika I ee primeneniya*=Informatics and Applications, 2018, vol. 12, no. 3, pp. 56–61. (in Russian) DOI: 10.14357/19922264180308.
28. Toby Segaran, Colin Evans, Jamie Taylor. Programming the Semantic Web. O'Reilly Media Publ., 2009, 302 p.
29. Isachenko R. V. and Strijov V. V. Metric Learning in Multiclass Time Series classification Problem. *Informatika I ee primeneniya*=Informatics and Applications, 2016, vol. 10, no. 2, pp. 48–57. (in Russian) DOI: 10.14357/19922264160205.

About the author

Oleg V. Tikhanychev, ORCID 0000-0003-4759-2931, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Advanced Development Management, Group of companies "Technoserv", Moscow, Russia, tow65@yandex.ru

Received 15.05.2020, reviewed 11.06.2020, accepted 17.06.2020 .

Опыт разработки и эксплуатации информационной системы учета криминальной статистики

Ю. В. Гольчевский^{1*}, Р. А. Гашин², П. А. Гарбузов²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия

² Вычислительный центр Информационного центра МВД по Республике Коми, г. Сыктывкар, Россия

* yurygol@mail.ru

Аннотация. В работе представлено исследование в области разработки и эксплуатации информационной системы учета криминальной статистики в органах внутренних дел Российской Федерации. Типового централизованно распространяемого подобного программного обеспечения в системе МВД России на сегодняшний день не существует. Ввиду этого, проектирование и разработка информационных систем в каждом субъекте Российской Федерации ведется самостоятельно. В Республике Коми система учета криминальной статистики была разработана и внедрена в 2017 году силами информационного центра МВД по Республике Коми и зарекомендовала себя как надежный, высокопроизводительный инструмент. Целью данной работы является обобщение опыта разработки и эксплуатации программно-технического комплекса учета криминальной статистики. Архитектура программного решения выполнена в виде отдельных модулей, что позволяет более гибко использовать доступные ресурсы вычислительных машин (серверное оборудование и персональные компьютеры пользователей). Показаны и описаны наиболее интересные с точки зрения технической реализации модули программно-технического комплекса: модуль логического контроля с описанием уровней логического контроля, особенности проектирования справочников и реализации структуры базы данных. Описан опыт эксплуатации программно-технического комплекса. Внедрение данного решения привело к значительному уменьшению количества нарушений в области уголовного делопроизводства, повышению скорости получения объективной информации о криминогенной ситуации в регионе, дало возможность в режиме реального времени производить сверку с другими системами учета, например, производить сверку между уголовной и административной практиками.

Ключевые слова: статистическая карточка, информационная система учета, проектирование и анализ программных систем, программные инструменты, опыт разработки, опыт эксплуатации

Для цитирования: Гольчевский Ю. В., Гашин Р. А., Гарбузов П. А. Опыт разработки и эксплуатации информационной системы учета криминальной статистики // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 5. С. 73–84. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-73-84

Information system for criminal statistics accounting development and operation experience

Yu. Golchevskiy^{1*}, R. Gashin², P. Garbuzov²

¹ Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

² Information Center of the Ministry of Internal Affairs for the Komi Republic, Syktyvkar, Russia

*yurygol@mail.ru

Abstract. Research in the field of development and operation of the information system for accounting of criminal statistics in the divisions of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation is presented in the paper. There is no standard software for criminal statistics accounting in the system of the Ministry of Internal Affairs today. In view of this, the design and development of information systems in each subject of the Russian Federation is carried out independently. In the Komi Republic, the criminal statistics accounting system was developed and implemented in 2017 by the information center of the Ministry of Internal Affairs in the Komi Republic. It has proven to be a reliable, high-performance tool. The purpose of this work is to generalize the experience of developing and operating of the software and technical complex for criminal statistics accounting. The architecture of the software solution is made in the form of separate modules, which allow more flexible use of available computer resources (server equipment and personal computers). The most interesting modules of the software and technical complex are shown and described: the logical control module, the levels of logical control, the features of designing directories and implementing the database structure. The experience of operating the software and hardware complex is described. Implementation of this solution led to a significant decrease in the number of violations in the field of criminal accounting, increase the speed of obtaining objective information about the crime situation in the region. It enabled real-time reconciliation with other accounting systems, for example, to produce a reconciliation between the criminal and administrative practices.

Keywords: statistical card, information accounting system, software systems design and analysis, software tools, development experience, operational experience

For citation: Golchevskiy Yu., Gashin R., Garbuzov P. Information system for criminal statistics accounting development and operation experience. *Prikladnaya informatika*—Journal of Applied Informatics, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 73–84 (in Russian) DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-73-84

Введение

В современном мире информационные технологии проникли во все сферы деятельности человека. Не является исключением и деятельность правоохранительных органов. Во всем мире исследуются возможности применения современных информацион-

ных технологий в работе полиции. В качестве примера можно привести исследования и программные разработки в криминалистической деятельности, связанные с автоматизацией обработки и интерпретации разнородных данных из многочисленных документов различных типов и форматов, полицейских

отчетов и баз данных, интернет-источников, включая социальные сети, и других, приведенные в работах [1, 2], исследование и применение технологий анализа данных в приложениях, а также технологий анализа больших данных в сфере безопасности и уголовного розыска [3, 4], предложение подходов к интеллектуальному анализу данных для оперативного и стратегического планирования работы полицейских участков [5, 6], изучение вопросов автоматизации процессов картографирования преступлений с использованием пространственных данных на базе облачной архитектуры, веб-приложения и Google Map API [7]. Большое внимание уделяется исследованиям всевозможных систем компьютерного зрения для распознавания людей и предметов, включая автомобили и оружие, распознавания конфликтных ситуаций, потенциально приводящих к преступлениям [8, 9] и т. п.

Но наряду с подобными технологиями, несомненно востребованными в скором будущем, достаточно остро в различных странах стоит вопрос обеспечения автоматизации учета документов в работе полиции уже сейчас, о чем свидетельствуют работы [10, 11] и другие. И, в частности, это касается развития систем учета криминальной статистики. В материалах проекта «Открытая полиция» (<https://openpolice.ru/>) подчеркивается, что российская система учета такой статистики уникальна тем, что степень ее детализации, объема и глубины сопоставимых данных выше, чем в большинстве других стран мира.

Одной из важнейших составляющих частей работы органов следствия и дознания правоохранительных структур Российской Федерации является грамотная организация процесса расследования уголовных дел.

В системе Министерства внутренних дел (МВД) Российской Федерации действует строгая система уголовного делопроизводства в формате заполнения статистических карт на каждое выявленное преступление. Такие статистические карты обеспечивают представление полной имеющейся инфор-

мации о преступлении и этапах его расследования.

Существует несколько типов статистических карточек на уголовные дела [12]:

- 1) форма 1.0 – статистическая карточка на выявленное преступление;
- 2) форма 1.1 – статистическая карточка о результатах расследования преступления;
- 3) форма 1.2 – статистическая карточка на преступление, по которому лицо, его совершившее, установлено;
- 4) форма 2 – статистическая карточка на лицо, совершившее преступление;
- 5) форма 3 – статистическая карточка о движении уголовного дела;
- 6) форма 4 – статистическая карточка о результатах возмещения материального ущерба и изъятия предметов преступной деятельности;
- 7) форма 5 – статистическая карточка о потерпевшем;
- 8) форма 6 – статистическая карточка о результатах рассмотрения дела судом первой инстанции.

Статистическая карточка содержит большое количество реквизитов, которые необходимо заполнить лицу, ведущему расследование уголовного дела. Для оценки информационной насыщенности карточек можно изучить их образцы, представленные на ресурсе [12]. Практически во всех реквизитах используются кодовые значения, то есть заполняющий карточку сотрудник выбирает текстовое значение, а в соответствующее поле реквизита ставит код этого значения. Соответственно, при заполнении такого большого количества реквизитов очень большую роль начинает играть «человеческий фактор» – возникают различные логические ошибки.

Согласно официальной статистике, публикуемой на сайте МВД по Республике Коми, с 2016 по 2019 годы сотрудниками ведомства ежегодно возбуждается свыше 16-ти тысяч уголовных дел [13], что требует четко отлаженной информационной структуры учета.

Типового централизованно распространяемого программного обеспечения учета криминальной статистики в системе МВД России на сегодняшний день не существует. Ввиду этого, проектирование и разработка информационных систем в каждом субъекте Российской Федерации ведется самостоятельно.

В Республике Коми система учета криминальной статистики была разработана и внедрена в 2017 году силами информационного центра МВД по Республике Коми и успела зарекомендовать себя как надежный, высокопроизводительный инструмент.

Также можно отметить положительный опыт разработки собственных информационных систем учета зарегистрированных преступлений в Ставропольском крае.

Целью данной работы является обобщение опыта разработки и эксплуатации программно-технического комплекса (ПТК) учета криминальной статистики в системе МВД по Республике Коми.

Общая схема реализации ПТК

В предыдущей работе [14] был представлен процесс заполнения и движения статистической карточки, который действовал в МВД по Республике Коми до 2017 года, а также представлен новый механизм движения статистических карточек с учетом внедрения ПТК. Новый спроектированный механизм предполагает наличие одновременно двух вариантов статистических карточек: бумажного оригинала и электронного варианта. В процессе движения бумажного оригинала, электронный вариант проходит несколько стадий корректировки, дополнений и окончательной верификации. После прохождения всех установленных процедур бумажный вариант статистической карточки отправляется на хранение в архив, а электронный образ в конце отчетного периода участвует в формировании итоговой отчетности о криминальной ситуации.

Сформированный отчет направляется в Главный информационно-аналитический центр МВД России.

Для решения поставленных задач была предложена разработка ПТК на базе клиент-серверного подхода. Структурная схема основных компонентов комплекса представлена в работе [14].

В качестве серверной части выступает сервер базы данных на базе промышленной системы управления базами данных Oracle (далее СУБД Oracle). Разработка клиентской части комплекса осуществлялась на платформе Microsoft Visual C#.

При разработке клиентской части комплекса использовался модульный принцип построения программного приложения. Использование отдельных модулей позволяет вести разработку программного приложения изолированно от основного функционала программы, а также предоставляет более удобный механизм тестирования и отладки. На рисунке 1 приведена модульная структура ПТК.

Как видно из приведенной схемы, на сегодняшний день ПТК включает в себя десять основных модулей.

Одним из самых важнейших и трудно реализуемых модулей является модуль логического контроля вводимой информации. Представим более подробно работу данного модуля.

Модуль логического контроля

Модуль логического контроля предназначен для соблюдения требований заполнения статистических карточек, проверки корректности вводимой информации и соблюдения целостности информации, содержащейся в статистических формах.

Модуль включает в себя три уровня логических проверок (рис. 2):

1. контекстная (моментальная) проверка вводимых данных;

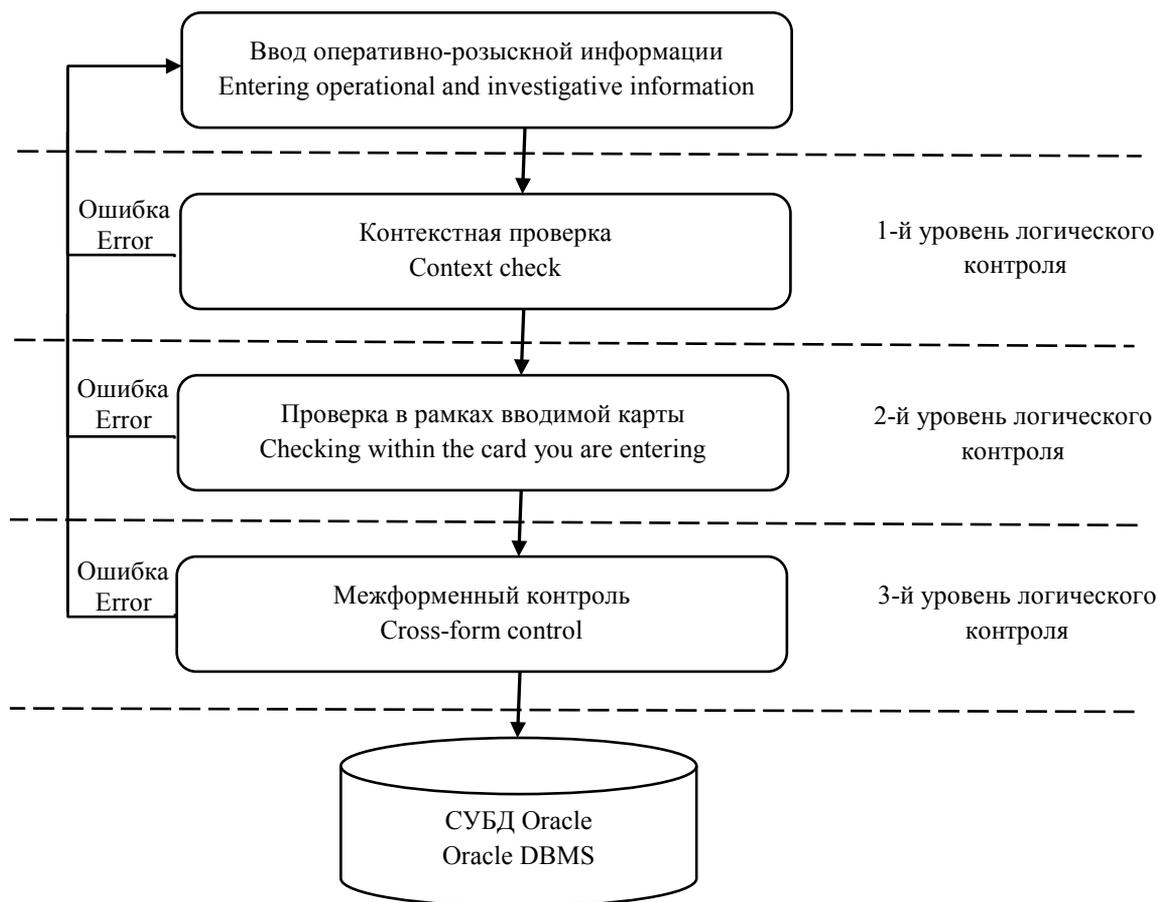


Рис. 1. Модульный принцип построения ПТК

Fig. 1. The modular structure of software and hardware complex design

2. логическая проверка в рамках вводимой карты;

3. межформенный логический контроль.

На этапе заполнения пользователем статистической карточки осуществляется контекстная (моментальная) проверка вводимой информации. Например, была реализована проверка корректности вводимых дат, проверка существования выбранных значений в справочниках, а также контроль за вводом в справочные реквизиты только числовых значений.

В ходе эксплуатации ПТК модуль моментальной проверки был существенно расширен. Был добавлен функционал, позволив-

ший обеспечить автоматическое заполнение ряда реквизитов уголовного дела на основе ранее введенной информации. Например, разработана функция автоматического вычисления тяжести преступления в зависимости от статьи Уголовного Кодекса, функция автоматического вычисления возраста лица, совершившего преступление в зависимости от его даты рождения, функция автоматического формирования единого уникального 16-значного номера уголовного дела и другие.

Использование уровня моментальной проверки позволяет заметно увеличить корректность ввода информации, а также повысить

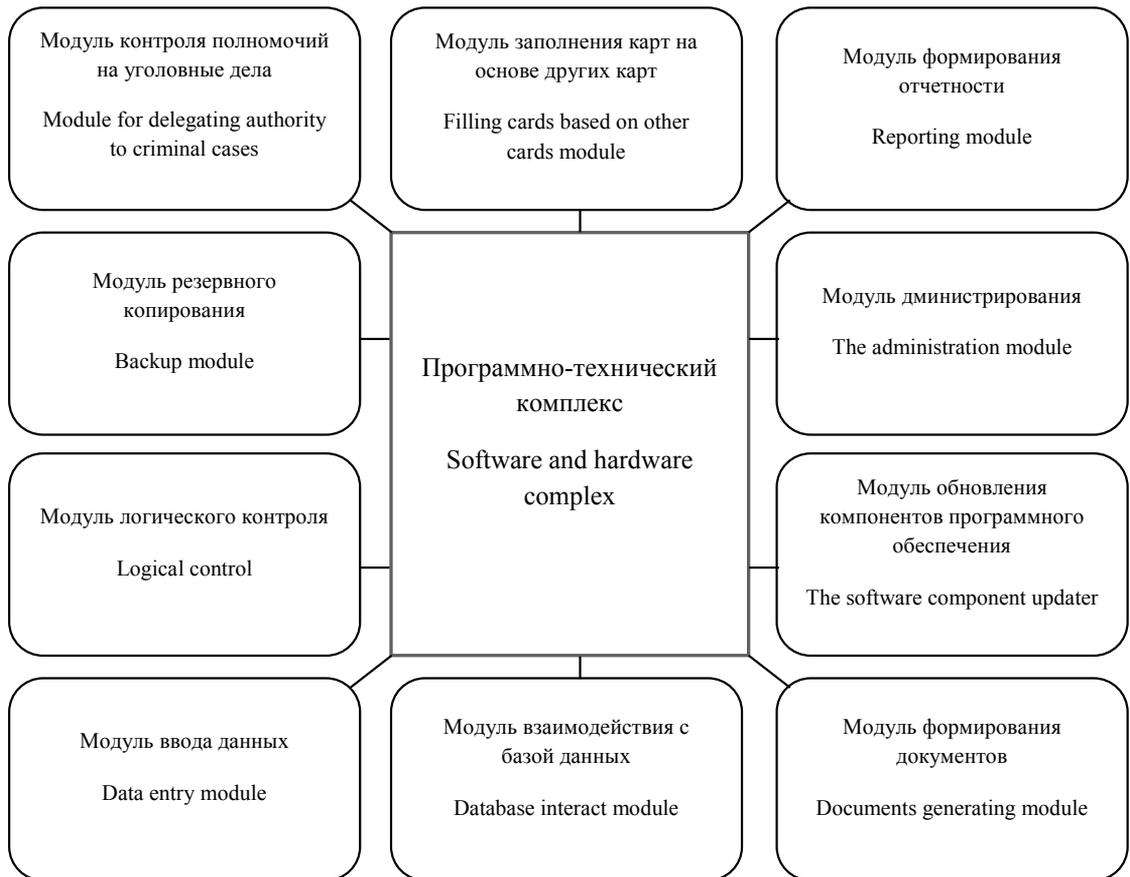


Рис. 2. Уровни логического контроля

Fig. 2. Logical control levels

внимательность сотрудников при заполнении статистических форм.

Второй и третий уровни логических проверок запускаются после того, как пользователь завершил заполнение статистической карточки и вызвал процедуру сохранения информации в базе данных.

На втором уровне контроля выполняются процедуры проверки введенной информации в рамках заполненной статистической формы. Они реализованы на основании требований Уголовного Кодекса Российской Федерации, а также нормативных правовых актов Прокуратуры и МВД Российской Федерации.

Если в результате проверки выявляются ошибки в заполнении данных статистиче-

ской карточки, программный комплекс выдает пользователю сообщение с указанием причины возникновения ошибки. В качестве примера, можно описать распространенную ошибку – если потерпевшим является несовершеннолетнее лицо, то в поле «Дополнительные характеристики преступления» необходимо это указать. Некорректное заполнение данного реквизита ведет к нарушению статистической отчетности.

Статистическая карточка не будет сохранена в базу данных до тех пор, пока пользователь не устранит все ошибки.

Уровень проверки в рамках одной формы показал себя эффективным инструментом, так как позволяет учитывать многие особенности и выявлять многочисленные ошибки,

связанные с некорректным заполнением статистических карт.

Постоянно возникающие изменения законодательства в данной предметной области потребовали также разработать программный механизм, позволяющий дополнять или корректировать логические условия.

Если процедуры проверки второго уровня не выявили ошибок, то запускается третий уровень логических проверок – межформенный контроль. Суть этого уровня заключается в проведении сверки общих реквизитов между различными формами одного и того же уголовного дела (например, форма 1 будет сверена с формой 2 и так далее). Если в результате сверки выявляются расхождения в общих реквизитах, то пользователь извещается об этом и получает подсказку с рекомендациями по проведению коррекции указанных реквизитов. Наличие ошибок на данном уровне позволяет пользователю сохранить информацию в базе данных и несут рекомендательный характер, так как в уголовном делопроизводстве возникают случаи, требующие отступления от норм учета уголовной статистики. Например, подобное происходит в сложносоставных многоэпизодных уголовных делах.

Уровни логического контроля позволяют обеспечивать не только корректное заполнение статистических карт, но и также повышать грамотность органов следствия и дознания в уголовном делопроизводстве. Также использование второго и третьего уровней логических проверок позволяет поддерживать в актуальном состоянии требования нормативных актов заполнения статистических карточек.

Справочники

Для реализации первого уровня логического контроля, а также для упрощения заполнения статистических карт в ПТК используются справочники. Реализовано несколько типов справочников:

1. простой справочник (код – текстовое значение);
2. составной справочник (код – код группы – текстовое значение);
3. словарь (текстовое значение).

Самым распространенным и часто используемым является простой справочник. Пользователь выбирает необходимое текстовое значение, а в ячейку с соответствующим реквизитом вставляется числовой код.

Составной справочник состоит из текстового значения, числового кода и кода группы. Данный тип справочника предназначен для более детального отображения информации о преступлении. Например, преступление совершено: в Северо-Западном федеральном округе → в Республике Коми → г. Сыктывкаре. Пользователю необходимо выбрать текстовое значение, после чего группа к которой принадлежит выбранное значение свернется, и пользователь продолжит дальнейший выбор значений.

Словари представляют собой наборы из текстовых значений, которые можно вводить в соответствующие реквизиты. Использование словарей позволяет добиться однотипности вводимой информации, а также придерживаться установленного образца ввода.

В 2019 году для приведения адресов мест совершения преступлений к единому виду, в ПТК был внедрен классификатор адресов Российской Федерации, который сопровождается и распространяется Федеральной налоговой службой.

В целом практически каждый реквизит статистической карточки предусматривает наличие одного из трех типов справочников, за исключением дат и фамилий.

Структура базы данных ПТК

Одним из важнейших элементов ПТК является реляционная база данных.

Спроектированная база данных условно разделена на три больших сегмента:

1. текущая база преступлений (содержатся уголовные дела, находящиеся в текущем производстве органов следствия и дознания);

2. база данных преступлений прошлых лет (содержатся нераскрытые и приостановленные уголовные дела);

3. служебные и вспомогательные таблицы.

В сегмент служебных и вспомогательных таблиц входят таблицы с данными пользователей и их правами, таблица описания реквизитов статистических форм, таблица с координатами печати статистических форм, таблица хранения истории изменений по каждой из статистических форм, а также другие служебные таблицы, играющие важную роль в обеспечении функционирования системы отчетности.

Текущая база преступлений и база преступлений прошлых лет по структуре идентичны. Существует некоторое отличие в накоплении информации в указанных сегментах. База преступлений прошлых лет является накопительной и увеличивается с каждым годом, в то время как текущая база в конце отчетного года переводится в архив. В результате новый календарный год начинается с чистой текущей базы.

Для хранения каждой статистической формы предусмотрена отдельная таблица, за исключением форм 1.0, 1.1, 1.2, которые реализованы в одной таблице для компактности размещения информации. Ключом уникальности являются год, номер уголовного дела и номер эпизода уголовного дела. По этим же реквизитам задается связь между таблицами различных статистических форм.

За каждой таблицей статистической формы закреплена таблица закрытой части базы, в которую помещаются записи, прошедшие верификацию сотрудниками Информационного центра. Таблицы закрытой части предназначены для формирования итоговой отчетности по результатам отчетного периода. Доступ в закрытую часть базы ограничен.

Также за каждой таблицей статистической формы закреплена таблица истории измене-

ний реквизитов, предназначенная для восстановления последовательности заполнения статистической карточки уголовного дела.

Все пользователи разбиты на три категории: сотрудники органов следствия и дознания, сотрудники учетно-регистрационных подразделений, сотрудники Информационного центра. Каждая статистическая карточка в базе данных принадлежит конкретному сотруднику органов следствия или дознания. Другим сотрудникам доступ к карточке запрещен, что гарантируется несколькими уровнями проверки.

Сотрудники учетно-регистрационной группы имеют полный доступ ко всем статистическим карточкам своего территориального органа. Сотрудники Информационного центра имеют полный доступ ко всем статистическим карточкам, находящимся в базе данных.

Такая структура базы данных и разделение полномочий между пользователями позволила в полной мере реализовать схему уголовного делопроизводства, которая соответствует требованиям законодательства Российской Федерации. Более подробно разработанная схема электронного движения уголовных дел была ранее представлена в работе [14].

Опыт эксплуатации программно-технического комплекса

За время эксплуатации ПТК были внесены изменения в работу ряда ключевых функций. Приведем несколько примеров.

Одним из самых спорных и тяжелых в реализации моментов является конец отчетного периода (отчетного месяца, квартала и года). Трудность заключается в том, что для подсчета итоговой статистики и подготовки отчетности требуется от 2 до 4 дней. Обычно это период с 1-го по 3-е числа месяца, следующего за отчетным. В данный период производится полная проверка базы данных, проверка корректности заполнения и выставле-

ния статистических карточек, а также непосредственно подсчет большого количества отчетов. В то же время работа органов следствия и дознания по выставлению и корректировке уголовных дел не должна останавливаться. Зачастую возникала ситуация, при которой в итоговую отчетность необходимо включить уголовное дело по состоянию на 30-е число отчетного месяца, но во время подсчета отчетов (1-го числа следующего месяца) следователь вносил текущие изменения в уголовное дело, что приводило к искажению статистики.

Для решения описанной проблемы была разработана схема работы с применением «закрытой базы уголовных дел», доступ к которой имеют только сотрудники Информационного центра. В нее в течение всего месяца попадают верифицированные уголовные дела. Во время закрытия отчетного периода, сотрудники Информационного центра переходят в режим «закрытой базы» и работают со сведениями отдельно от основной базы, что позволяет сотрудникам органов следствия и дознания продолжать свою работу в основной базе, не нарушая целостность данных в «закрытой базе» и не искажая статистические данные.

После подсчета отчетов и окончания закрытия отчетного периода вызывается процедура синхронизации информации из «открытой» и «закрытой» частей базы данных. Таким образом, после завершения отчетного периода уголовные дела в основной базе данных находятся в актуальном состоянии.

Данный опыт может быть полезен и в других системах статистического учета, действующих по аналогичной схеме предоставления отчетности.

На этапе ввода в эксплуатацию ПТК статистические карточки генерировались в формате документа Excel, что требовало достаточно больших временных затрат. Переход на режим генерации PDF-документов в дальнейшем значительно сократил время формирования карточки, а также позволил более

гибко подходить к печати дополнительных реквизитов.

При работе с ПТК потребовался механизм, позволяющий фиксировать реальную дату печати статистической карточки и осуществлять быстрый поиск уголовного дела. В качестве решения была выбрана генерация уникального номера печати статистической карточки при вызове процедуры печати. Данный номер вместе с текущей датой печатается внизу карточки. Все сгенерированные номера хранятся в базе данных.

Также в ходе эксплуатации в ПТК была добавлена возможность формирования в автоматическом режиме дактилоскопических карт (на основе формы 2), информационно-поисковых карт на иностранных граждан или лиц без гражданства (на основе форм 2 и 5), информационно-поисковых карт на выявленное преступление (на основе формы 1.0). Данные процедуры позволили значительно сократить время формирования карточек.

Также с учетом опыта эксплуатации и особенностей ИТ-инфраструктуры была модернизирована система резервного копирования базы данных.

Описанные выше и иные выполненные изменения позволили решить ряд проблем, выявленных в процессе использования данного продукта, усовершенствовать ПТК, повысить его отказоустойчивость и сделать функционал комплекса более отзывчивым и понятным пользователям.

Заключение

В работе описан спроектированный и разработанный ПТК для автоматизации учета криминальной статистики в Министерстве внутренних дел по Республике Коми, удовлетворяющий всем требованиям нормативных документов в области учета уголовного делопроизводства.

В ходе проектирования и реализации ПТК была разработана структура базы данных, позволяющая в полной мере хранить и обрабатывать всю актуальную информацию, гене-

рировать корректную статистическую информацию.

Архитектура ПТК выполнена по модульному принципу, что позволяет гибко использовать доступные ресурсы вычислительных машин (серверное оборудование и персональные компьютеры пользователей).

Внедрение ПТК привело к значительному уменьшению количества нарушений в области уголовного делопроизводства, повышению скорости получения объективной информации о криминогенной ситуации в регионе, дало возможность в режиме реального времени производить сверку с другими системами учета.

Полученный опыт может быть применен при проектировании и разработке систем учета сложных статистических данных и генерации отчетных документов по различным периодам времени.

Список литературы

1. *Carnaz G., Beires Nogueira V., Antunes M., Ferreira N.* An Automated System for Criminal Police Reports Analysis // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Pp. 360–369. DOI: 10.1007/978-3-030-17065-3_36.
2. *Afra S., Alhaji R.* Integrated framework for criminal network extraction from Web // *Journal of Information Science*. 2019. DOI: 10.1177/0165551519888606.
3. *Hu J.* Big Data Analysis of Criminal Investigations // *2018 5th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)*. 2019. Pp. 649–654. DOI: 10.1109/ICSAI.2018.8599305.
4. *Movchan A. V., Taranukha V. Y.* Constructing an Automation System to Implement Intelligence-Led Policing Into the National Police of Ukraine // *Cybernetics and Systems Analysis*, 2018. No. 54 (4). Pp. 643–649. DOI: 10.1007/s10559-018-0065-5.
5. *Haleem M. S., Han L., Harding P. J., Ellison M.* An automated text mining approach for classifying mental-ill health incidents from police incident logs for data-driven intelligence // *Conference Proceedings – IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2019–October. 2019. Pp. 2279–2284. DOI: 10.1109/SMC.2019.8914240.
6. *Chen H., Cheng T., Ye X.* Designing efficient and balanced police patrol districts on an urban street network // *International Journal of Geographical Information Science*. 2019. No. 33 (2). Pp. 269–290. DOI: 10.1080/13658816.2018.1525493.
7. *Phiri J., Phiri J., Lubonya C. S.* Crime mapping model based on cloud and spatial data: A case study of Zambia police service // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2020. No. 11 (1). Pp. 251–265.
8. *Brito P., Fontes J. P., Miquelina N., Guevara M. A.* AGATHA: Face Benchmarking Dataset for Exploring Criminal Surveillance Methods on Open Source Data // *Proceedings – ICGI 2018: International Conference on Graphics and Interaction*. 2019. DOI: 10.1109/ITCGI.2018.8602903.
9. *Letcher A., Trisovic J., Cademartori C., Chen X., Xu J.* Automatic Conflict Detection in Police Body-Worn Audio // *2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. 2018. Pp. 2636–2640. DOI: 10.1109/ICASSP.2018.8461425.
10. *Patel J., Wala H., Shahu D., Lopes H.* Intellectual and Enhance Digital Solution for Police Station // *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*. 2018. DOI: 10.1109/ICSCET.2018.8537378.
11. *Ngqondi T., Kalipa L., Mauwa H., Bembe M.* A Cloud Computing Adoption Model for the South African Police Services (SAPS) // *2019 Open Innovations Conference, OI 2019*. 2019. Pp. 281–287. DOI: 10.1109/OI.2019.8908228.
12. Приказ Генеральной прокуратуры Российской Федерации, Министерства внутренних дел Российской Федерации, Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Министерства юстиции Российской Федерации, Федеральной службы безопасности Российской Федерации, Министерства экономического развития и торговли Российской Федерации, Федеральной службы Российской Федерации по контролю за оборотом наркотиков от 29 декабря 2005 г. № 39/1070/1021/253/780/353/399. Москва. URL: <https://rg.ru/2006/01/25/uchet-prestupleniy-dok.html> (дата обращения 16.05.2020).
13. Итоги оперативно служебной деятельности МВД по Республике Коми [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства внутренних дел по Республике Коми: URL: <https://11.mvd.rf/деятельность/текущая-деятельность/итоги-служебной-деятельности> (дата обращения 16.05.2020).
14. *Гольчевский Ю. В., Гашин Р. А., Гарбузов П. А.* Автоматизация процесса учета криминальной статистики в Министерстве внутренних дел по Республике Коми // *Математическое моделирование и информационные технологии: сборник статей Международ-*

ной научной конференции. Сыктывкар: СГУ им. Питирима Сорокина. 2017. С. 123–128.

Сведения об авторах

Гольчевский Юрий Валентинович, ORCID 0000-0003-2047-9138, канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой информационных систем, Институт точных наук и информационных технологий, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия, yurygol@mail.ru

Гашин Ростислав Алексеевич, ORCID 0000-0003-0932-7803, инженер-программист вычислительного центра Информационного центра МВД по Республике Коми, г. Сыктывкар, Россия, rostislav-gashin@yandex.ru

Гарбузов Павел Александрович, ORCID 0000-0002-5521-460X, главный инженер вычислительного центра Информационного центра МВД по Республике Коми, г. Сыктывкар, Россия, p.garbuzov@yandex.ru

Статья поступила 16.07.2020, рассмотрена 07.09.2020 принята 10.09.2020

References

- Carnaz G., Beires Nogueira V., Antunes M., Ferreira N. An Automated System for Criminal Police Reports Analysis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, pp. 360–369. DOI: 10.1007/978-3-030-17065-3_36.
- Afra S., Alhajj R. Integrated framework for criminal network extraction from Web. *Journal of Information Science*, 2019. DOI: 10.1177/0165551519888606.
- Hu J. Big Data Analysis of Criminal Investigations. 2018 5th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI), 2019, pp. 649–654. DOI: 10.1109/ICSAI.2018.8599305..
- Movchan A.V., Taranukha V.Y. Constructing an Automation System to Implement Intelligence-Led Policing Into the National Police of Ukraine. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2018, no. 54(4), pp. 643–649. DOI: 10.1007/s10559-018-0065-5.
- Haleem M.S., Han L., Harding P.J., Ellison M. An automated text mining approach for classifying mental-ill health incidents from police incident logs for data-driven intelligence. *Conference Proceedings – IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2019-October, 2019, pp. 2279–2284. DOI: 10.1109/SMC.2019.8914240.
- Chen H., Cheng T., Ye X. Designing efficient and balanced police patrol districts on an urban street network. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, no. 33(2), pp. 269–290. DOI: 10.1080/13658816.2018.1525493.
- Phiri J., Phiri J., Lubonya C.S. Crime mapping model based on cloud and spatial data: A case study of Zambia police service. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2020, no.11(1), pp. 251–265.
- Brito P., Fontes J.P., Miquelina N., Guevara M.A. AGATHA: Face Benchmarking Dataset for Exploring Criminal Surveillance Methods on Open Source Data. *Proceedings – ICGI 2018: International Conference on Graphics and Interaction*, 2019. DOI: 10.1109/ITCGI.2018.8602903.
- Letcher A., Trisovic J., Cademartori C., Chen X., Xu J. Automatic Conflict Detection in Police Body-Worn Audio. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2018, pp. 2636–2640. DOI: 10.1109/ICASSP.2018.8461425.
- Patel J., Wala H., Shahu D., Lopes H. Intellectual and Enhance Digital Solution for Police Station. 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET), 2018, DOI: 10.1109/ICSCET.2018.8537378.
- Ngqondi T., Kalipa L., Mauwa H., Bembe M. A Cloud Computing Adoption Model for the South African Police Services (SAPS). 2019 Open Innovations Conference, OI 2019, pp. 281–287. DOI: 10.1109/OI.2019.8908228.
- Order of the General Prosecutor's Office of the Russian Federation, the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, the Ministry of Justice of the Russian Federation, the Federal Security Service of the Russian Federation, the Ministry of Economic Development of the Russian Federation, the Federal Drug Control Service of the Russian Federation. December 29, 2005, no. 39/1070/1021/253/780/3 53/399. Moscow. Available at: <https://rg.ru/2006/01/25/uchet-prestupleniy-dok.html> (accessed 16.05.2020).
- Itoги оперативно служебной деятельности МВД по Республике Коми [Results of the operational activities of the Ministry of Internal Affairs in the Komi Republic]. Official website of the Ministry of Internal Affairs in the Komi Republic: Available at: <https://11.mvd.rf/деятельность/текущая-деятельность/итоги-служебной-деятельности> (accessed 16.05.2020).
- Golchevskiy Yu. V., Gashin R. A., Garbuzov P. A. Automation of criminal statistics record keeping at the Ministry of internal affairs of the Komi Republic. *Matematicheskoye modelirovaniye i informatsionnyye tekhnologii: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Proc. of the International Scientific Conference “Mathematical Modeling and Information Technologies”]. Syktyvkar, Pitirim Sorokin Syktyvkar State Univ., 2017, pp. 123–128 (in Russian).

About the authors

Yuriy V. Golchevskiy, ORCID 0000-0003-2047-9138, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Head of Information Systems Department, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia, yurygol@mail.ru

Rostislav A. Gashin, ORCID 0000-0003-0932-7803, Software Engineer, Information Center of the Ministry of Internal Affairs in the Komi Republic, Syktyvkar, Russia rostislav-gashin@yandex.ru

Pavel A. Garbuzov, ORCID 0000-0002-5521-460X, Chief Engineer, Information Center of the Ministry of Internal Affairs in the Komi Republic, Syktyvkar, Russia, p.garbuzov@yandex.ru

Received 16.07.2020, reviewed 07.09.2020,
accepted 10.09.2020

Использование статистических методов для анализа и прогноза udp-flood атак

М. В. Тумбинская^{1}, В. В. Волкова¹, Б. Г. Загидуллин¹*

¹ *Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева,
г. Казань, Россия*

** tumbinskaya@inbox.ru*

Аннотация. Web-ресурсы являются неотъемлемой частью жизни современного человека, которые в настоящее время все чаще подвергаются хакерским атакам, таким как внедрение операторов SQL, межсайтовое выполнение сценариев и др. DDoS-атаки продолжают входить в топ-10 сетевых атак и приводить к серьезным сбоям и отказам работы web-ресурсов, наиболее распространенным типом DDoS-атак является UDP-flood атаки, основанные на бесконечной посылке UDP-пакетов на порты различных UDP-сервисов. Основанием для проведения эмпирического исследования являются факторы: отсутствие эффективных средств защиты от DDoS-атак, специфика UDP-flood атак, отсутствие моделей прогнозирования, адекватно описывающих исследуемый процесс. Целью исследования является повышение уровня защищенности web-ресурсов, за счет своевременного обнаружения аномалий в их работе, обнаружении информационных угроз безопасности на основе методов анализа и прогнозирования. В качестве объекта исследования был выбран тип атак UDP-flood из семейства DDoS атак. Методами корреляционного анализа и моделирования были рассчитаны индекс сезонности UDP-flood атак, автокорреляция временного ряда данного типа атак, на основе моделей простого экспоненциального сглаживания и нейросетевого прогнозирования построен прогноз UDP-flood атак. В работе предложена классификация DDoS-атак, описаны способы защиты. На основе корреляционного анализа рассчитаны прогнозные значения воздействия UDP-flood атак на web-ресурсы, выявлен фактор – сезонность. Анализ результатов прогнозирования показал, что разброс прогнозных значений не значительный, наибольшее количество атак ожидается в IV квартале 2020 года. Для DDoS-атак длительностью до 20 минут также выявлена сезонность в I квартале календарного года, а значит, в I квартале 2020 года следует ожидать наибольшее количество атак данной длительности. Перспективы дальнейшего исследования проблемы защиты от DDoS атак представляются в дальнейшей проработке методики противодействия UDP-flood атак, алгоритмов информационной безопасности web-ресурсов, что позволит сократить количество инцидентов UDP-flood атак, планировать мероприятия по повышению уровня защищенности web-ресурсов, повысить уровень их защищенности.

Ключевые слова: DDoS-атака, UDP-flood, корреляционный анализ, прогнозирование, метод простого экспоненциального сглаживания, коэффициент сглаживания, моделирование, аддитивная модель временных рядов, автокорреляционная функция, защита информации

Для цитирования: *Тумбинская М. В., Волков В. В., Загидуллин Б. Г.* Использование статистических методов для анализа и прогноза UDP-flood атак // Прикладная информатика. 2020. Т.15 № 5. С. 85–102. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-85-102

Use of statistical methods for analysis and forecast of udp-flood attacks

M. Tumbinskaya^{1*}, V. Volkov¹, B. Zagidullin¹

¹ Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,
Kazan, Russia

* tumbinskaya@inbox.ru

Abstract. Web resources are an integral part of the life of a modern person, who are now more and more often subjected to hacker attacks. The most popular types of attacks are the SQL-injections and cross-site scripting, but DDoS attacks continue to be in the top 10 of network attacks and lead to serious crashes and failures of web resources. The most common type of DDoS attack is UDP flood attack, based on the infinite sending of UDP packets to ports of various UDP services. The scientific novelty of the work lies in the fact that to increase the level of security of web resources a medium-term forecast of cyber attacks of the UDP-flood type, using the methods of correlation analysis, based on the additive time series model, is proposed taking into account seasonal factors and time duration, which will ensure the necessary level of web security -resources. The type of UDP-flood attacks was chosen as the object of study. Using the methods of correlation analysis and modeling, we calculated the seasonal index of UDP flood attacks, and the autocorrelation of the time series of this type of attack. Using the method of simple exponential smoothing, a forecast of UDP-flood attacks is constructed. The paper proposes a classification of DDoS attacks, describes protection methods. Based on the correlation analysis, the predicted values of the impact of UDP flood attacks on web resources are calculated, and the seasonal factor is revealed. The largest number of attacks is expected in the IV quarter of 2020. For DDoS attacks lasting up to 20 minutes, seasonality was also revealed in the 1st quarter of the calendar year, which means that in the 1st quarter of 2020 the largest number of attacks of this duration should be expected. Prospects for further research into the problem of protection against DDoS attacks are presented in the further development of the methodology for countering UDP flood attacks and information security algorithms for web resources, which will reduce the number of UDP flood attacks and increase the level of web resource security.

Keywords: DDoS attack, UDP flood, correlation analysis, forecasting, simple exponential smoothing method, smoothing factor, modeling, additive time series model, autocorrelation function, information security

For citation: Tumbinskaya M., Volkov V., Zagidullin B. Use of statistical methods for analysis and forecast of UDP-flood attacks. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 85-102 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-85-102

Введение

DDoS (Distributed Denial of Service) – это распределенная атака типа «отказ в обслуживании», которая представляет собой одновременную, массовую отправку информационных запросов на веб-сервер, при которых пользователи не смогут получить доступ

к веб-серверу из-за его перегрузки [1]. На практике скорость поступления новых запросов на веб-сервер превышает скорость обработки, очередь запросов становится длинной, и новые запросы не обрабатываются. Это главный принцип DDoS-атаки. Подобного рода атаки выполняются одновременно с большого количества устройств.

Злоумышленники для этих целей используют персональные компьютеры, различные IoT-устройства, к которым они смогли получить доступ, например, видеокамеры и роутеры с устаревшей версией программного обеспечения, устройства контроля, компьютеры пользователей с вредоносным программным обеспечением.

Одним из видов [2] DDoS-атак является UDP-flood, сценарий которой заключается в одновременной отправке веб-серверу большого количества UDP-пакетов с широкого диапазона IP-адресов. Вследствие атаки, сетевые интерфейсы перегружены поддельными UDP-пакетами на всей полосе пропускания трафика.

Для проведения эффективной защиты от угроз UDP-flood атак методы анализа и прогнозирования должны быть эффективными. Решению общих проблем прогнозирования и выявления UDP-flood атак посвящены работы зарубежных авторов J. B. D. Cabrega и др. [3], M. A. Raza и др. [4], K. S. Sahoo и др. [5], российских авторов В. И. Городецкого, И. В. Котенко, А. В. Лукацкого, С. М. Климова, С. С. Корта и др. [6–11]. Однако, проанализированные работы не могут полностью решить задачу своевременного обнаружения угроз информационной безопасности из-за отсутствия точных и адекватных прогнозов, прогнозирования неблагоприятного сетевого трафика.

Научная новизна работы заключается в том, что для повышения качества средств защиты web-ресурсов, методами корреляционного анализа, на основе анализа результатов прогнозирования методами простого экспоненциального сглаживания на основе аддитивной модели временных рядов и нейросетевого прогнозирования предлагается среднесрочный прогноз кибератак типа UDP-flood с учетом факторов сезонности и длительности по времени, который позволит обеспечить необходимый уровень безопасности web-ресурсов, предотвратить инциденты UDP-flood атак на web-ресурсы. Целью ис-

следования является повышение уровня защищенности web-ресурсов, за счет своевременного обнаружения аномалий в их работе, обнаружении информационных угроз безопасности на основе методов анализа и прогнозирования.

В результате анализа научной литературы и интернет ресурсов [12–17] было выявлено, что сценариев исполнения UDP-flood атак много, но суть атаки заключается в насыщении полосы пропускания UDP-пакетами. Цели данной атаки заключаются в следующем: 1) сгенерировать такое количество bps (бит в секунду), чтобы исчерпать канал связи атакуемого; 2) сгенерировать такое количество pps (пакетов в секунду), которое оборудование не сможет обработать; 3) нагрузить оборудование атакуемого, отправляя UDP-пакеты на разные порты, тем самым заставляя сервер обрабатывать данные пакеты.

1. Классификация DDoS-атак по протоколам [9, 10]:

- UDP (User Datagram Protocol);
- TCP (Transmission Control Protocol);
- прочие атаки (атаки на протоколы ICMP, GRE, IPIP, ESP, AH, SCTP, OSPF, SWIPE, TLS, Compaq_PEE и т.д.).

2. Классификация DDoS-атак по механизму воздействия [9, 10, 14]:

- атаки, направленные на переполнение канала связи, к данной категории относятся типы атак flood, которые эксплуатируются путем создания большого количества запросов (например, DNS-амплификация, фрагментированный UDP-flood, ICMP-flood, NTP-амплификация, NTP-flood);

- атаки, воздействующие на сетевой и транспортный уровни модели OSI, подобные атаки фальсифицируют пакеты, которыми «засоряют» ресурсы оборудования, в следствии чего, возникает перегрузка ресурсов системы и отсутствие возможности обработки полезного трафика (например, SYN-flood, IP-null атака, атака

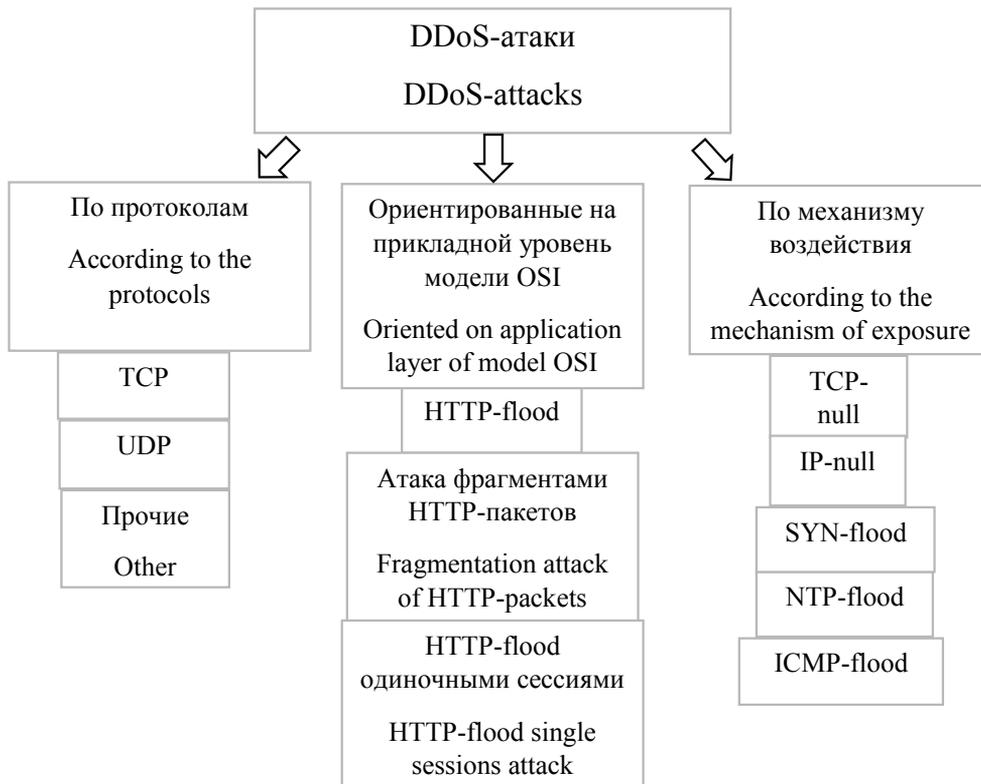


Рис. 1. Схема классификации DDoS-атак

Fig. 1. Classification of DDoS attacks

с поддельными TCP-сессиями, TCP-null атака, атаки с модификациями поля TOS и др.);

3. Классификация DDoS-атак, ориентированных на прикладной уровень модели OSI [9, 10]:

- атаки, воздействующие на прикладной уровень модели OSI, к данной категории относятся типы атак, которые эксплуатируют уязвимости программного обеспечения и приводят к сбою в системе (например, HTTP-flood атака с целью отказа приложения, HTTP-flood атака одиночными запросами, атака фрагментированными HTTP-пакетами, HTTP-flood одиночными сессиями и др.).

Методы защиты от DDoS-атак

1. DDoS-защищенный хостинг

Одним из методов защиты от DDoS-атак является DDoS-защищенный хостинг. Основной недостаток этого метода заключается в том, что он неэффективно отражает DDoS-атаки, использующие недостаток ресурсов и атаки на уровне приложения. Более эффективными в борьбе с такого рода атаками является усиленная идентификация пользователей web-ресурса.

2. Защита от DDoS с помощью IPTables

Суть метода заключается в определении и блокировании атакующих IP-адресов, например, всех адресов с превышением лимита UDP-запросов в секунду. Лимит может варьироваться и быть, при необходимости, изменен. Как правило, все блокируемые IP-адреса добавляются в «черный список», на основании которого строится цепочка правил IPTables.

Однако, данный метод имеет существенный недостаток: в конечном итоге блокирование подозрительных IP-адресов также блокирует и весь входящий трафик от них, включая клиентов и других легитимных посетителей. Поскольку в настоящее время существует проблема исчерпания адресного пространства IP, тысячи людей могут использовать любой конкретный IP-адрес в текущий момент времени, и среди них могут быть как легитимные пользователи, так и нелегитимные.

3. Защита от DDoS с помощью интернет-провайдера

Как правило, интернет-провайдеры обеспечивают защиту только на сетевом уровне, поэтому такую защиту нельзя назвать полноценной.

По данным компании Imperva Incapsula [18], с начала 2015 года до начала 2016 года количество DDoS атак на клиентов сервиса выросло на 94% на прикладном уровне и на 141% на сетевом. Стоит отметить, что любая on-premise система защиты становится бесполезна, когда огромный объем входящего трафика превышает производительность активного оборудования интернет-провайдера или полностью заполняет полосу пропускания канала связи.

Несомненно, можно запросить увеличение пропускной способности, но часто ресурсы провайдера ограничены, либо это вообще невозможно из-за ограничений, накладываемых физическим каналом связи. Более того, когда один клиент интернет-провайдера находится под DDoS атакой, из-за перегрузки канала и сбоя оборудования могут пострадать и другие клиенты.

4. Защита от DDoS с помощью конфигурирования web-сервера

Метод защиты путем предварительной настройки параметров или плагинов web-сервера. Метод эффективен в борьбе с некоторыми атаками прикладного уровня, но против распределенных атак или атак на сетевом уровне он малоэффективен.

UDP-flood атака: характеристика и реализация

UDP-flood – сетевая атака типа «отказ в обслуживании», в которой используется безсессионный режим протокола UDP. Заключается в отправке большого числа UDP-пакетов на определённые или случайные номера портов удаленного хоста, который для каждого полученного пакета должен определить соответствующее приложение, убедиться в отсутствии его активности и отправить ответное ICMP-сообщение «адресат недоступен».

Механизм UDP-flood атак заключается в следующем. Атакующий хост запускает DDoS-атаку, выполняя команду атаки, имеющую адрес «жертвы», продолжительность атаки, методы атаки и другие параметры для управляющих программ (программы для реализации DDoS-атак), которые служат обработчиками атак. Управляющие программы передают команду шпионам, которые являются скомпрометированными системами (могут быть «взломанными системами»). Шпионы – это «зомби», используемые для атаки на «жертву». Получив команду атаки от управляющих программ, скомпрометированные системы начинают рассылку UDP-пакетов «жертве» с поддельным IP-адресом в качестве источника. «Жертва» при получении данных пакетов отправляет подтверждение на IP-адрес источника, но не получает никакого ответа и продолжает его ждать. После использования всех ресурсов системы «жертвы» происходит сбой или отключение системы. Шпионов может быть несколько и все они управляемы программами для реализации DDoS-атак, что приводит к отправке большого количества UDP пакетов в систему «жертвы». Система заполняется запросами вследствие использования всей полосы пропускания.

Защита от подобного рода атак осуществляется следующим образом: 1) закрытием неиспользуемых портов; 2) блокированием UDP-трафика на TCP-порты; 3) использо-

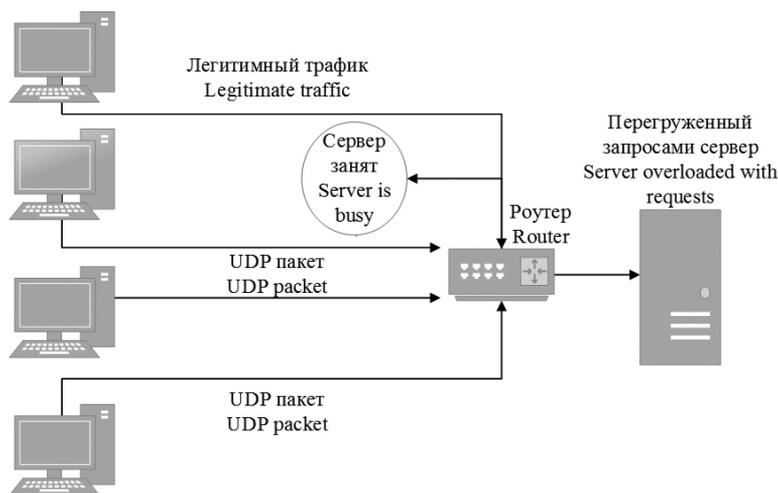


Рис. 2. Схема реализации UDP-flood атак
Fig. 2. Implementing of UDP-flood attacks

ванием систем защиты от DDoS атак; 4) настройкой фильтров на оборудовании оператора связи на случай атаки.

Для организации атак используются такие программы, как LOIC и UDP Unicorn [19]. Обобщенная схема реализации UDP-flood атаки представлена на рисунке 2.

В настоящее время существует множество моделей прогнозирования временных рядов: регрессионные и авторегрессионные, нейросетевые, модели экспоненциального сглаживания, модели на базе цепей Маркова, нечеткие и др., условно которые делятся на группы:

- первая группа моделей предполагает зависимость между прогнозными и реальными значениями временного ряда, которая задана аналитически (регрессионные, авто регрессионные модели, а также модели экспоненциального сглаживания);
- вторая группа моделей предполагает зависимость между прогнозными и реальными значениями временного ряда, которая задана структурно (нейронные сети, цепи Маркова, деревья решений и др.) [34].

Достоинствами 1 группы моделей являются: простая, гибкая для пользователя в процессе моделирования, формализованная при анализе и проектировании, обладает широким применением.

Недостатками 1 группы моделей являются: наличие трудностей при выявлении зависимостей в анализируемых данных, сложность при анализе и моделировании нелинейных зависимостей, высокая трудоёмкость построения модели, не высокая адаптивность к анализируемым данным, прикладной характер.

Достоинствами 2 группы моделей являются: нелинейность, масштабируемость, адаптивность, четко формализованная при анализе и проектировании, обладает большим количеством применений, простота при моделировании, позволяют учитывать качественные признаки.

Недостатками 2 группы моделей являются: неоднозначность использования алгоритма при построении дерева решений, требуют большого количества ресурсов при обучении, неоднозначность использования алгоритма обучения, высокие требования к качеству данных для обучения, трудности при выборе архитектуры нейронной сети [35, 36].

Анализ показал, что ни одна из указанных групп моделей не обладает существенными достоинствами относительно других моделей. Поэтому для решения задач анализа и прогнозирования выбраны модели 1 и 2 группы – модель экспоненциального сглаживания и нейросетевая модель.

Таблица 1. Данные о количестве UDP-flood атак и DDoS-атак длительностью до 4 часов

Table 1. The number of UDP-flood attacks and DDoS attacks lasting up to 4 hours

Год Year	Квартал Quarter	UDP-flood атаки, % UDP-flood attacks, %	DDoS-атаки длительностью до 4 часов, % DDoS attacks lasting up to 4 hours, %
2017	I	8,71	82,21
	II	11,91	85,93
	III	10,15	76,09
	IV	15,24	76,76
2018	I	13,2	80,73
	II	10,6	69,49
	III	11,9	86,94
	IV	31,1	83,34
2019	I	8,9	78,66
	II	10,94	82,69
	III	9,4	84,69
	IV	8,73	81,86

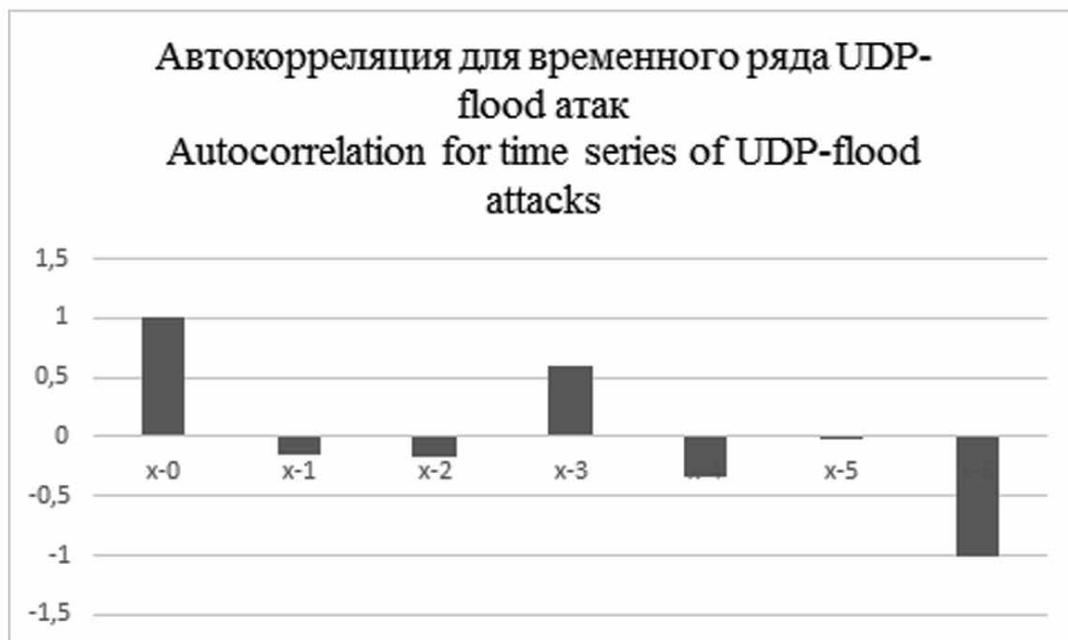


Рис. 3. Динамика автокорреляции для временного ряда UDP-flood атак с учетом лага

Fig. 3. Autocorrelation dynamics for the time series of UDP-flood attacks taking into account the lag

Таблица 2. Индексы сезонности для UDP-flood атак**Table 2.** Seasonal indices for UDP-flood attacks

Квартал Quarter	Год наблюдений Year	2017	2018	2019	I_n
	I		8,71	13,2	8,90
II		11,91	10,6	10,94	1,056
III		10,15	11,90	9,40	0,96
IV		15,24	31,10	8,73	1,062

1. Корреляционный анализ UDP-flood атак

1.1 Анализ временных рядов UDP-flood атак и DDoS-атак длительностью до 4 часов

Для повышения уровня защищенности web-ресурсов, методами корреляционного анализа спрогнозируем воздействия кибератак типа UDP-flood на web-ресурсы учетом факторов сезонности и длительности по времени, который позволит обеспечить необходимый уровень безопасности web-ресурсов. В качестве объекта исследования был выбран тип атак UDP-flood из семейства DDoS атак. Статистические данные [20–31] о количестве UDP-flood атак и DDoS-атак длительностью до 20 минут представлены в таблице 1.

Выполним анализ временного ряда DDoS-атак типа UDP-flood [9, 10], где в качестве исходных параметров выберем данные таблицы 1, $n = 12$ – общее число периодов в исследовании. Динамика автокорреляции для временного ряда UDP-flood атак представлена на гистограмме (рис. 3).

Гистограмма демонстрирует, что тренд отсутствует, корреляция между исходным рядом и сдвинутым на 4 позиций заметная – 0,829, что говорит о сезонности, период которой равен 5 кварталам. Данные расчетов по определению индекса сезонности (I_n)

для DDoS-атак типа UDP представлен в таблице 2.

На основе работ [9, 10] проанализируем временной ряд DDoS-атак длительностью до 4 часов, результаты автокорреляции приведены в таблице 3.

Таблица 3. Автокорреляция для временного ряда DDoS-атак длительностью до 4 часов**Table 3.** Autocorrelation for a time series of DDoS attacks lasting up to 4 hours

Лag / Lag	Автокорреляция / Autocorrelation
x-0	1
x-1	-0,158
x-2	-0,1736
x-3	0,6019
x-4	-0,3448
x-5	-0,00287
x-6	-1

1.2. Прогнозирование UDP-flood атак по методу простого экспоненциального сглаживания

Определив оптимальный коэффициент сглаживания α , значения коэффициента α разобьем в сетку с шагом 0,1 и проведем расчет средней абсолютной ошибки (M) между сглаженными прогнозными значениями (S_t) и реальными наблюдениями (Y_{t+l}) при $\alpha = 0.1, 0.9$,

Таблица 4. Расчет ошибок при коэффициенте сглаживания $\alpha = 0,1$

Table 4. Calculation of errors with a smoothing coefficient $\alpha = 0,1$

Период, t Period, t	Количество атак, %, Y_{t+1} The number of attacks, % Y_{t+1}	Прогноз, %, S_t Forecast, %, S_t	$ Y_{t+1} - S_t $	$ Y_{t+1} - S_t / Y_{t+1}$
1	8,71	8,71	0	0
2	11,71	9,01	2,7	0,23
3	10,15	9,12	1,03	0,1
4	15,24	9,73	6	0,39
5	13,2	10,1	3,12	0,23
6	10,6	10,13	0,47	0,04
7	11,9	10,31	1,59	0,13
8	31,1	12,38	18,72	0,6
9	8,9	12,04	3,14	0,35
10	10,94	11,93	0,99	0,09
11	9,4	11,67	2,27	0,24
12	8,73	11,82	3,09	0,35

Таблица 5. Динамика средней абсолютной ошибки (M) при выборе разных значений коэффициента сглаживания α

Table 5. Dynamics of the average absolute error (M) with different values of the smoothing coefficient α

Значение α / Value α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
M (%)	9,23	1,27	2,89	4,78	5,28	4,94	4,07	2,88	1,5

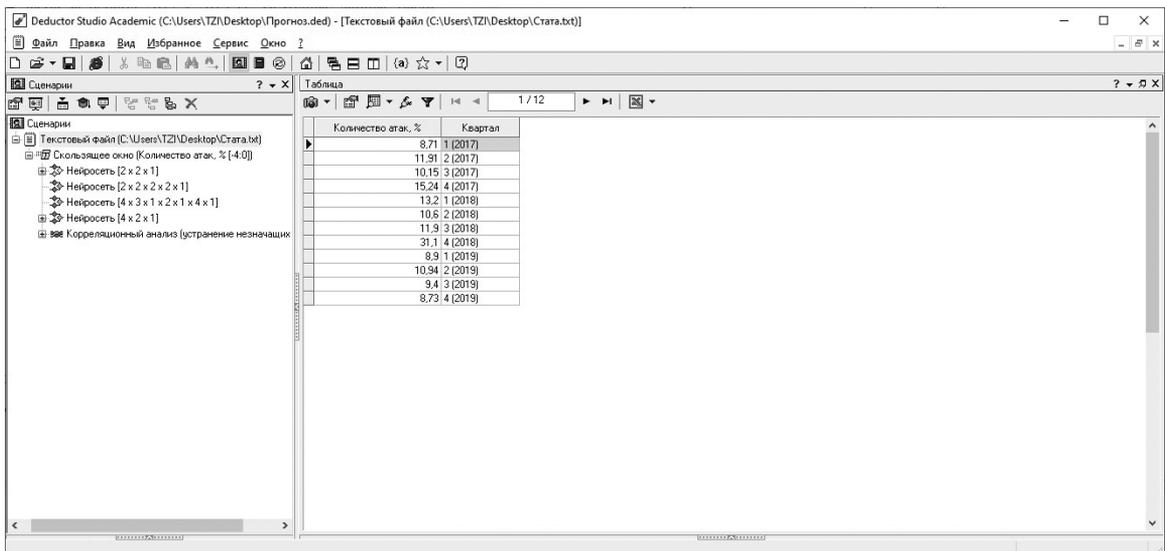


Рис. 4. Импортированные в Deductor Studio Academic статистические данные о количестве UDP-flood атак за 2017–2019 гг.

Fig. 4. Statistics on the number of UDP-flood attacks for 2017–2019 imported into the Deductor Studio Academic

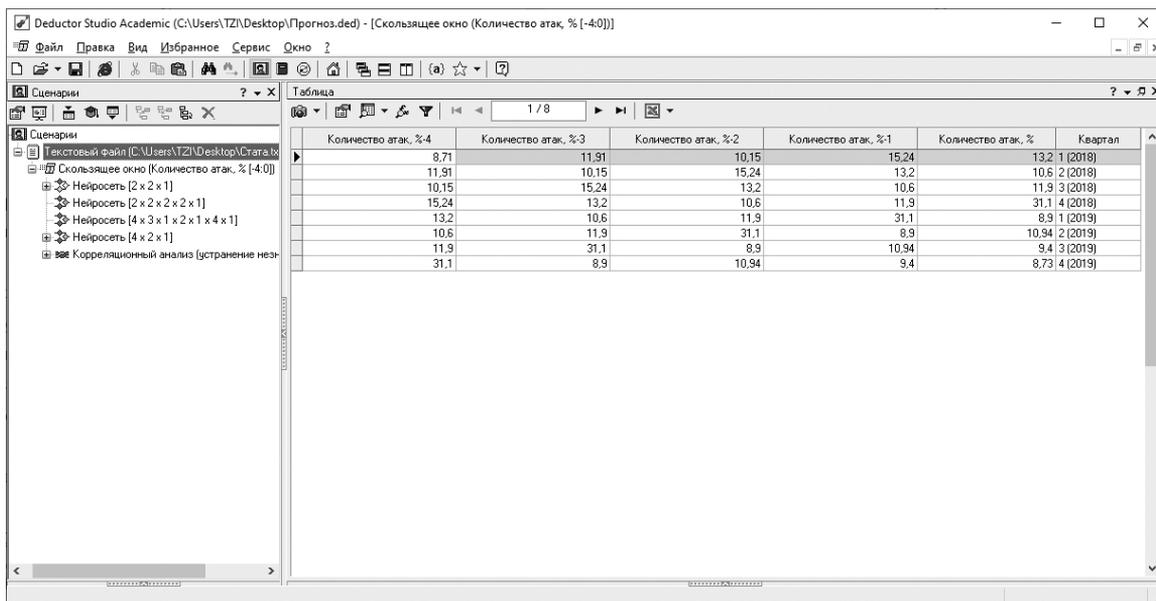


Рис.5. Трансформированные данные по методу скользящего окна

Fig. 5. Transformed data using the sliding window method

при этом выбрав значение коэффициента, при котором ошибка минимальная.

Результаты расчета ошибок представлено в таблицах 4, 5.

Результаты расчетов показали, что наименьшая ошибка получается при $\alpha = 0,2$, таким образом, данное значение коэффициента позволит прогнозировать эффективнее по сравнению с другими значениями диапазона $[0,1;0,9]$ с шагом 0.1.

На основе результатов работ [9, 10] рассчитаны сглаженные значения количества DDoS-атак на I, II, III, IV кварталы 2020 года и I квартал 2021 года, при $\alpha = 0,2$.

$$S_{13} = \alpha Y_{13} + (1-\alpha) \cdot S_{12} = 0,2 \cdot 8,9 + 0,8 \cdot 12,2241 \approx 11,5593 \text{ (2020 год, I квартал)} \quad (1)$$

$$S_{14} = \alpha Y_{14} + (1-\alpha) \cdot S_{13} = 0,2 \cdot 12,06 + 0,8 \cdot 11,5593 \approx 11,6593 \text{ (2020 год, II квартал)} \quad (2)$$

$$S_{15} = \alpha Y_{15} + (1-\alpha) \cdot S_{14} = 0,2 \cdot 13,76 + 0,8 \cdot 11,6593 \approx 12,0794 \text{ (2020 год, III квартал)} \quad (3)$$

$$S_{16} = \alpha Y_{16} + (1-\alpha) \cdot S_{15} = 0,2 \cdot 15,2 + 0,8 \cdot 12,0794 \approx 12,7035 \text{ (2020 год, IV квартал)} \quad (4)$$

$$S_{17} = \alpha Y_{17} + (1-\alpha) \cdot S_{16} = 0,2 \cdot 7,3 + 0,8 \cdot 12,7035 \approx 11,6228 \text{ (2021 год, I квартал)} \quad (5)$$

2. Нейросетевое прогнозирование временных рядов на основе аналитической платформы Deductor

В настоящее время используются различные пакеты прикладных программ, позволяющие анализировать временные ряды (например, MS Excel, Matlab, Statistica, Deductor и др.). Для решения задачи анализа и прогнозирования в работе выбран пакет Deductor Studio Academic, так как обладает широким набором функционала для конкретной задачи (анализ данных, прогнозирование, поиск закономерностей, формирование аналитической отчетности).

Для анализа временных рядов и построения прогноза были выбраны квартальные статистические данные о количестве UDP-flood атак длительностью до 4 часов за период 2017–2019 гг. Исходные данные были импортированы в Deductor Studio Academic (рис. 4).

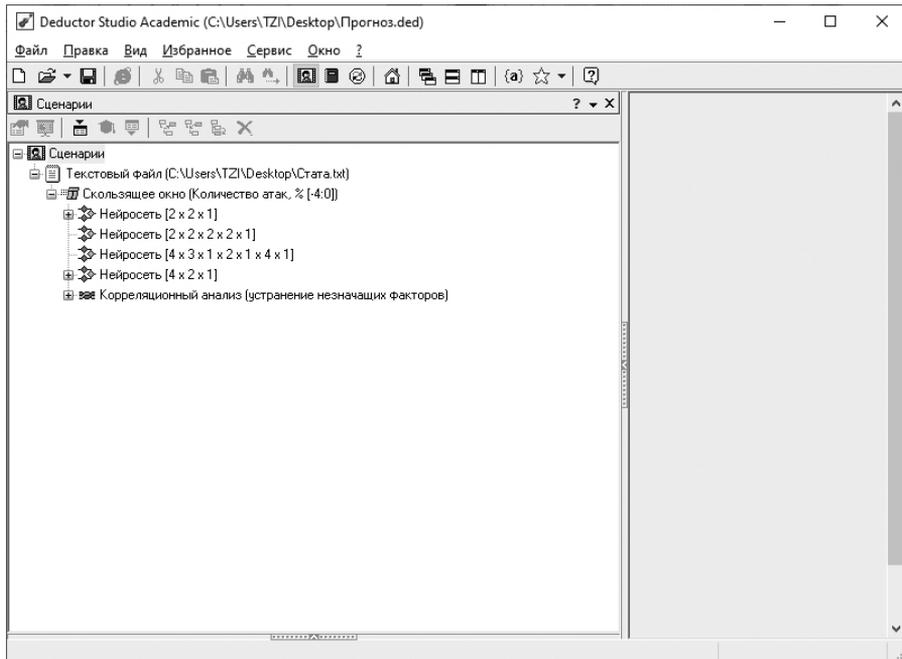


Рис. 6. Визуализация проекта в Deductor Studio для построения нейросетевых моделей
 Fig. 6. Visualization of the project in Deductor Studio for building neural network models

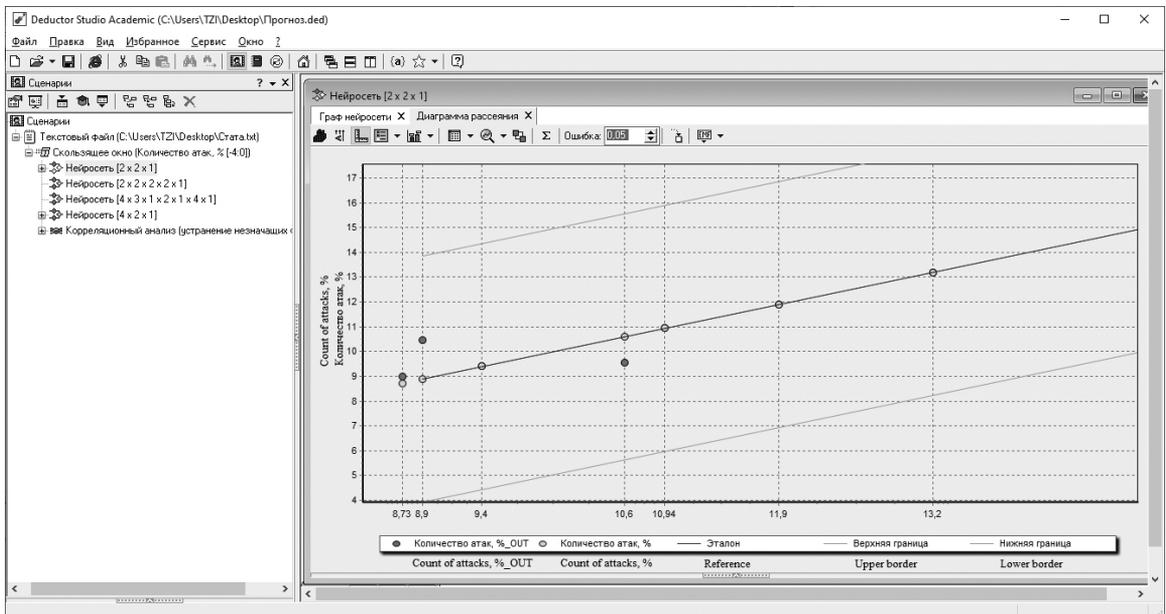


Рис. 7. Диаграмма рассеяния для оценки аппроксимирующей способности построенной нейросетевой модели
 Fig. 7. Scatter chart for evaluation approximating ability of the constructed neural network model

Следующим этапом было устранение содержащихся в данных аномальных отклонений и шумов путем применения спектрального Фурье-преобразования [32]. Далее следовал этап трансформации, на котором решалась задача представления данных в таком виде, чтобы они могли быть обработаны наиболее эффективно. На данном этапе использовался метод скользящего окна [33], трансформированные данные представлены на рисунке 5.

Процесс создания нейронной сети в пакете Deductor Studio Academic:

1. Вызов меню «Мастера обработки» и выбор метода «Нейросеть»;

2. В мастере «Нейросеть» выбор входных и выходных переменных и указание типов данных;

3. Разбиение исходного множества данных: обучающее и тестовое;

4. Структуризация нейронной сети: указание количества слоев, числа нейронов в скрытых слоях и крутизны функции активации;

5. Настройка параметров обучения нейронной сети: выбор алгоритмов обучения и параметры;

6. Обучение нейронной сети с заданными параметрами.

Визуализация проекта в Deductor Studio Academic для построения нейросетевых моделей представлена на рисунке 6.

После преобразования данных по методу скользящего окна, экспериментальным путем выбраны следующие параметры трансформации: глубина погружения – 4, горизонт прогнозирования – 5. Глубина погружения – количество кварталов в прошлом, горизонт прогнозирования в данном случае представляет количество кварталов для прогнозирования. В результате трансформации данных получены обучающие нейросетевые модели.

Для оценки построенных моделей представим данные в виде диаграммы рассеяния, которая более наглядно отображает качество обучения нейронной сети. Она отображает отклонение прогнозной величины от истинного значения: большое отклонение говорит о необходимости увеличения обучающей выборки, точное совпадение прогнозных значений с эталонными говорит о переобучении модели, т. е. модель использовала все примеры при обучении. Пример диаграммы рассеяния для оценки аппроксимирующей способности построенной нейросетевой модели представлен на рисунке 7.

Анализ показал, что модель хорошо аппроксимирует тестовые данные.

Приведенным способом проведена оценка аппроксимирующей способности всех построенных нейросетевых моделей на одних и тех же тестовых данных. Среди всех моделей наибольшая точность наблюдалась у модели с 2 нейронами в скрытом слое. В связи

Таблица 6. Сравнение прогнозных значений рассмотренных методов

Table 6. Comparison of the predicted values of the considered methods

Прогнозные значения UDP-flood атак Predicted values of UDP-flood attacks		
Квартал / год Quarter / year	Метод корреляционного анализа временных рядов Time series correlation analysis method	Метод нейросети Neural network method
II / 2020	11,659	10,963
III / 2020	12,079	12,622
IV / 2020	12,704	12,978
I / 2021	11,623	9,125

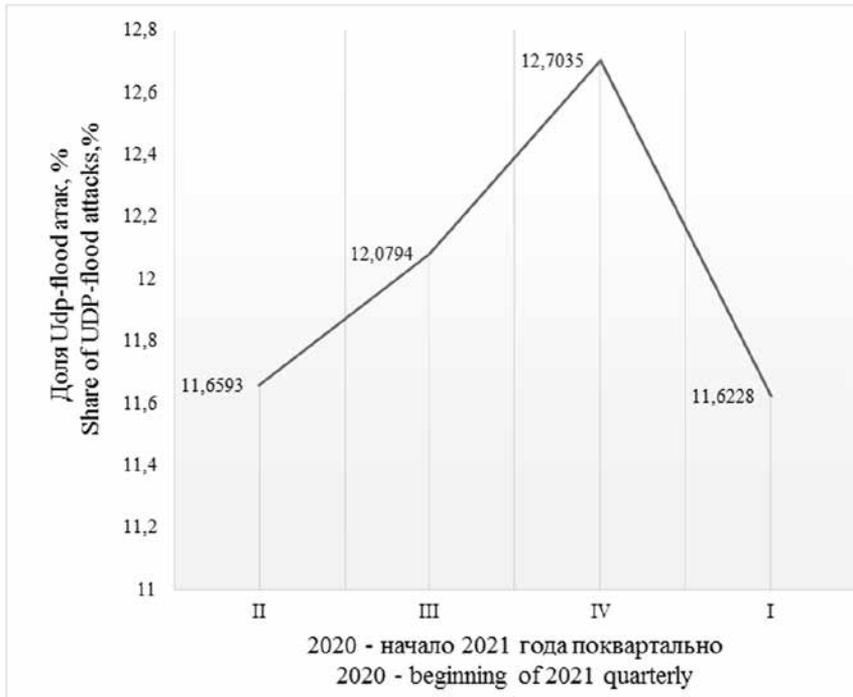


Рис. 8. Прогноз величины UDP-flood атак в 2020 – начале 2021 года

Fig. 8. The forecast of UDP-flood attacks in 2020 – beginning of 2021

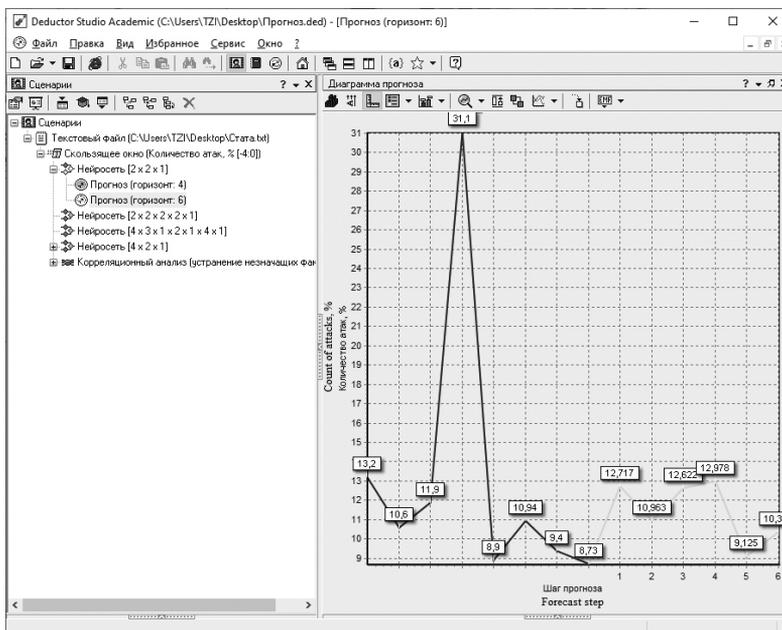


Рис. 9. Прогноз на основе модели с 2 нейронами в скрытом слое

Fig. 9. Prediction based on a model with 2 neurons in a hidden layer

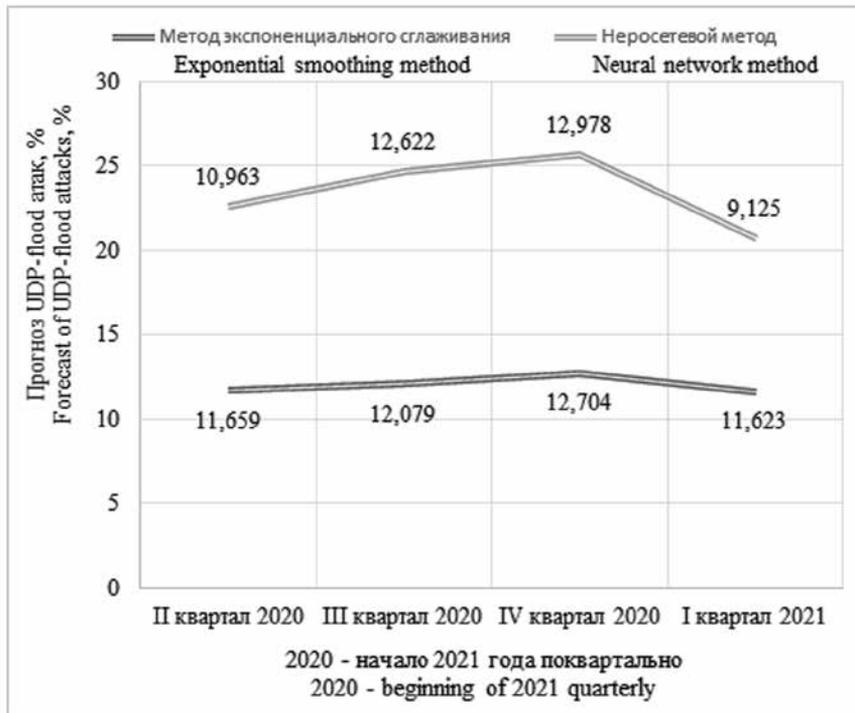


Рис. 10. График сравнения прогнозных значений, полученных методом экспоненциального сглаживания и нейросетевым методом

Fig. 10. Graph comparing the predicted values obtained by the method of exponential smoothing and neural network method

с этим имеется возможность эффективного практического использования данной модели для анализа и прогнозирования временного ряда.

3. Результаты анализа и прогнозирования

С использованием методов корреляционного анализа рассчитаны индекс сезонности UDP-flood атак, автокорреляция временных рядов атак этого типа. С использованием простого метода экспоненциального сглаживания построен прогноз UDP-flood атак.

Результаты исследования показали, что UDP-flood атакам свойственна сезонность, количество UDP-flood атак составит 11,66 %, 12,08 %, 12,7 % на II, III, IV кварталы 2020 года и 11,62 % на I квартал 2021 года соответственно. Рассчитанные прогноз

значения UDP-flood атак на 2020 – начало 2021 года представлены на рисунке 8.

На базе аналитической платформы Deductor Studio построен прогноз на основе модели с 2 нейронами в скрытом слое (рис. 9).

Далее сравним рассчитанные прогноз

значения, которые представлены в таблице 6. Сравнительная характеристика рассчитанных прогнозных значений методами корреляционного анализа и нейронных сетей представлена на графике (рис. 10).

Анализ показал, что полученные прогноз

точного прогноза необходим большой объем исходной выборки.

В среднем, количество UDP-flood атак составит 11 %, 12 %, 13 % на II, III, IV кварталы 2020 года и 10 на I квартал 2021 года соответственно.

Заключение

В работе предложена классификация DDoS-атак, описаны способы защиты. Представлен сравнительный анализ моделей прогнозирования, выявлены преимущества и недостатки. Корреляционный анализ UDP-flood атак позволил выявить фактор – сезонность. Для DDoS-атак длительностью до 20 минут выявлена сезонность в I квартале календарного года, а значит, в I квартале 2021 года следует ожидать наибольшее количество атак данной длительности. Построен прогноз на основе модели простого экспоненциального сглаживания и нейросетевой модели. Наибольшее количество UDP-flood атак следует ожидать в IV квартала 2020 года. В среднем отклонение значений прогнозов, на основе данных моделей, не превышает 1 %, следовательно, можно считать оба метода эффективными для анализа и прогнозирования UDP-flood атак, однако для долгосрочного и более точного прогноза необходим большой объем исходной выборки. В среднем, количество UDP-flood атак составит 11 %, 12 %, 13 % на II, III, IV кварталы 2020 года и 10 на I квартал 2021 года соответственно. Стоит отметить, что в работе имеются ограничения – недостаточно длительный период исследования и трудность получения статистических данных в связи с тем, что IT-компании неохотно раскрывают сведения о реализации на информационные ресурсы различного рода атак.

Результаты работы могут быть использованы как самостоятельно при анализе атак, так и для формирования адаптивной системы защиты информации web-ресурсов, для построения системы обеспечения информационной безопасности.

Перспективы дальнейшего исследования проблемы защиты от DDoS атак представляются в дальнейшей проработке методики противодействия UDP-flood атакам, алгоритмов информационной безопасности web-ресурсов, что позволит сократить количество инцидентов UDP-flood атак, планировать мероприятия по повышению уровня защищенности web-ресурсов, повысить уровень их защищенности.

Список литературы

1. Харитонов В. С., Черяпкин Д. П. DDoS-атака: классификация и особенности // Постулат. 2016. № 12 (14). С. 45
2. Фролов С. Г., Демин А. Ю. Типы DDoS-атак, методы профилактики и защиты от них // III Международная научная конференция «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. С. 76–78
3. Cabrera J., Lewis L., Qin X., Lee W., Mehra R. Proactive intrusion detection and distributed denial of service attacks-a case study in security management // Journal of network and systems management. 2002. Vol. 2. P. 225–254
4. Raza M. A., Khan A., Raza M. A restrictive model (RM) for detection and prevention of INVITE flooding attack // 3rd IEEE International Conference on Computer, Control and Communication (IC4). September 2013, Pakistan, DOI: 10.1109/IC4.2013.6653766
5. Sahoo K. S., Iqbal A., Maiti P., Sahoo B. A Machine Learning Approach for Predicting DDoS Traffic in Software Defined Networks // 2018 International Conference on Information Technology (ICIT). December 2018, India, DOI: 10.1109/ICIT.2018.00049
6. Фаткиева П. П. Разработка метрик для обнаружения атак на основе анализа сетевого трафика // Вестник Бурятского государственного университета. 2013. № 9. С. 81–86
7. Лантев В. Н., Сидельников О. В., Шарай В. А. Применение метода индуктивного прогнозирования состояний для обнаружения компьютерных атак в информационно-телекоммуникационных системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 72. С. 76–85
8. Мухаматханов Р. М., Михайлов А. А., Баянов Б. И., Тумбинская М. В. Классификация DDOS-атак на основе нейросетевой модели // Прикладная информатика. 2019. Т. 14. № 1 (79). С. 96–103

9. Бармина С. С., Таджибаева Ф. М., Тумбинская М. В. Корреляционный анализ и прогнозирование SYN-флуд атак // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 4 (76). С. 93–102
10. Тумбинская М. В. Анализ и прогнозирование сетевых атак типа SYN-flood на web-ресурсы // Информатизация образования и науки. 2018. № 4 (40). С. 61–68
11. Тумбинская М. В., Баянов Б. И., Рахимов Р. Ж., Кормильцев Н. В., Уваров А. Д. Анализ и прогнозирование вредоносного сетевого трафика в облачных сервисах // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 1. С. 71–81
12. Бизнес без опасности. URL: <https://lukatsky.blogspot.com/> (дата обращения 06.11.2019)
13. Xu Z., Li X. Protecting hosts against attacks in IMAGO system Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004 (IEEE Cat. No.04CH37513), May 2004, Canada, DOI: 10.1109/CCECE.2004.1345030
14. Краснов К. Ф., Коринов И. П., Хороший А. А., Беленькая М. Н. Анализ атак типа «Отказ в обслуживании» при использовании протоколов ICMP, UDP, TCP // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики 2018. № 2 (65). С. 116–118
15. Netwild. UDP-flood атаки. URL: <http://netwild.ru/udp-flood/> (дата обращения: 17.09.2019)
16. Ежегодный отчет Cisco по кибербезопасности за 2018 г. URL: https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2018/03-12.html (дата обращения 05.11.2019)
17. Glushenko S. A. An adaptive neuro-fuzzy inference system for assessment of risks to an organization's information security // Business Informatics. 2017. No. 1 (39). P. 68–77
18. Imperva раскрыла технические подробности взлома Cloud WAF. URL: <https://habr.com/ru/company/itsumma/blog/472708/> (дата обращения: 26.11.2019)
19. Защита от DDoS. Обзор методов. URL: <https://protosecurity.ru/novosti/zaschita-ot-ddos/> (дата обращения: 17.09.2019)
20. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в первом квартале 2017 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q1-2017/30631/> (дата обращения: 26.03.2019)
21. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки во втором квартале 2017 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (дата обращения: 26.03.2019)
22. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в третьем квартале 2017 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (дата обращения: 26.03.2019)
23. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в четвертом квартале 2017 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q4-2017/88505/> (дата обращения: 26.03.2019)
24. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в первом квартале 2018 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q1-2018/89700/> (дата обращения: 26.03.2019)
25. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки во втором квартале 2018 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (дата обращения: 26.03.2019)
26. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в третьем квартале 2018 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (дата обращения: 26.03.2019)
27. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в четвертом квартале 2018 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q4-2018/93384/> (дата обращения: 26.03.2019)
28. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в первом квартале 2019 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q1-2019/93890/> (дата обращения: 19.10.2019)
29. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки во втором квартале 2019 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q2-2019/94452/> (дата обращения: 04.11.2019)
30. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в третьем квартале 2019 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q3-2019/94981/> (дата обращения: 05.11.2019)
31. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в четвертом квартале 2019 года. URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q4-2019/95568/> (дата обращения: 14.02.2020)
32. Муцалова С. Ш., Магомедбеков У. Г., Убаева Р. Ш. Фурье – преобразование временного ряда при жидкофазном окислении 1,4 нафтодиола // Качество науки – качество жизни. 2010. № 2. С. 66–67
33. Ключек П. М., Полупан К. Л., Либерман И. В. Цифровизация экономики на основе системно-целевой технологии управления знаниями // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2019. Т. 12. № 3. С. 9–19
34. Панченко А. Д. Обзор методов и моделей прогнозирования развития социально-экономических систем // Сборник материалов IV международной научно-практической конференции. 2019. С. 86–89
35. Селиверстова А. В. Сравнительный анализ моделей и методов прогнозирования // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 11 (67). С. 241–248.
36. Катасёва Д. В., Катасёв А. С., Кирпичников А. П., Абянов Б. Э. Нейронечеткая модель анализа и прогнозирования временных рядов // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 13. С. 127–131

Сведения об авторах

Тумбинская Марина Владимировна, ORCID 0000-0003-3738-5242, канд.техн.наук, доцент кафедры Систем информационной безопасности, Казанский

национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, г. Казань, Россия, tumbinskaya@inbox.ru

Волков Василий Витальевич, ORCID 0000-0003-0871-9987, студент Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева, Казань, Россия, waskis298@gmail.com

Загидуллин Булат Гангельнурович, ORCID 0000-0002-7164-0879, студент Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева, Казань, Россия, zagidullinbg@gmail.com

Статья поступила 18.05.2020, рассмотрена 11.06.2020, принята 25.06.2020

References

1. Kharitonov V. S., Cheryapkin D. P. *DDoS-ataka: klassifikatsiya i osobennosti*. [DDoS attack: classification and features]. *Postulat*, 2016, no. 12(14), 45 p.
2. Frolov S. G., Demin A. Yu. *Tipy DDoS-atak, metody profilaktiki i zashchity ot nikh*. [Types of DDoS-attacks, methods of prevention and protection from them]. *Proc. 3rd Sci. Conf. "Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine"*, Tomsk, 2016, pp. 6–78.
3. Cabrera J., Lewis L., Qin X., Lee W., Mehra R. Proactive intrusion detection and distributed denial of service attacks—a case study in security management. *Journal of network and systems management*, 2002, no. 2, pp. 225–254.
4. Raza M. A., Khan A., Raza M. A restrictive model (RM) for detection and prevention of INVITE flooding attack. *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Computer, Control and Communication (IC4)*, Pakistan, September 2013, DOI: 10.1109/IC4.2013.6653766
5. K. S. Sahoo, Iqbal A., Maiti P., Sahoo B. A Machine Learning Approach for Predicting DDoS Traffic in Software Defined Networks. *Proceedings of the International Conference on Information Technology (ICIT)*, India, December 2018, DOI: 10.1109/ICIT.2018.00049
6. Fatkiewa R.R. *Razrabotka metrik dlya obnaruzheniya atak na osnove analiza setevogo trafika*. [Development of metrics for detecting attacks based on network traffic analysis]. *Vestnik BGU= BSU Herald*, 2013, no. 9, pp. 81–86.
7. Laptsev V.N., Sidelnikov O.V., Sharay V.A. *Primeneniye metoda induktivnogo prognozirovaniya sostoyaniy dlya obnaruzheniya komp'yuternykh atak v informatsionno-telekommunikatsionnykh sistemakh*. [The use of the method of inductive state prediction for the detection of computer attacks in information and telecommunication systems]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU=Scientific Journal of KubSAU*, 2011, no. 72, pp. 76–85.
8. Mukhamathanov R. M., Mikhailov A. A., Bayanov B. I., Tumbinskaya M. V. *Klassifikatsiya DDOS-atak na osnove neyrosetevoy modeli*. [Classification of DDOS attacks based on a neural network model]. *Prikladnaya informatika=Journal of Applied Informatics*, 2019, vol. 14, no. 1 (79), pp. 96–103.
9. Barmina S. S., Tadjibaeva F. M., Tumbinskaya M. V. *Korrelatsionnyy analiz i prognozirovaniye SYN-flud atak*. [Correlation analysis and forecasting of SYN flood attacks]. *Prikladnaya informatika=Journal of Applied Informatics*, 2018, vol. 1, no. 4 (76), pp. 93–102.
10. Tumbinskaya M.V. *Analiz i prognozirovaniye setevykh atak tipa SYN-flood na web-resursy*. [Analysis and forecasting of network attacks like SYN-flood on web-resources]. *Informatizatsiya obrazovaniya i nauki=Informatization of Education and Science*, 2018, no. 4 (40), pp. 61–68.
11. Tumbinskaya M. V., Bayanov B. I., Rakhimov R. Zh., Kormiltsev N. V., Uvarov A. D. Analysis and forecasting of malicious network traffic in cloud services. *Biznes-informatika=Business Informatics*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 71–81 (in Russian).
12. *Biznes bez opasnosti*. [Business without danger]. Available at: <https://lukatsky.blogspot.com/> (accessed 06.11.2019).
13. Xu Z., Li X. Protecting hosts against attacks in IMAGO system. *Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Canada, May 2004, DOI: 10.1109/CCECE.2004.1345030.
14. Krasnov K. F., Korinov I. P., Khoroshiy A. A., Belenkaya M. N. *Analiz atak tipa «Otkaz v obsluzhivanii» pri ispol'zovanii protokolov ICMP, UDP, TCP*. [Analysis of denial of service attacks using ICMP, UDP, TCP protocols]. *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazi i informatiki*. [Transactions of the North Caucasian branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics], 2018, no. 2 (65), pp. 116–118
15. Netwild. UDP-flood ataki. [Netwild. UDP-flood attack]. Available at: <http://netwild.ru/udp-flood/> (accessed 17.09.2019)
16. *Yezhegodnyy otchet Cisco po kiberbezopasnosti za 2018 god*. [Cisco Annual Cybersecurity Report 2018]. Available at: https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2018/03-12.html (accessed 05.11.2019).
17. Glushenko S. A. An adaptive neuro-fuzzy inference system for assessment of risks to an organization's information security. *Biznes-informatika=Business Informatics*, 2017, no. 1 (39), pp. 68–77 (in Russian).
18. Imperva raskryla tekhnicheskiye podrobnosti vzloma Cloud WAF. [Imperva revealed the technical de-

- tails of hacking Cloud WAF]. Available at: <https://habr.com/ru/company/itsumma/blog/472708/> (accessed 26.11.2019).
19. *Zashchita ot DDoS. Obzor metodov*. [DDoS protection. Method Overview]. Available at: <https://proteosecurity.ru/novosti/zashchita-ot-ddos/> (accessed 17.09.2019).
 20. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v pervom kvartale 2017 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the first quarter of 2017]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q1-2017/30631/> (accessed 26.03.2019).
 21. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki vo vtorom kvartale 2017 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the second quarter of 2017]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (accessed 26.03.2019).
 22. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v tret'yem kvartale 2017 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the third quarter of 2017]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (accessed 26.03.2019).
 23. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v chetvertom kvartale 2017 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the fourth quarter of 2017]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q4-2017/88505/> (accessed 26.03.2019).
 24. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v pervom kvartale 2018 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the first quarter of 2018]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q1-2018/89700/> (accessed 26.03.2019).
 25. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki vo vtorom kvartale 2018 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the second quarter of 2018]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (accessed 26.03.2019).
 26. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v tret'yem kvartale 2018 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the third quarter of 2018]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (accessed 26.03.2019).
 27. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v chetvertom kvartale 2018 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the fourth quarter of 2018]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q4-2018/93384/> (accessed 26.03.2019).
 28. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v pervom kvartale 2019 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the first quarter of 2019]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-q1-2019/93890/> (accessed 19.10.2019).
 29. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki vo vtorom kvartale 2019 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the second quarter of 2019]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-q2-2019/94452/> (accessed 04.11.2019).
 30. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v tret'yem kvartale 2019 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the third quarter of 2019]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-q3-2019/94981/> (accessed 05.11.2019).
 31. *Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v chetvertom kvartale 2019 goda*. [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the fourth quarter of 2019]. Available at: <https://securelist.ru/ddos-report-q4-2019/95568/> (accessed 14.02.2020).
 32. Mutsalova S. Sh., Magomedbekov U. G., Ubaeva R. Sh. *Fur'ye – preobrazovaniye vremennogo ryada pri zhidkofaznom okislenii 1,4 nafdiodiola*. [Fourier - time series conversion during liquid phase oxidation of 1,4 naphthodiol]. *Kachestvo nauki - kachestvo zhizni*, no. 2, pp. 66–67
 33. Klachek P. M., Polupan K. L., Liberman I. V. *Tsifrovizatsiya ekonomiki na osnove sistemno-tselevoy tekhnologii upravleniya znaniyami*. [Digitalization of economy based on systemic target technology of knowledge management]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU = Scientific and technical statements of SPbSPU*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 9–19.
 34. Panchenko A. D. *Obzor metodov i modeley prognozirovaniya razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem*. [Review of methods and models for forecasting the development of socio-economic systems]. *Sbornik materialov IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Collection of materials of the IV international scientific and practical conference], 2019, pp. 86–89.
 35. Seliverstova A. V. Comparative analysis of models and forecasting methods. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii = Modern scientific research and innovation*, 2016, vol. 11, no. 67, pp. 241–248 (in Russian).
 36. Kataseva D. V., Katasev A. S., Kirpichnikov A. P., Abyanov B. E. *Neyronechetkaya model' analiza i prognozirovaniya vremennykh ryadov*. [Neuro-fuzzy model of analysis and forecasting of time series]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*, 2016, vol. 19, no. 13, pp. 127–131.

About the authors

Marina V. Tumbinskaya, ORCID 0000-0003-3738-5242, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Department of Information Protection Systems, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev, Kazan, Russia, tumbinskaya@inbox.ru
 Vasily V. Volkov, ORCID0000-0003-0871-9987, student of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia, waskis298@gmail.com
 Bulat G. Zagidullin, ORCID 0000-0002-7164-0879, student of Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev, Kazan, Russia, zagidullinbg@gmail.com

Received 18.05.2020, reviewed 11.06.2020,
 accepted 25.06.2020

Метод разрешения лексической многозначности поискового запроса на основе онтологий

Ю. И. Бутенко^{1*},

¹ *Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия*

* *iubutenko@bmstu.ru*

Аннотация. Одним из факторов, влияющих на релевантность результатов информационного поиска, является многозначность поискового запроса, выраженная лексическими средствами естественного языка. Отмечено, что практически каждое слово естественного языка, кроме строго однозначных терминов, особенно принадлежащее общеупотребительной лексике, многозначно, его зависит от контекста употребления слова. Многозначность лексической единицы проявляется на этапе поискового запроса. Предлагается метод разрешения многозначности лексических единиц в поисковом запросе, основанный на онтологиях. Обосновано, что онтологии позволяют достаточно точно передавать семантическую составляющую данных, относящихся к предметной области. Предлагаемый метод лексического многовариантного разрешения может быть описан следующим образом. Поисковый запрос пользователя поступает на вход поисковой системы. Поисковая система связывается с библиотекой онтологий, чтобы найти поисковый запрос пользователя. Если лексическая единица из поискового запроса многозначна, то поисковая система предложит пользователю список предметных областей, в которых была найдена лексическая единица из поискового запроса. Часто пользователь заранее ищет результат из конкретной предметной области. Когда предметная область определена, поисковая система определяет ближайшие элементы в структуре онтологии, а при ранжировании результатов поиска система будет руководствоваться их наличием или отсутствием. Использование онтологий также позволяет добавлять в поисковый запрос синонимы и аббревиатуры, означающие одно и то же понятие разными лексическими средствами. Предлагаемый подход позволит решить проблему лексической многозначности и существенно разгрузить поисковую выдачу, оставив только предметную область, представляющую интерес для пользователя.

Ключевые слова: информационный поиск, онтология, поисковый запрос, поисковая выдача, многозначность, лексическая единица

Для цитирования: Бутенко Ю. И. Метод разрешения лексической поискового запроса на основе онтологий // Прикладная информатика. 2020. Т.15. № 5. С. 103–110. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-103-110

Method for resolving the lexical polysemous search query based on ontology

I. Butenko^{1*},

¹ *Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

* *ibutenko@bmstu.ru*

Abstract. One of the factors influencing the relevance of search output is the multivalued search query, expressed by lexical means of a natural language. The multivalued lexical unit manifests itself at the stage of a search query. The method of removing the multivalence of lexical units in a search query based on ontologies is proposed. It is grounded that ontologies allow transferring semantic component of data related to a subject area accurately enough. The proposed method for lexical multivariance resolution can be described as follows. A user search query is received at the search engine input. The search engine contacts the ontology library to find the query. If the lexical unit from the search query is multivalued, the search engine will offer the user a list of subject areas in which the lexical unit from the search query was found. Often, the user searches in advance for the result from a particular subject area. When the subject area is defined, the search engine determines the nearest elements in the structure of ontology, and when ranking the search output will be guided by their presence or absence. The use of ontologies also allows adding synonyms and acronyms meaning the same to the search query. The proposed approach will allow solving lexical multiplicity and significantly relieving the search output, leaving only the subject area of interest to the user.

Keywords: information search, ontology, search query, search output, multivalued, lexical unit

For citation: Butenko I. Method for resolving the lexical polysemous search query based on ontology. *Prikladnaya informatika=Journal of Applied Informatics*, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 103-110 (in Russian) DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-103-110

Введение

В настоящее время поисковые интернет-технологии достигли достаточно высокого уровня развития, однако объем поступающей неструктурированной информации продолжает расти. Современные средства поиска, анализа и фильтрации информации развиваются, предлагают все новые алгоритмы интеллектуального информационного поиска, позволяют настроить поисковую выдачу и упростить поиск нужных страниц, более того, существуют особые способы построения запроса, помогающие вести более эффективный анализ информации. Порой, для того чтобы найти достаточно специфическую информацию, без знания подобных способов

построения запроса обойтись достаточно трудно [11]. Возможно, это относится к недостаткам самой поисковой системы, но не всегда это действительно так. Чаще всего, обычный пользователь интернета мало задумывается о применении интеллектуальных средств поиска, анализа и фильтрации информации или знаком только с основами правильного ведения информационного поиска, в то время как самые действенные способы известны лишь продвинутым пользователям [5]. К сожалению, даже при всех этих условиях, не всегда поисковая выдача соответствует ожиданиям.

Одним из факторов влияющим на релевантность поисковой выдачи является многозначность поискового запроса, выражен-

ного лексическими средствами естественного языка [14]. В общем смысле проблема разрешения лексической многозначности является проблемой классификации, т. е. процесса отнесения слова или фразы к определенному значению, отличающемуся от других значений, которые потенциально может принимать это же слово (фраза). Обычно используется одно из двух предположений: слово может принимать только одно значение в рамках рассматриваемого документа, либо слово принимает определенное значение в рамках контекста – соседних слов, предложений [8].

Многозначность лексической единицы проявляется еще на этапе формирования поискового запроса, когда поисковая система вынуждена искать либо слово в одном из значений, что нивелирует результаты информационного поиска, если выбранное значение не совпало с ожиданиями пользователя; либо перегружает поисковую выдачу значительным количеством нерелевантных запросов документов, если поисковая система рассматривает все значения слова.

Целью статьи является разработка метода снятия многозначности лексических единиц в поисковом запросе на основе онтологий.

Влияние лексической многозначности на информационный поиск

На практике пользователю обычно требуется найти не какой-то конкретный, заранее известный документ, а некие сведения (факты), знание которых необходимо для решения поставленной задачи (или же для удовлетворения любопытства). Возникающая в данном случае проблема заключается в том, что пользователь имеет очень ограниченное представление о той информации, которую ему нужно найти. Самым надежным способом составления поискового предписания представляется включение в поисковый образ запроса ключевых слов (или словосоче-

таний), которые, по мнению пользователя, непременно должны входить в текст документа, содержащего нужные сведения. Однако здесь возникает следующая дилемма: если включить в поисковый запрос небольшое количество «наиболее вероятных» слов, то его результатом будут сотни (а то и тысячи) документов, далеко не все из которых будут содержать ответ именно на поставленный вопрос. Если же включить в запрос много «предполагаемых» ключевых слов (или даже целую фразу), то мы рискуем получить на выходе пустое множество документов, поскольку авторы документов требуемой тематики могли описывать интересующий пользователя предмет фразами, несколько отличающимися от заданной в запросе [12, 13].

Практически каждое слово естественного языка, кроме строго однозначных терминов, особенно принадлежащее общеупотребительной лексике, многозначно. Понятие «многозначность» довольно неопределенно и зависит от контекста употребления слова. Можно различать экстралингвистический контекст, характеризующий общую обстановку межязыковой коммуникации. Лингвистический контекст также достаточно общее понятие. Можно различать контекст текста в целом, отдельной его части, от страницы до абзаца, и, наконец, ближайший контекст в виде непосредственно соседствующих с основным словом лексических единиц. [6].

Под контекстом принято понимать семантико-грамматическое и коммуникативное единство определенного текстового элемента с текстовым и ситуативным окружением как индикатором значения и функционального веса этого элемента. Различают микро- и макроконтраст. Микроконтраст – ближайшее окружение текста. Так, предложение получает смысл в контексте абзаца, абзац в контексте главы и т.д. Макроконтраст – это вся система знаний, связанная с предметной областью, то есть знания об особенностях и свойствах, явно не указанных в тексте. Другими словами, любое знание

обретает смысл в контексте некоторого мета-знания [10].

Метод снятия лексической многозначности поискового запроса

Основными задачами, стоящими перед поисковыми системами, остаются выдача пользователям конкретных ответов на поставленные вопросы и определение сайтов с наилучшей выдачей ответов. Построение оптимальной последовательности применения тех или иных инструментов на каждом шаге поиска и предопределяет его эффективность [10].

С общим ростом количества информации и развития общества в целом, многие слова постоянно приобретают все новые и новые значения. Таким образом, ведя поиск по слову «эос», пользователь получает поисковую выдачу из источников, относящихся как минимум к пяти разным областям знаний: медицина, мифология, образование, программное обеспечение, криптовалюта. Ответом на за-

прос является набор всевозможных значений данного сочетания букв, огромное количество информации из разных источников, каждый из которых нужно изучить, на что тратятся и время, и силы. Стоит отметить, что пользователь погружен в контекст, т.е. некоторую предметную область. Так, при чтении книги о легендах и мифах Древней Греции искомое значение для слова «эос» будет из предметной области мифологии.

В настоящее время онтологии активно используются при информационном поиске [1, 2, 7, 9]. Преимуществом онтологий является их способность достаточно точно передавать семантическую составляющую данных, относящихся к некоторой предметной области. Так, благодаря онтологиям можно вести весьма продуктивный поиск требуемой информации, семантически релевантной запросу пользователя [4].

Онтология является системой понятий, предположительно существующих в некоторой области знаний, для обозначения кото-

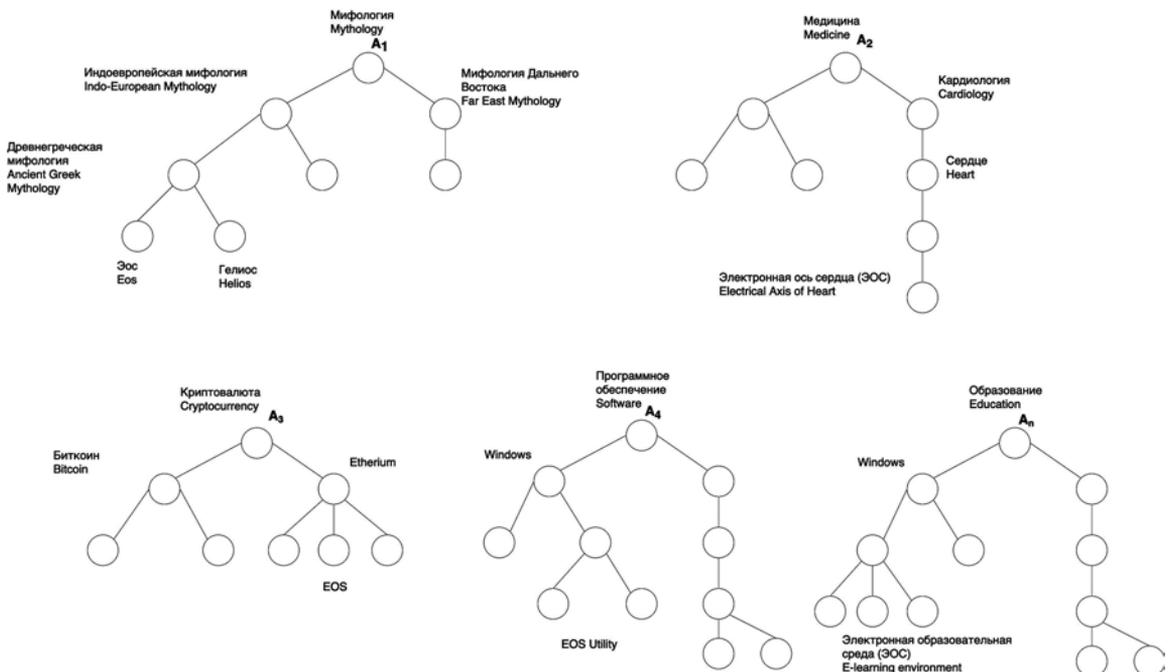


Рис. 1. Библиотека онтологий

Fig. 1. Library of ontologies

рых использован определенный естественный язык. Понятия представляются в объеме, достаточном для того, чтобы с их помощью можно было описать знания о конкретной области знаний средствами данного языка. Понятия составляют словарь онтологии, назначение которого состоит в представлении терминологии для описания знаний о конкретной области [1, 3]. Таким образом, целесообразно использовать онтологические методы при формировании поискового запроса с целью разрешения многозначности лексических единиц.

Предлагаемый метод к разрешению лексической многозначности можно описать следующим образом. На вход поисковой системы поступает поисковой запрос пользователя. Поисковая система обращается в библиотеку онтологий для поиска запроса. Если лексическая единица из поискового запроса является многозначной или имеет омонимы, то поисковая система предложит пользователю перечень предметных областей, в которых была

найдена лексическая единица из поискового запроса. Зачастую пользователь заранее ищет результат из определенной предметной области. Когда предметная область определена, поисковая система определяет ближайшие элементы в структуре онтологии, и при ранжировании поисковой выдачи будет ориентироваться на их наличие или отсутствие.

В качестве примера предположим, что пользователь ввел запрос «эос». На первом этапе проводится процедура поиска лексической единицы из поискового запроса «эос» в библиотеке онтологий. Пример библиотеки онтологий, содержащий онтологии из разных предметных областей, приведен на рисунке 1.

Результаты поиска представлены на рисунке 2. Как видно из примера, лексическая единица «эос» встречается в предметных областях по мифологии, медицине, криптовалютам, программном обеспечении, образовании.

На следующем шаге пользователь выбирает интересующую его предметную область,

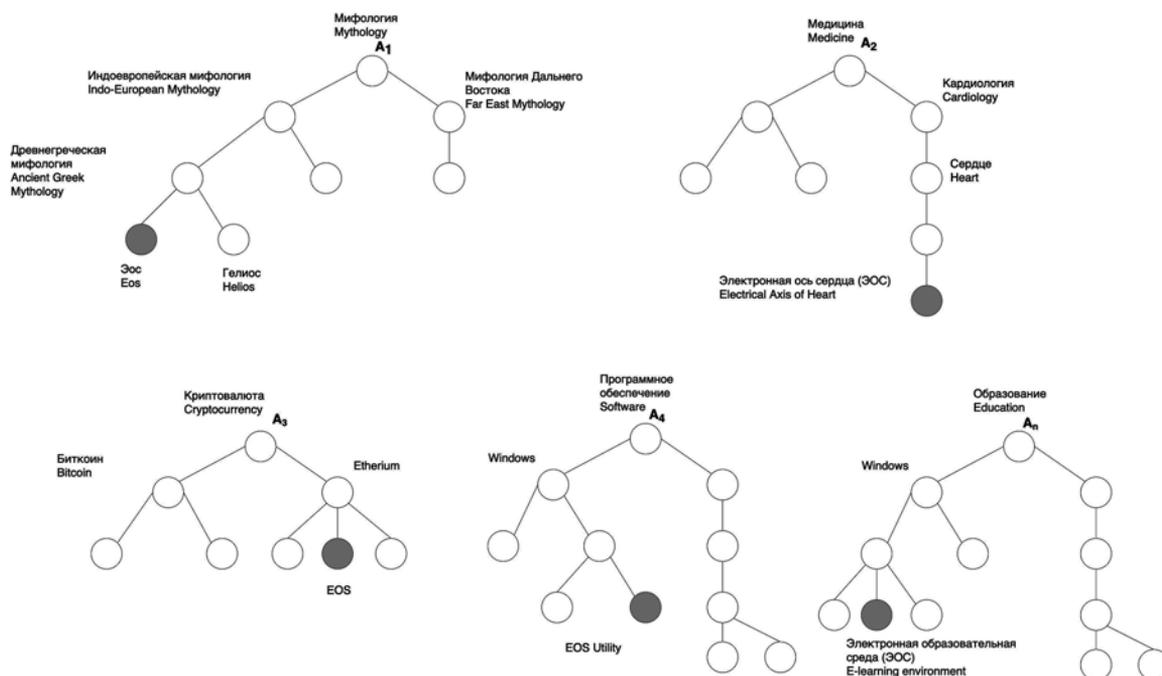


Рис. 2. Поиск в библиотеке онтологий
 Fig. 2. Search in the library of ontologies

затем, в уже выбранной онтологии предметной области, определяются ближайшие концепты, связанные с запросом пользователя. Найденные концепты служат критерием релевантности при ранжировании поисковой выдачи. На рисунке 3 представлена операция выборки концептов для уточнения поискового запроса.

Основные этапы метода разрешения лексической многозначности информационного запроса на основе онтологий представлены на рисунке 4.

Таким образом, если поисковой запрос был в области медицины, то поисковая система будет ориентироваться при ранжировании результатов на наличие ближайших концептов в онтологии, таких как «кардиология», «сердце», «сердечная ось сердца», и при этом игнорировать страницы, где встречаются «Гелиос», «древнегреческая мифология».

К преимуществам использования онтологий при информационном поиске также можно отнести наличие словаря онтологии, что позволит отразить наличие лексических

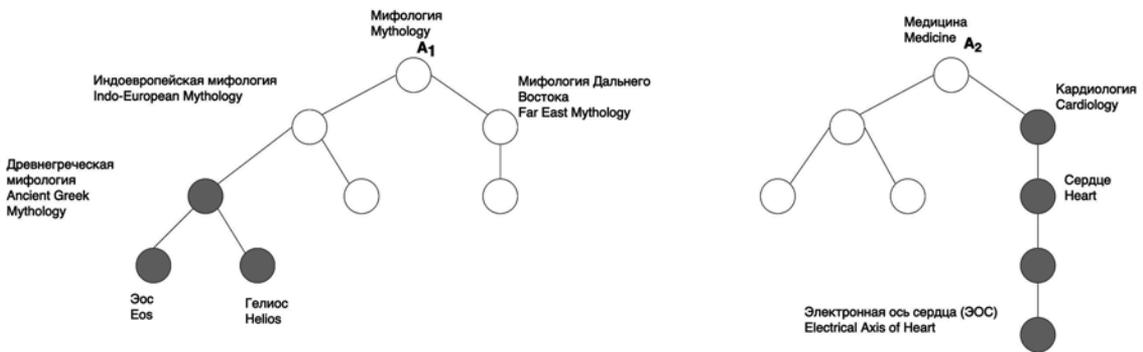


Рис. 3. Выборка понятий
Fig. 3. Selection of notions

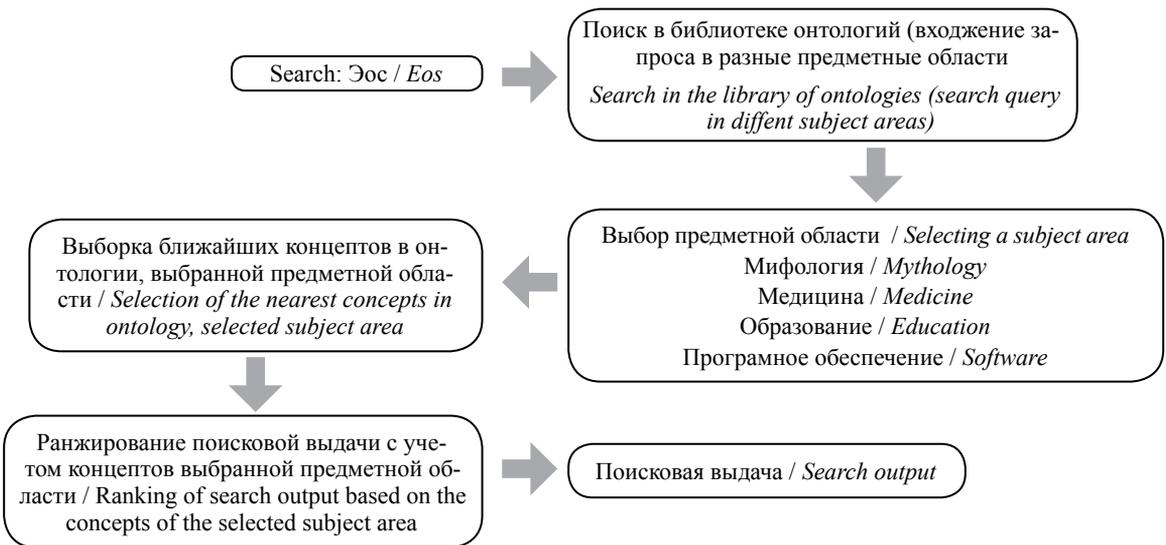


Рис. 4. Основные этапы метода разрешения многозначности информационного запроса на основе онтологий

Fig. 4. The main stages of the ontology-based method to search query resolving

единиц, обозначающих одинаковое понятие, например, полную форму сокращения «эос» – «электронная ось сердца».

Использование предложенного подхода позволит разрешить лексическую многозначность и существенно разгрузить поисковую выдачу, оставив лишь интересующую пользователя предметную область.

Заключение

Стремительное развитие современных средства поиска, анализа и фильтрации информационного запроса предлагает пользователям все новые алгоритмы интеллектуального поиска, однако их использование не означает, что поисковая выдача будет соответствовать ожиданиям. Обосновано, что одним из факторов, влияющих на релевантность поисковой выдачи, является многозначность поискового запроса, выраженного лексическими средствами естественного языка. Показано, что многозначность лексической единицы проявляется еще на этапе формирования поискового запроса. Предложен метод снятия многозначности лексических единиц в поисковом запросе на основе онтологий. Обосновано, что онтологии позволяют достаточно точно передавать семантическую составляющую данных, относящихся к некоторой предметной области. Предложенный интеллектуальный метод к разрешению лексической многозначности состоит из следующих этапов: получение поискового запроса пользователя, поиск лексической единицы в библиотеке онтологий, выбор предметной области в библиотеке онтологий для многозначной лексической единицы, определение ближайших элементов в структуре онтологии. Обосновано, что предложенный подход может быть положен в основу интеллектуальной интернет-технологии поиска, анализа и фильтрации информации для разрешения лексической многозначности поискового запроса, что свою очередь существенно разгрузит поисковую выдачу, оставив лишь интересующую пользователя предметную область.

Список литературы

1. Бова В. В., Лещанов Д. В. Семантический поиск знаний в среде функционирования междисциплинарных информационных систем на основе онтологического подхода // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2017. № 7 (192). С. 79–90.
2. Захаров А. А., Нестерова О. А., Оленников Е. А. Алгоритм информационного поиска в медицинских архивах на основе контекстно-временной онтологии // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. 2010. № 6. С. 177–182.
3. Левашова Т. В., Пашкин М. П., Смирнов А. В., Шилов Н. Г. Управление онтологиями (базами знаний). I // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2003. № 4. С. 132–146.
4. Левашова Т. В., Пашкин М. П., Смирнов А. В., Шилов Н. Г. Управление онтологиями. II // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2003. № 5. С. 89–101.
5. Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск. М.: Вильямс, 2011. – 528 с.
6. Марчук Ю. Н. Лексические проблемы новых информационных технологий // Современный ученый. 2017. № 5. С. 56–62.
7. Пальчунов Д. Е. Решение задачи поиска информации на основе онтологии // Бизнес-информатика. 2008. № 1. С. 3–13.
8. Папух А. В., Гуринович А. Б., Волорова Н. А., Кузнецов А. П. Анализ методов разрешения лексической многозначности в области биомедицины // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2019. № 5 (123). С. 60–65. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2019-123-5-60-65>
9. Россеева О. И., Загоруйко Ю. А. Организация эффективного поиска на основе онтологий // Труды Международного семинара Диалог'2001 по компьютерной лингвистике и ее приложениям. 2001. С. 333–342.
10. Butenko I. I. Ontology approach to normative profiles forming at critical software certification // AIP Conference Proceedings. Vol. 2171. No. 1. AIP Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5133236>.
11. Sidnyaev N. I., Butenko I. I., Bolotova E. E. Statistical and Linguistic Decision-Making Techniques Based on Fuzzy Set Theory // Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics. CSDEIS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol 1127. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-39216-1_16.
12. Sidnyaev N. I., Butenko J. I., Garazha V. V. Mathematical apparatus for engineering-linguistic

- models. // AIP Conference Proceedings. Vol. 2195. No. 1. P. 020033. DOI: 10.1063/1.5140133
13. Soto A., Olivas J. A., Prieto M. E. Fuzzy approach of synonymy and polysemy for information retrieval // Granular computing: At the junction of rough sets and fuzzy sets. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. P. 179–198.
 14. Stokoe C. Differentiating homonymy and polysemy in information retrieval // Proceedings of Human Language Technology Conference and Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2005. P. 403–410.
 7. Palchunov D. E. Solving the problem of searching for information based on ontology. *Biznes-informatika*=Business informatics, 2008, no. 1, pp. 3-13. (in Russian).
 8. Pashuk A. V., Gurinovich A. B., Volorova N. A., Kuznetsov A. P. Analysis of methods for resolving lexical multivariance in biomedicine. *Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki*=Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019, no. 5(123), pp. 60-65. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2019-123-5-60-65> (in Russian).
 9. Rosseyeva O. I., Zagorulko Yu. A. *Organizatsiya effektivnogo poiska na osnove ontologii* [Organization of effective ontology-based search]. *Trudy Mezhdunarodnogo seminar Dialog'2001 po kompyuternoy lingvistike i eye prilozheniyam*=Proceedings of the International Seminar Dialog'2001 on Computer Linguistics and its Applications, 2001, pp. 333-342. (in Russian).
 10. Butenko I. I. Ontology approach to normative profiles forming at critical software certification. AIP Conference Proceedings, vol.2171, no.1. AIP Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5133236> (in Russian).
 11. Sidnyaev N. I., Butenko I. I., Bolotova E. E. Statistical and Linguistic Decision-Making Techniques Based on Fuzzy Set Theory. *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics. CSDEIS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol.1127. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-39216-1_16.
 12. Sidnyaev N. I., Butenko J. I., Garazha V. V. Mathematical apparatus for engineering-linguistic models. AIP Conference Proceedings, vol. 2195, no.1, p. 020033. DOI: 10.1063/1.5140133
 13. Soto A., Olivas J. A., Prieto M. E. Fuzzy approach of synonymy and polysemy for information retrieval. Granular computing: At the junction of rough sets and fuzzy sets. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. pp. 179-198.
 14. Stokoe C. Differentiating homonymy and polysemy in information retrieval. Proceedings of Human Language Technology Conference and Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2005, pp. 403-410.

Сведения об авторах

Бутенко Юлия Ивановна, ORCID 0000-0002-9776-5709, канд. техн. наук, доцент, кафедра Теоретической информатики и компьютерных технологий, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, iubutenko@bmstu.ru

Статья поступила 23.03.2020, рассмотрена 12.04.2020, принята 05.05.2020

References

1. Bova V. V., Leshchanov D. V. The semantic search of knowledge in the environment of operation of interdisciplinary information systems based on ontological approach. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*=*Izvestiya SFedU. Engineering sciences*, 2017, no. 7(192), pp. 79-90 (in Russian).
2. Zakharov A. A., Nesterova O. A., Olennikov E. A. Information retrieval algorithm in medical archives based on context-time ontology. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Sotsialno-ekonomicheskkiye i pravovyye issledovaniya*=*Tyumen State University Herald. Social, Economic, and Law Research*, 2010, no. 6, pp. 177-182. (in Russian).
3. Levashova T. V., Pashkin M. P., Smirnov A. V., Shilov N. G. *Upravleniye ontologiyami (bazami znaniy)* [Ontology (knowledge base) management]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*=*Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2003, no. 4, pp. 132-146. (in Russian).
4. Levashova T. V., Pashkin M. P., Smirnov A. V., Shilov N. G. *Upravleniye ontologiyami II* [Ontology management]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*=*Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2003, no. 5, pp. 89-101.
5. Manning C. D., Raghavan P., Schütze H. Introduction to information retrieval. Cambridge university press, 2008, 528 p. (in Russian).
6. Marchuk Yu. N. Lexical problems of modern information technologies. *Sovremennyy uchenyy*=*Modern Scientist*, 2017, no.5, pp.56-62. (in Russian).

About the authors

Iuliia I. Butenko, ORCID 0000-0002-9776-5709, PhD in Technique, Associate Professor, Department of Theoretical informatics and computer technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, iubutenko@bmstu.ru

Received 23.03.2020, reviewed 12.04.2020, accepted 05.05.2020

Оценка флуктуационных свойств взаимодействия растровых структур различных линиатур при воспроизведении полноцветных изображений

О. А. Гурьянова¹, А. Ю. Гнибеда^{2*}

¹ Академия медиаиндустрии, г. Москва, Россия

² Московский финансово-промышленный университет «Синергия», г. Москва, Россия

* artemgnibeda@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию флуктуационных свойств взаимодействия растровых структур с различной линиатурой в процессе полноцветной печати и разработке метода оценки визуального восприятия этих взаимодействий. Одной из основных задач, решаемых в процессе полиграфического воспроизведения изобразительной информации, является соблюдение равномерности тона участков изображения на печатном оттиске. Нарушение равномерности тона приводит к возникновению флуктуаций и, как следствие, к ухудшению визуального восприятия готовой изобразительной продукции, которое является основополагающим при выборе технологии воспроизведения изображения. Данный вопрос является особенно актуальным при изготовлении полноцветных изображений, где происходит взаимодействие нескольких растровых структур, изготавливаемых для четырех копий изображения, соответствующих краскам полиграфического синтеза в процессе цветodelения. Существенное влияние на уровень флуктуаций оказывает не только выбор углов взаимного расположения данных структур, которое регламентируется технологическими стандартами, но и выбор линиатуры растривания. В то же время, соблюдение технологических стандартов не всегда гарантирует качественный результат. Цель исследования – обеспечение возможности выбора оптимальной линиатуры регулярных растровых структур, которая, при взаимном сочетании данных структур, позволит минимизировать уровень заметности флуктуаций (шумов) и, как следствие, повысить качество полноцветной печатной продукции. Для достижения поставленной цели в рамках данной работы разработан метод оценки флуктуационных свойств взаимодействия растровых структур, основанный на вычислении величины стандартного отклонения, характеризующего гистограмму конкретного растрового поля, и, как следствие, уровень флуктуаций. Разработанный метод позволяет выбрать оптимальную линиатуру растривания, которую можно использовать при двойном или тройном сочетании растровых структур.

Ключевые слова: растровая структура, линиатура растривания, углы поворота растровых структур, градация, растровая точка, флуктуации, гистограмма, стандартное отклонение, сочетание растровых структур

Для цитирования: Гурьянова О. А., Гнибеда А. Ю. Оценка флуктуационных свойств взаимодействия растровых структур различных линиатур при воспроизведении полноцветных изображений // Прикладная информатика. 2020. Т. 15 № 5. С. 111–123. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-111-123

Evaluation of the fluctuation properties of the interaction of halftone screens of various lineatures when reproducing full-color images

O. Guryanova¹, A. Gnibeda^{2*}

¹ Academy of Media Industry, Moscow, Russia

² Moscow University for Industry and Finance «Synergy», Moscow, Russia

* artemgnibeda@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the fluctuation properties of the interaction of halftone screens with different lineatures in the process of full-color printing and the development of a method for assessing the visual perception of these interactions. One of the main tasks solved in the process of printing reproduction of graphic information is to maintain uniformity of tone of large background areas in a print. Violation of the uniformity of the tone of these areas leads to fluctuations - disturbances in the reproduction stability of halftone screen structures used in the reproduction process, which become noticeable during the visual perception of the finished images. This issue is especially relevant in the manufacture of full-color images, where there is an interaction of several halftone screens produced for four copies of the image, corresponding to the colors of printing synthesis in the process of color separation. A significant influence on the level of fluctuations is exerted not only by the choice of angles of mutual arrangement of these halftone screens, which is regulated by technological standards, but also by the choice of halftone screening lineature. At the same time, compliance with technological standards does not always guarantee a high-quality result. The purpose of the study is to provide the opportunity to choose the optimal lineature of regular halftone screening, which, with a combination of these screens, will minimize the level of noticeability of fluctuations (noise) and, as a result, improve the quality of full-color printed materials. To achieve this goal, in the framework of this work, a method for evaluation of the fluctuation properties of the interaction of raster structures based on the calculation of the standard deviation characterizing the histogram of a particular halftone field and, as a result, the level of fluctuations is developed. The developed method allows choosing the optimal halftone screening lineature, which can be used with a double or triple combination of halftone screens.

Keywords: halftone screening, screening lineature, rotation angles of halftone screens, gradation, raster point, fluctuations, histogram, standard deviation, combination of halftone screens

For citation: Guryanova O., Gnibeda A. Evaluation of the fluctuation properties of the interaction of halftone screens of various lineatures when reproducing full-color images. *Prikladnaya informatika*—Journal of Applied Informatics, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 111–123 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-111-123

Введение

При воспроизведении цветной репродукции с помощью полиграфических систем обя-

зательными технологическими преобразованиями являются операции растривания – формирования градации тонов за счет изменения площади растровых точек по каждой

краске полиграфического синтеза и цветоделения (разделения изображения на каналы субтрактивного синтеза СМУК).

Растривание – цифровое преобразование исходных тонов изображения или цифровых значений пикселей исходного изображения в растровые элементы определенной площади и формы. Если говорить о регулярном растривании, то необходимо учитывать такой параметр как линиатура. Линиатура растра – это величина, обратная периоду растра. Период растра – расстояние между центрами смежных растровых ячеек (рис. 1).

T - период растра
T - period of halftone screen

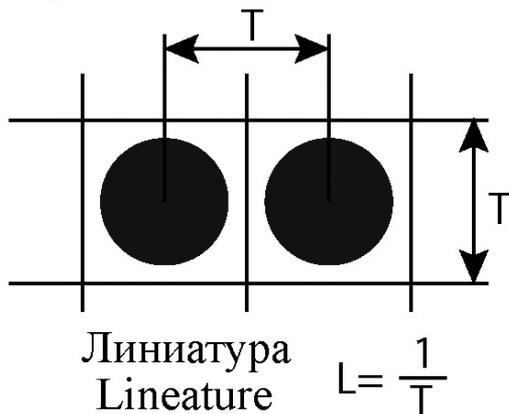


Рис. 1. Период растра, линиатура

Fig. 1. Period of halftone screen and lineature

Поскольку линиатура является важным параметром растривания, основной задачей полиграфического процесса является подбор данного параметра таким образом, чтобы не было заметно дискретной структуры изображения. Среднестатистический человеческий глаз не различает периодическую структуру, состоящую из черных штрихов и пробелов одинаковой ширины, если угол поля зрения между центрами двух штрихов не превышает 1,5 минуты. С учетом того, что нормальное расстояние просмотра и чтения полиграфической продукции равно приблизительно 40 см, расстояние между минимально различимыми штрихами со-

ставит 0,175 мм, а линиатура – 60 см⁻¹, или 150 lpi. Однако на различимость элементов изображения влияет не только расстояние просмотра, но и контрастность растровых элементов. Таким образом при выборе регулярной (периодической) растровой структуры является выбор параметров углов поворота для каждой краски, который регламентирован стандартом ISO 12647-2. Согласно данному стандарту:

- Разница между углами поворота растровых структур, использующих в основе круглую и квадратную форму растровой точки, для пурпурной, голубой и черной красок должна быть не менее 30°, а для желтой краски – отличаться от остальных на 15°;
- В случае использования точек, имеющих удлинение вдоль одного направления (например, эллиптической или ромбической) разница между углами поворота для пурпурной, голубой и черной красок должна составлять 60°, а для желтой краски – отличаться от остальных на 15°.

В качестве угла поворота принято использовать угол между главной осью растра (проходящей через центры растровых точек) и осью опорного направления, располагающейся вдоль оси ординат или абсцисс декартовой системы координат (рис. 2).

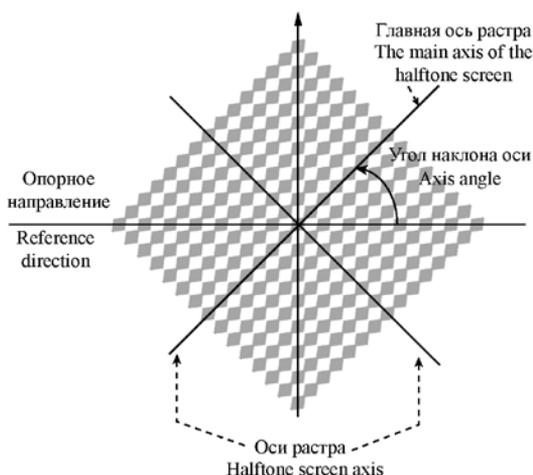


Рис. 2. Основные элементы растровой структуры

Fig. 2. The main elements of the halftone screen

Выбор оптимальной линиатуры регулярной растровой структуры

Соблюдение правил, регламентированных вышеуказанным стандартом, связано с результатами многочисленных исследований, целью которых являлся поиск путей решения проблемы минимизации муара – низкочастотной интерференционной картины, возникающей при взаимодействии высокочастотных периодических структур (рис. 3). Чем меньше разница между углами поворота двух растровых структур, тем заметнее муар. Дополнительно ко всему, неправильный выбор параметров растривания может привести к заметности проявления растровой структуры в процессе визуального восприятия и, как следствие, к нарушению равномерности однородности воспроизведения участков с равномерным тоном. Таким образом, выбор оптимальных углов поворота растровых структур должен производиться с учетом минимизации муара и стабильного воспроизведения участков с равномерным тоном.

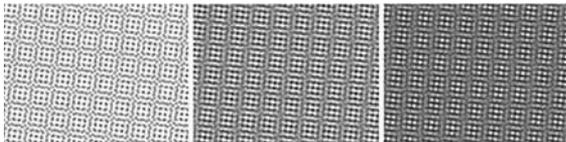


Рис. 3. Муар, возникающий при наложении растровых структур для пурпурной и голубой красок

Fig. 3. The appearance of moiré when applying halftone screens for magenta and cyan colors

Выбор стандартных параметров углов поворота растровых структур дает минимальную муаровую картину, представленную в виде растровой розетки (рис. 4).

Особое значение при этом имеет выбор угла поворота для так называемой «доминирующей» краски – составляющей, которая в значительной степени определяет градиционное и цветовое содержание воспроизводимого изображения. В качестве такой используется черная краска и угол поворота соот-

ветствующей растровой структуры составляет: для круглой и квадратной точек – 45° , для эллиптической и ромбической – 45° или 135° (рис. 5).

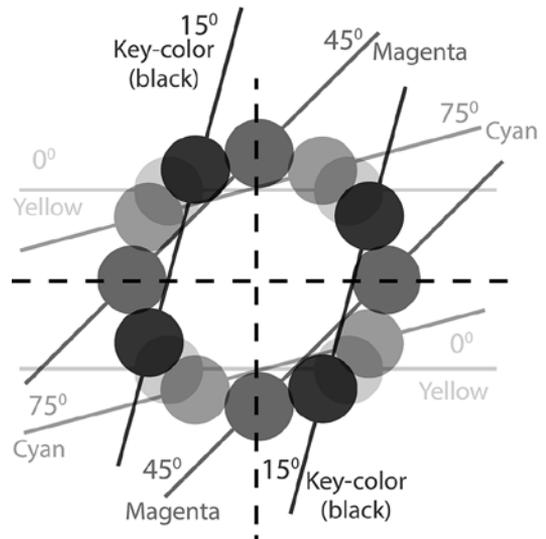


Рис. 4. Растровая розетка при выборе стандартных углов поворота растровых структур

Fig. 4. Raster rosette when choosing standard angles of rotation of halftone screen

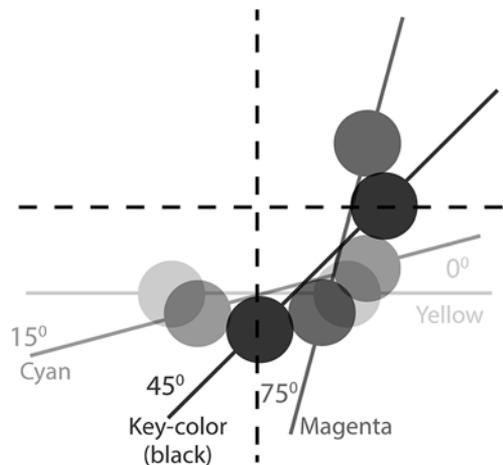


Рис. 5. Выбор углов поворота растровых структур с круглой (а) и эллиптической (б) формами точек для «доминирующей» черной краски

Fig. 5. The choice of rotation angles of halftone screens with round (a) and elliptical (b) dot shapes for the “dominant” black color

Несмотря на то, что выбор стандартных углов поворота растровых структур позволяет в определённой степени снизить вероятность возникновения муара, конечный результат при воспроизведении изображений, обладающих своими особенностями, прогнозировать трудно.

Форма растровой точки также может повлиять на возникновение флуктуаций в изображении. Существует классический набор форм растровых элементов, которые имеются в любом растровом процессоре. Все растровые процессоры могут растривать посредством круглых, квадратных, эллипсоидных и ромбических точек с различным соотношением диаметров или диагоналей (рис. 6).

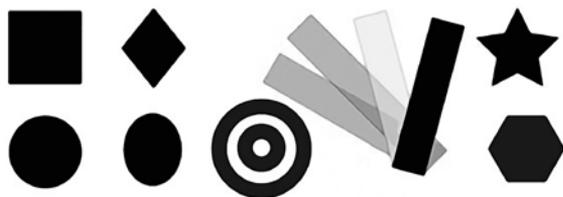


Рис. 6. Формы растровых точек
Fig. 6. Shapes of raster dots

Наиболее часто для печати используют круглые или эллиптические растровые точки, так как считается, что они стабильны при печати и при их использовании несложно предсказать возможное растискивание [6]

В любом случае при применении регулярного растра неизменно образуется «розеточная структура». Иногда такая структура готовых печатных оттисков, воспринимаемая при их визуальной оценке, может не устроить потребителя. Также не стоит упускать тот момент, что растровая структура в определенных условиях может быть заметна при визуальном восприятии и таким образом стать источником возникновения флуктуаций (неравномерностей) воспроизведения тоновых участков. В таких случаях прибегают к выборочному увеличению линиатуры растровой структуры одной из красок или к использованию нестандартных углов поворота. Однако даже

соблюдение элементарной осторожности при внесении данных преобразований не гарантирует получение ожидаемого результата. Необходимо иметь надежную методику оценки возможных флуктуаций, возникающих при использовании различных сочетаний растровых структур, разработке которой посвящена данная статья.

Метод оценки флуктуационных свойств

Метод оценки флукуационных свойств растровых структур, воспроизводимых в полиграфическом процессе, использовался в [1, 2] и заключался в применении статистической оценки гистограммы поля с равномерным тоном, формируемого растровой структурой. Для оценки флуктуационных свойств взаимодействия растровых структур используются растриванные поля тоновой шкалы с использованием стандартных для офсетной печати углов поворота: 15° для голубой краски, 45° для черной, 75° для пурпурной и 0° для желтой краски. Помимо этого, был учтен контраст реальных полиграфических красок [3].

Поскольку зрительное восприятие является основополагающим фактором при оценке печатного изображения, к тестовым шкалам была применена ФПМ зрительного анализатора с использованием методики, описанной в [4].

В рамках разработанной методики оцениваются двойные и тройные сочетания углов поворота растровой структуры для возможности оценки различных тоновых и цветовых зон изображения. Данные сочетания рассматриваются при различных линиатурах и традиционных формах растровой точки.

Для растривания использовались 3 линиатуры: 150 lpi, 175 lpi, 200 lpi и два вида растровой точки: круглая и эллиптическая.

В качестве примера на рисунке 7 приведены шкалы двойного и тройного сочетания

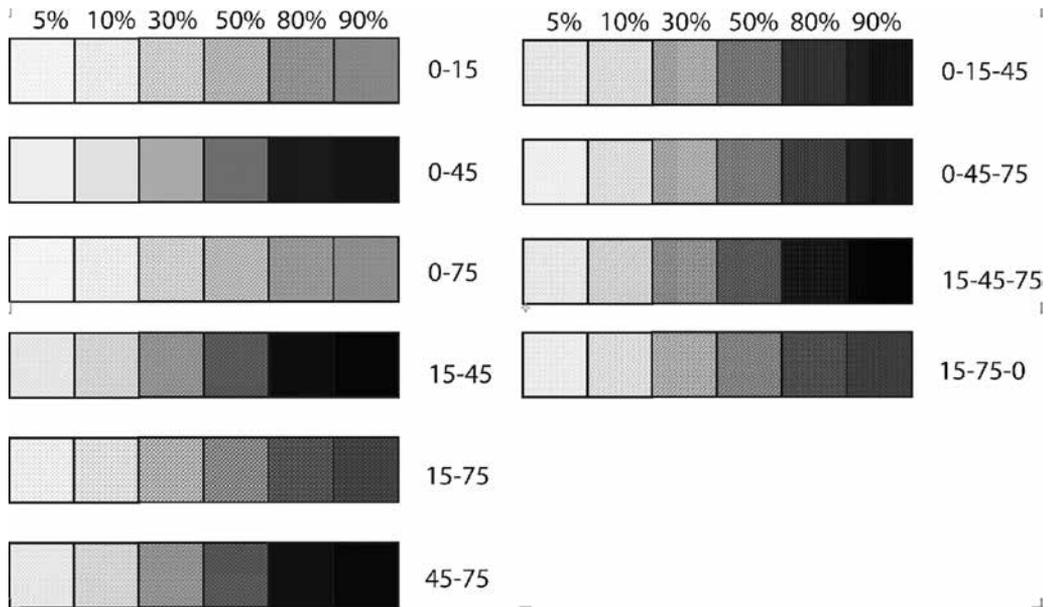


Рис. 7. Шкалы двойного и тройного сочетания для линиатуры 150 lpi с использованием эллиптической формы растровой точки

Fig. 7. Double and triple combination scales for lineature 150 lpi using an elliptical raster dot

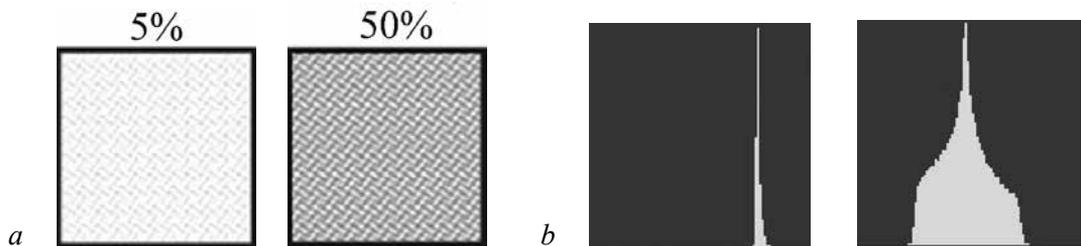


Рис. 8. а – растриваемые поля тоновой шкалы с относительной площадью растровой точки 5% и 50%, б – соответствующие гистограммы полей.

Fig. 8. a – half-tone screening of the areas of the tone scale with relative area of a raster dot 5% and 50%
b – corresponding histograms for these fields

для линиатуры 150 lpi с использованием эллиптической формы растровой точки.

Для анализа выбраны зоны светов, полутонов и теней, в процентном соотношении соответствующие размеру растровых точек, характеризующих оптическую плотность полей тоновой шкалы: 5%, 10%, 30%, 50%, 80%, 90%.

Для возможности оценки зрительного восприятия, так как именно зрительное восприятие является основополагающим при оценке печатного изображения, к тестовым шкалам

была применена ФПМ зрительного анализатора с использованием методики, описанной в [4], где в программной среде Matlab строится фильтр Гаусса:

$h = \text{fspecial}('gaussian', [m \ n], \text{sig})$,

где $[m \ n]$ – ширина фильтра в пикселях, sig – значение стандартного отклонения σ .

По алгоритмам, разработанным в [5], проводится статистическая оценка растрованных полей шкалы. С применением программной среды MATLAB и блока обработки изобразительной информации Image

Таблица 1. Значения стандартного отклонения для двойного наложения

Table 1. Standard Deviation Values for double overlaying

L 150, ellipse							L 150, round					
	5%	10%	30%	50%	80%	90%	5%	10%	30%	50%	80%	90%
0+15	0,97	2,46	9,52	11,31	6,0	2,38	0,97	2,47	9,52	11,31	5,99	2,38
0+45	0,9	2,16	5,4	2,63	4,07	2,09	0,89	2,19	5,42	2,64	4,06	2,08
0+75	0,95	2,46	9,51	11,3	6,0	2,39	0,95	2,46	9,52	11,3	5,99	2,04
15+45	0,94	1,85	4,98	5,44	3,32	1,78	0,95	1,86	5,0	5,41	3,32	1,81
15+75	1,04	1,91	5,0	5,37	3,35	1,81	1,04	1,91	5,01	5,38	3,34	1,81
45+75	0,96	1,85	4,97	5,4	3,31	1,78	0,96	1,85	5,0	5,41	3,31	1,8
L 175, ellipse							L 175, round					
	5%	10%	30%	50%	80%	90%	5%	10%	30%	50%	80%	90%
0+15	0,76	2,1	8,92	12,88	5,65	2,05	0,76	2,1	8,38	10,02	5,31	2,04
0+45	0,68	1,46	3,46	1,25	3,1	1,43	0,71	1,53	3,63	2,1	2,87	1,52
0+75	0,76	2,07	8,07	9,55	5,36	2	0,76	2,1	8,38	9,99	5,3	2,05
15+45	0,7	1,03	2,85	3,45	2,07	1,26	0,71	1,3	2,81	3,41	1,9	1,29
15+75	0,71	1,19	2,76	3,09	2,01	1,17	0,79	1,32	2,78	3,31	1,9	1,33
45+75	0,68	1,28	2,84	3,46	2,08	1,27	0,7	1,29	2,82	3,43	1,9	1,29
L 200, ellipse							L 200, round					
	5%	10%	30%	50%	80%	90%	5%	10%	30%	50%	80%	90%
0+15	0,6	1,47	6,71	9,23	3,98	1,45	0,6	1,54	6,08	7,35	3,94	1,5
0+45	0,67	1,68	3,53	0,71	3,34	1,68	0,64	1,72	4,45	1,49	3,17	1,65
0+75	1,58	1,45	5,24	7,03	3,66	1,45	0,62	1,55	6,09	7,37	3,93	1,5
15+45	0,64	1,08	1,9	2,39	1,43	1,06	0,66	1,07	1,86	2,46	1,27	0,95
15+75	0,65	0,98	1,78	2,14	1,31	0,93	0,73	3,68	1,91	2,56	1,41	1,1
45+75	0,65	1,05	1,9	2,39	1,46	1,01	0,66	1,07	1,86	2,48	1,28	1,0

Processing Toolbox получены гистограммы образцов, которые характеризуют распределение светлот на равномерном поле, растринном исследуемой структурой. Чем более широкое основание имеет гистограмма, тем больше заметны шумы растровой структуры. На рисунке 8 в качестве примера приведены растринные поля тоновой шкалы с относительной площадью растровой растровой точки 5% и 50%, показаны различные гистограммы, полученные для этих полей.

Результаты оценки

Для каждого образца на основании полученных гистограмм были измерены значения стандартных отклонений (Таб. 1, 2), показывающие уровень возникающих флуктуаций. По данным значениям построены диаграммы (рис. 9–12). Чем большее значение стандартного отклонения, тем более неравномерным является поле образца при его визуальном восприятии.

Таблица 2. Значения стандартного отклонения для тройного наложения**Table 2.** Standard Deviation Values for triple overlaying

L 150, ellipse							L 150, round					
	5%	10%	30%	50%	80%	90%	5%	10%	30%	50%	80%	90%
0+15+45	2,16	3,37	8,64	6,97	1,98	0,74	2,16	3,36	8,6	6,97	1,98	0,76
0+45+75	1,45	3,36	8,64	6,97	3,16	0,74	1,45	3,36	8,63	7,03	3,17	0,76
15+45+75	1,83	3,73	9,39	7,27	0,07	0	1,83	3,75	9,29	7,34	0,08	0
15+75+0	1,46	3,49	10,29	8,79	2,23	0,77	1,47	3,49	10,19	8,65	2,19	0,76
L 175, ellipse							L 175, round					
	5%	10%	30%	50%	80%	90%	5%	10%	30%	50%	80%	90%
0+15+45	1,68	2,58	7,2	6,99	1,77	0,67	1,78	2,61	6,93	5,93	1,66	0,68
0+45+75	1,13	2,56	6,66	5,59	2,66	0,67	1,17	2,16	6,91	5,79	2,53	0,68
15+45+75	1,38	2,38	5,05	2,98	0,39	0	1,41	2,36	5,14	5,26	0,23	0
15+75+0	1,17	2,86	8,78	8,27	1,91	0,65	1,24	2,93	8,64	7,5	1,8	0,72
L 200, ellipse							L 200, round					
	5%	10%	30%	50%	80%	90%	5%	10%	30%	50%	80%	90%
0+15+45	1,45	2,21	5,61	4,99	1,4	0,64	1,46	2,27	5,52	4,43	1,37	0,64
0+45+75	1	2,19	4,79	3,95	2,97	0,65	0,94	2,28	5,61	4,44	2,27	0,61
15+45+75	1,78	3,27	2,08	2,09	0,47	0	1,26	1,92	3,44	4,15	0	0
15+75+0	0,95	2,06	6,23	5,96	1,51	0,63	0,98	2,16	6,33	5,53	1,58	0,68

Закключение

Диаграммы показывают, что наибольшие значения флуктуаций характерны для полутонов изображения, для всех структур характерно сильное увеличение флуктуаций при сочетании углов поворота растровых структур 0° и 15° , 0° и 75° на 30% и 50% поле. При сочетании углов поворота растровой структуры 0° и 45° на 30% и 80% поле флуктуации также возрастают, но на 50% поле они меньше, чем при сочетании других углов поворота. Для эллиптической и круглой точек наблюдаются приблизительно одинаковые уровни флуктуаций, разница заметна лишь при линиатуре 200 lpi, для круглой точки характерны большие флуктуации при сочетании углов 0° и 15° , 0° и 75° , 15° и 75° .

Для тройного наложения растровых структур с различными углами поворота сохраняется тенденция увеличения флуктуаций в области полутонов для всех линиатур и разме-

ров растровой точки. При использовании линиатуры 175 и 200 lpi уровень флуктуаций возрастает для всех полей.

Таким образом, проведена оценка уровня флуктуаций, возникающих при различных сочетаниях наложения регулярных растровых структур. Показано, что при различных сочетаниях структур возникают различные по уровню флуктуации, помимо этого на возникновение флуктуаций оказывает влияние линиатура раstra и форма растровой точки, формирующая структуру.

Имея возможность оценить уровень возникающих флуктуаций, можно прогнозировать получаемое качество репродукции, а также осуществить выбор растровых структур и тех углов поворота, при использовании сочетания которых можно получить наиболее качественное репродуцированное изображение.

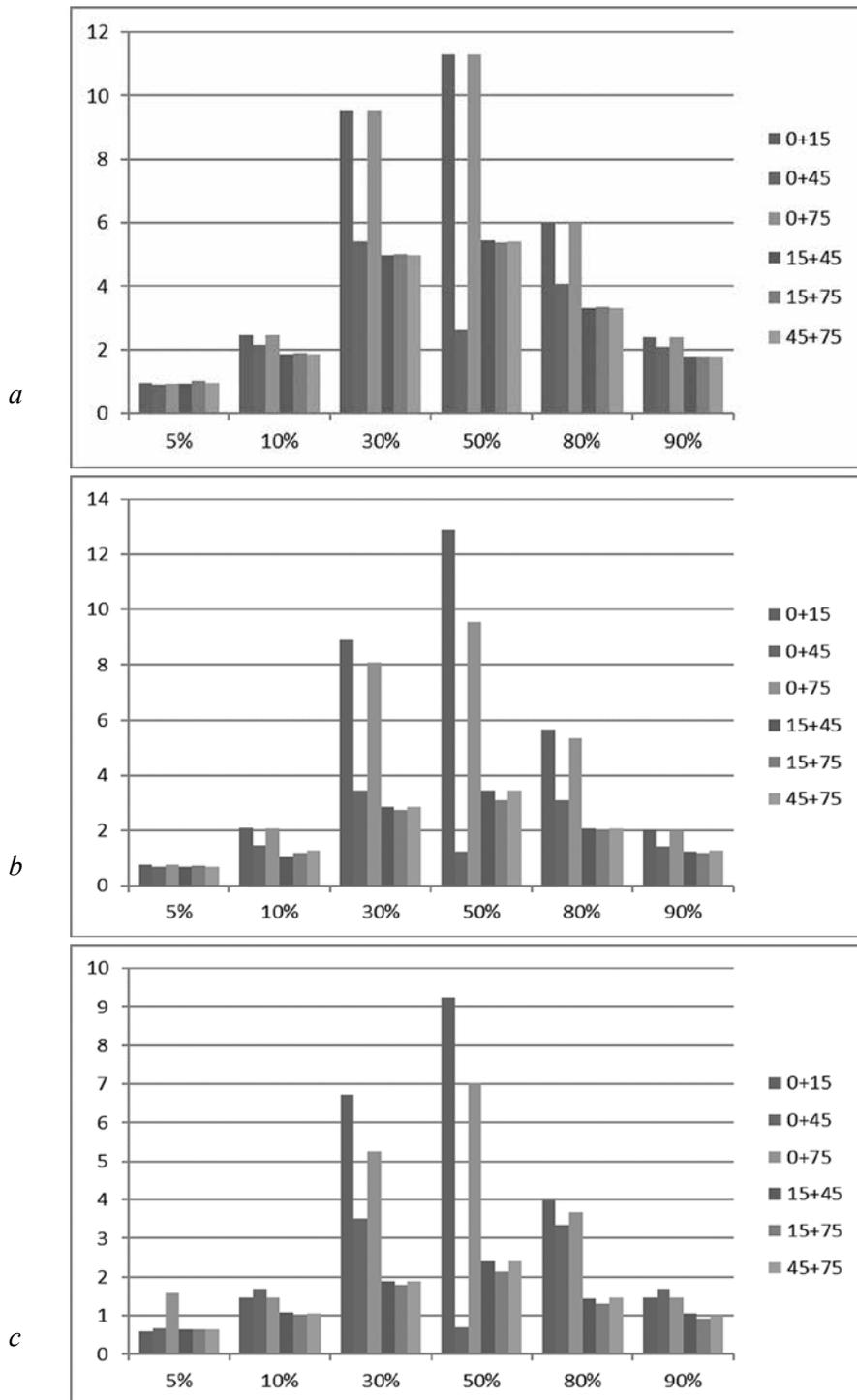


Рис. 9. Диаграммы, показывающие значения стандартного отклонения для двойного наложения красок при использовании эллиптической точки: а – 150 lpi, б – 175 lpi, с – 200 lpi

Fig. 9. Diagrams showing standard deviation values for double ink overlay using an elliptical dot: а – 150 lpi, б – 175 lpi, с – 200 lpi

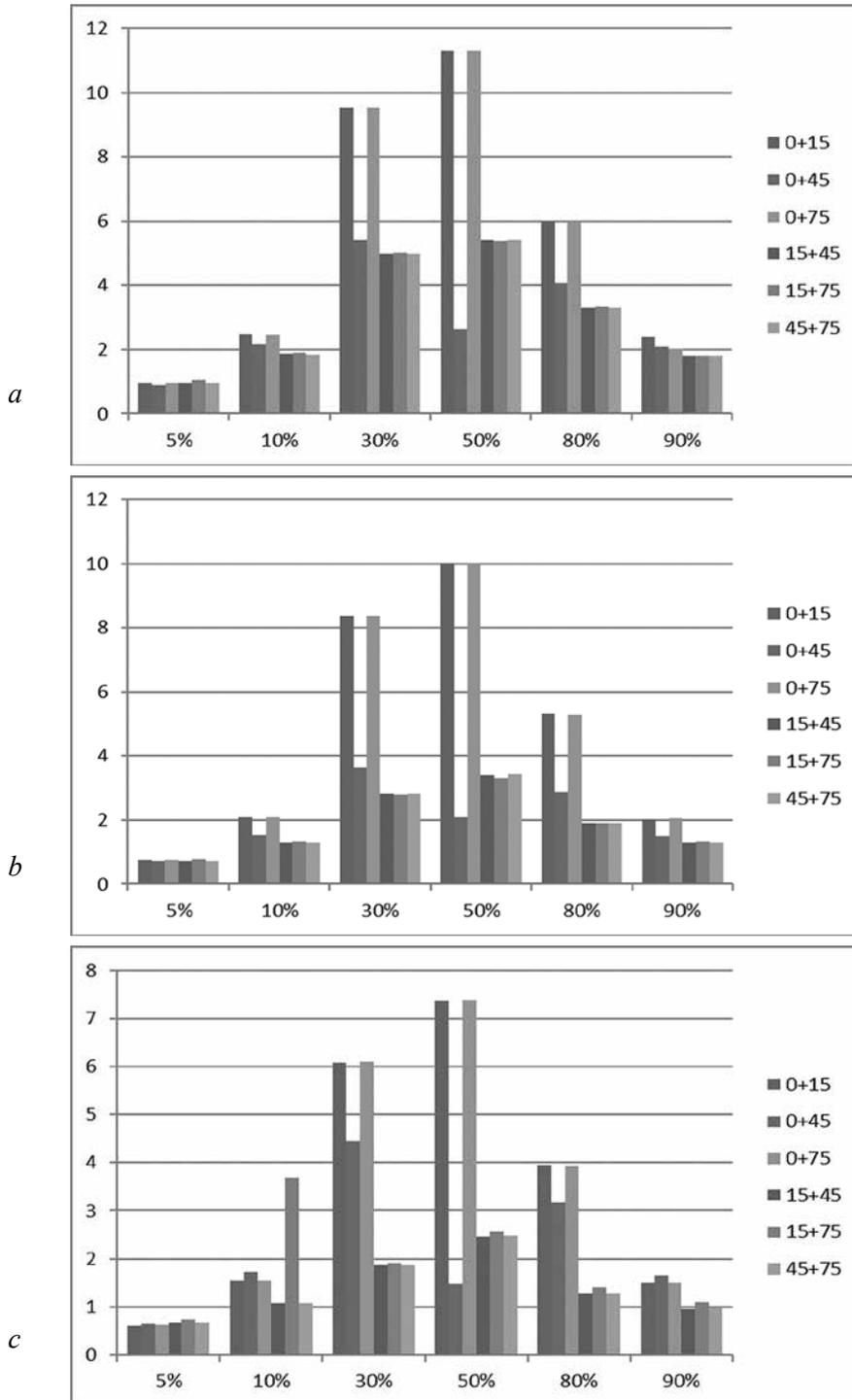


Рис. 10. Диаграммы, показывающие значения стандартного отклонения для двойного наложения красок при использовании круглой точки: а – 150 lpi, б – 175 lpi, в – 200 lpi

Fig. 10. Diagrams showing standard deviation values for double ink overlay using a round dot: а – 150 lpi, б – 175 lpi, в – 200 lpi

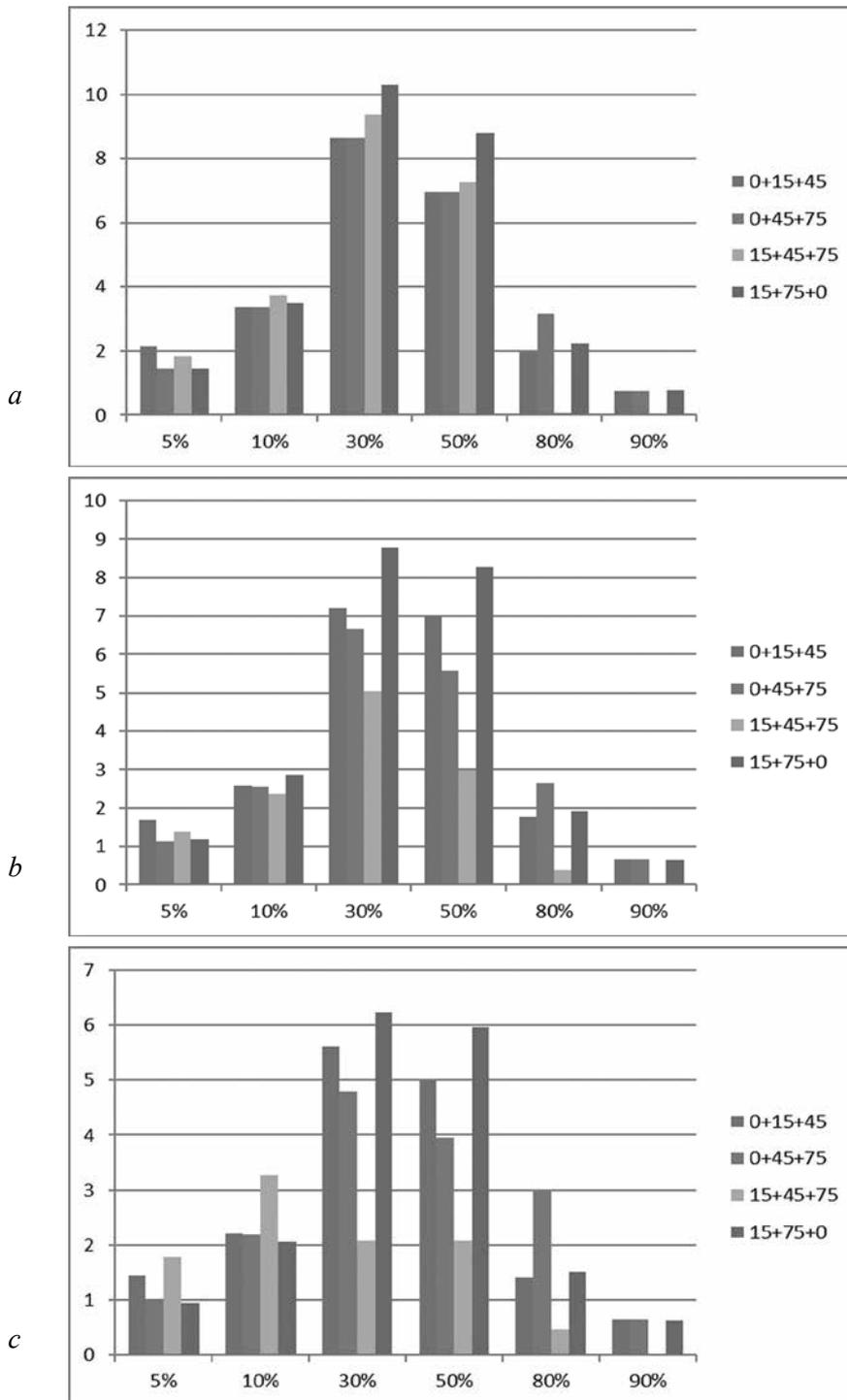


Рис. 11. Диаграммы, показывающие значения стандартного отклонения для тройного наложения красок при использовании эллиптической точки: а – 150 lpi, б– 175 lpi, с – 200 lpi

Fig. 11. Diagrams showing standard deviation values for triple ink overlay using an elliptical dot: a – 150 lpi, б– 175 lpi, с – 200 lpi

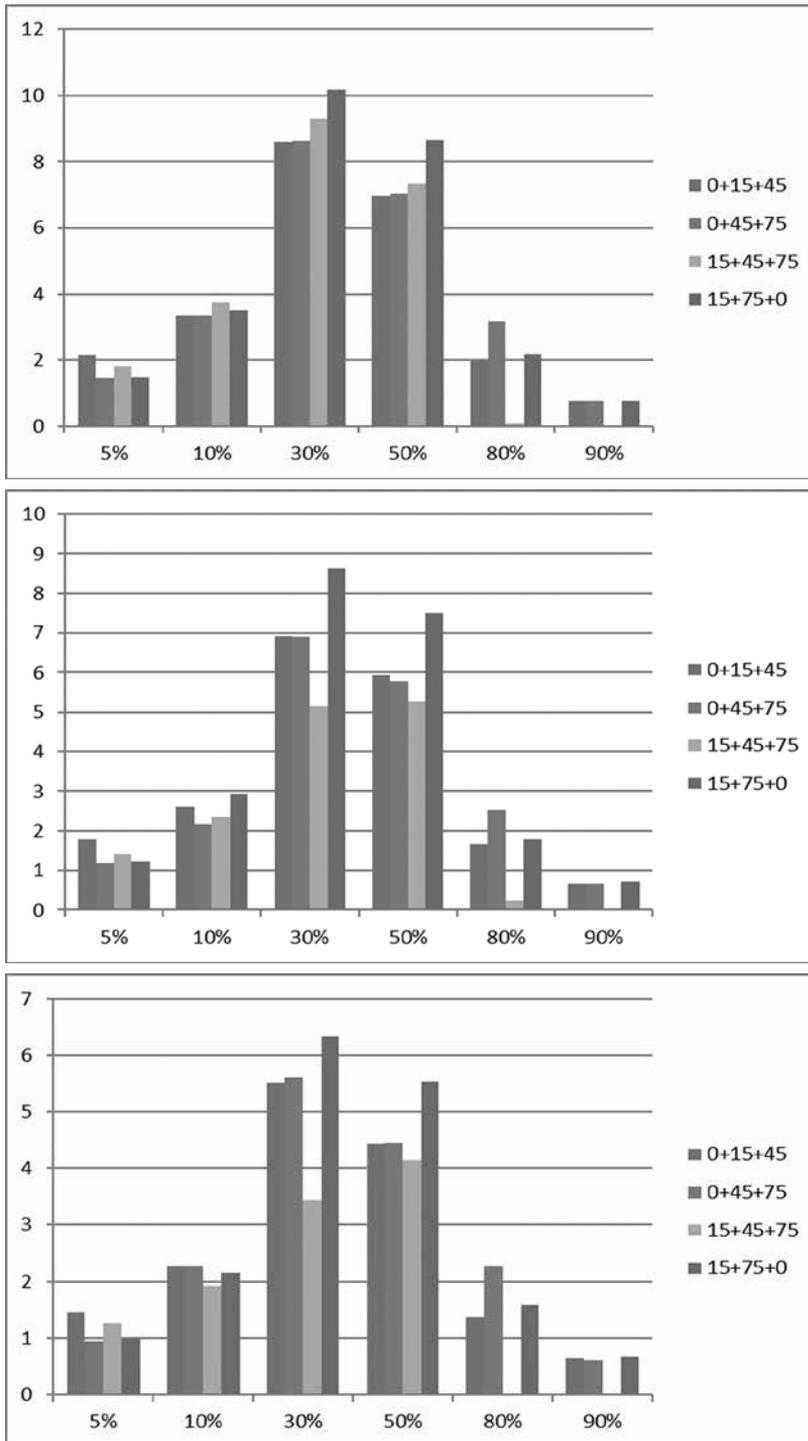


Рис. 12. Диаграммы, показывающие значения стандартного отклонения для тройного наложения красок при использовании круглой точки: а – 150 lpi, b – 175 lpi, c – 200 lpi

Fig. 12. Diagrams showing standard deviation values for triple ink overlay using a round dot: a – 150 lpi, b– 175 lpi, c – 200 lpi

Список литературы

1. Гурьянова О. А., Андреев Ю. С. Оценка флуктуационных характеристик растровых структур по статистическим параметрам гистограммы // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2015. № 3. С. 78–87.
2. Андреев Ю. С., Гурьянова О. А., Пухова Е. А. Методы гистограммных преобразований и контроля и контроля в процессах полиграфического воспроизведения изображений // Информация: передача, обработка, восприятие. Сборник. Материалы международной научно-практической конференции. Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2016. С. 68–80.
3. Стефанов С. И. Цветное изображение на оттиске как раскрашенное черное // КомпьюАрт. 2004. № 1. URL: <https://compuart.ru/article/8383>
4. Гнибеда А. Ю., Андреев Ю. С. Разработка метода оценки визуального восприятия однородности печатного изображения // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2016. № 4. С. 63–70.
5. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. — 348 с.
6. Щеголев И. В. О растровом выборе. Ч. 3. Эстетическая. Форма точки // КомпьюАрт. 2010. № 3. URL: <https://compuart.ru/article/21114>
7. Гурьянова О. А., Филимонова Е. В. Исследование муарообразования при репродуцировании информации с применением программных методов // Прикладная информатика. 2019. № 3 (81). С. 113–128.
2. Andreyev Y., Pukhova, E., Guryanova O. *Metody gistogramnykh preobrazovaniy i kontrolya v protsesse poligraficheskogo vosproizvedeniya izobrazheniy* [Methods of histogram transformations and control processes of printing image reproduction]. Materials of the international scientific-practical conference. Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin. Collection: Information: transmission, processing, perception, 2016, pp. 68–80.
3. Stefanov S.I. *Tsvetnoye izobrazheniye na ottiske kak raskrashennoye chernoye*. Komp'yuArt, 2004, no. 1. Available at: <https://compuart.ru/article/8383>
4. Gnibeda A. Yu., Andreev Yu.S. *Razrabotka metoda otsenki vizual'nogo vospriyatiya odnorodnosti pechatnogo izobrazheniya* [Development of method for evaluation of visual perception of homogeneity of the printed image]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*, 2016, no. 4, pp. 63–70.
5. Gonsales R., Vuds R., Addins C. *Digital image processing in MATLAB*. Moscow, Technosphere, 2006, 348 p. (in Russian)
6. Shchegolev I. V. *O rastrovom vybore. Chast' 3. Esteticheskaya. Forma tochki*. Komp'yuArt, 2010, no. 3. Available at: <https://compuart.ru/article/21114>
7. Guryanova O., Filimonova E. *Study of moire formation in the reproduction of information using software methods. Prikladnaya informatika=Journal of Applied Informatics*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 113–128 (in Russian)

About the authors

Artem Yu. Gnibeda, ORCID 0000-0003-2442-4951, Senior Lecturer, Moscow University for Industry and Finance “Synergy”, Moscow, Russia, artemgnibeda@yandex.ru

Olga A. Guryanova, ORCID 0000-0003-4974-3166, Cand. Sci. (Tech.), Academy of Media Industry, Moscow, Russia, goa0208@yandex.ru

Received 26.08.2020, reviewed 10.09.2020, accepted 16.09.2020

Сведения об авторах

Гнибеда Артем Юрьевич, ORCID 0000-0003-2442-4951, старший преподаватель, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия, artemgnibeda@yandex.ru

Гурьянова Ольга Александровна, ORCID 0000-0003-4974-3166, канд. техн. наук, Академия медиаиндустрии, Москва, Россия, goa0208@yandex.ru

Статья поступила 26.08.2020, рассмотрена 10.09.2020, принята 16.09.2020

References

1. Guryanova O., Andreyev Y. *Otsenka fluktuatsionnykh kharakteristik rastrovyykh struktur po statisticheskim parametram gistogrammy* [A method of evaluating the fluctuation properties of screen on the statistical parameters of the histogram]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*, 2015, no. 3, pp. 78–87

Разработка информационной системы программ-оракулов в блокчейн системах управления

Э. А. Гумеров¹, Т. В. Алексеева^{1*}

¹ Московский финансово-промышленный университет «Синергия», г. Москва, Россия

* TAlekseeva@synergy.ru

Аннотация. Программы-оракулы принимают информацию с различных источников, преобразуют ее и передают смарт-контрактам. Они могут также принимать данные от смарт-контракта и передавать их внешнему источнику данных. Обеспечение безопасности, валидности и целостности поставляемых данных определяет успех работы блокчейн-системы, следовательно, тема исследования актуальна. Цель написания статьи – выявить практически важные особенности программ-оракулов, расширить наши представления о роли программ-оракулов в успехе блокчейн-систем управления и разработать вариант архитектуры информационной системы, отвечающий необходимым требованиям. Перед авторами стояли задачи исследования всех уязвимостей, связанных с применением программ-оракулов и разработка оптимального архитектурного решения. В процессе исследований были использованы методы обзора научной литературы по тематике исследования, сбора, структурирования и анализа полученной информации, методы выбора решений. В результате исследования предложена концепция интеллектуальной системы передачи внешних данных в блокчейн-систему управления и разработана оптимальная архитектура указанной интеллектуальной системы. Данное решение направлено на повышение безопасности применения программ-оракулов блокчейн-систем управления, особенно блокчейн-систем управления приложений промышленного интернета вещей. Решение может быть использовано разработчиками систем распределенного реестра для эффективного запуска и реализации проектов.

Ключевые слова: программа-оракул, уязвимости программы-оракул, смарт-контракт, блокчейн-система управления, промышленный интернет вещей, криптосистема распределенного реестра, информационная безопасность, интеллектуальная система передачи данных, блокчейн-платформа, узел блокчейн-сети, Docker-контейнер

Для цитирования: Гумеров Э. А., Алексеева Т. В. Разработка информационной системы программ-оракулов в блокчейн-системах управления // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 5 С. 124–136. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-124-136

Development of an information system of Oracle programs in blockchain management systems

E. Gumerov¹, T. Alekseeva^{1}*

¹ *Moscow University for Industry and Finance «Synergy», Moscow, Russia*

** TALEkseeva@synergy.ru*

Abstract. Oracles programs accept information from various sources, transform it, and transmit it to smart contracts. They can also accept data from a smart contract and transmit it to an external data source. Ensuring the security, validity and integrity of the supplied data determines the success of the blockchain system, therefore, the research topic is relevant. The purpose of this article is to identify practically important features of Oracle programs and develop a version of the information system architecture for Oracles programs that meets the necessary requirements. The authors were faced with the task of investigating all the vulnerabilities associated with the use of Oracle programs and developing an optimal architectural solution. In the course of research, methods of reviewing scientific literature on the subject of research, collecting, structuring and analyzing the information received, and methods of choosing solutions were used. As a result of the research, the concept of an intelligent system for transferring external data to a blockchain management system is proposed and the optimal architecture of this intelligent system is developed. This solution is aimed at improving the security of using Oracle programs for blockchain management systems, especially blockchain management systems for industrial Internet of things applications. The solution can be used by developers of distributed registry systems to effectively launch and implement projects.

Keywords: oracle program, oracle program vulnerabilities, smart contract, blockchain control system, industrial internet of things, distributed ledger cryptosystem, information security, intelligent data transfer system, blockchain platform, blockchain network node, Docker container

For citation: Gumerov E., Alekseeva T. Development of an information system of Oracle programs in blockchain management systems. *Prikladnaya informatika=Journal of Applied Informatics*, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 124-136. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-5-124-136

Введение

В современном мире расширяется применение блокчейн-систем управления во всех сферах мировой экономики. Аналитики исследовательской и консалтинговой компании Gartner прогнозируют, что в 2020 году банки, использующие блокчейн, получают дополнительную прибыль в размере более одного миллиарда долларов.

Аналогичный успех в сфере промышленности сдерживается отсутствием безопасности в применении программ оракулов, свя-

зывающих сеть блокчейн с внешним миром. Программы-оракулы — самое эффективное и самое уязвимое звено блокчейн-системы управления.

Не решены проблемы идентификации источника данных, обеспечения валидности данных, сетевой безопасности передачи данных от внешнего мира сети блокчейн. Положение усугубляется большим разнообразием типов данных и большим разнообразием сетевых взаимодействий программ-оракулов с источником данных.

Программа-оракул есть метафора для обозначения программ, поставляющих внешние данные в смарт-контракты блокчейн-системы. Обеспечение безопасности, валидности и целостности поставляемых данных, определяет успех работы блокчейн-системы, следовательно, тема исследования актуальна. Цель написания статьи — выявить практически важные особенности программ-оракулов в блокчейн-системах управления и углубить наши представления о роли программ-оракулов в успехе блокчейн-систем управления. Перед авторами стояли задачи исследования всех уязвимостей, связанных с применением программ-оракулов и разработка оптимального архитектурного решения. В результате исследования предложена концепция интеллектуальной системы передачи внешних данных в блокчейн-систему управления (в дальнейшем информационной системы программ-оракулов) и разработана оптимальная архитектура указанной интеллектуальной системы. Данное решение направлено на повышение безопасности применения программ-оракулов блокчейн-систем управления, особенно блокчейн-систем управления приложений промышленного интернета вещей. Решение может быть использовано разработчиками систем распределенного реестра для эффективного запуска и реализации проектов.

Блокчейн-платформы и программы-оракулы

Проблема обеспечения блокчейн-системы управления безопасными данными для работы смарт-контрактов на данное время не решена, но достаточно интересна для разработчиков блокчейн-платформ.

Имеется блокчейн-платформа Chainlink [1, 2], содержащая сеть узлов из программ-оракулов. Сеть обеспечивает безопасность и достоверность передаваемых смарт-контракту данных благодаря именно большому количеству узлов. Большое количе-

ство узлов в блокчейн-сети обеспечивает ее безопасность и валидность передаваемых данных от внешнего источника данных смарт-контракту. Оракулы получают данные из различных источников и сверяют их между собой. Только после этого информация отправляется на смарт-контракт.

Но указанная технология неприменима для блокчейн-систем управления, так как блокчейн-система управления имеет небольшое количество узлов, определяемое количеством бизнес-партнеров в экосистеме предприятия. Поэтому трудно организовать большое количество узлов блокчейн-системы программ оракулов, обеспечивающих данными блокчейн-систему управления предприятия, особенно на ранних стадиях работы системы.

Недостаточное количество узлов в блокчейн-системе программ-оракулов снижает надежность передачи данных от источника к смарт контракту, увеличивает вероятность атаки «51 %» (сговор владельцев узлов).

Поэтому разработка информационной системы блокчейн оракулов актуальна.

Рассмотрим подробнее функции программ-оракулов. Оракулы принимают информацию с различных источников и преобразуют ее в язык, понятный смарт-контрактам — программам, которые автономно обрабатывают операции на блокчейне [3, 4].

Среди данных, получаемых оракулами, могут быть данные различных типов с разными протоколами работы. Программы оракулы используют эти данные в соответствии с правилами, заложенными в исходном коде смарт-контракта, а затем передают данные смарт-контракту и контролируют сделки на его основе. Оракулы значительно расширяют область применения смарт-контрактов за счет того, что они могут работать с данными вне блокчейна [5].

Оракулы могут принимать данные не только из внешних источников, но и от смарт-контракта и передавать внешнему источнику данных.

В зависимости от принципа работы различают несколько видов оракулов [6]:

- *человеческие оракулы* — это люди, которые вручную проверяют данные и отправляют их на смарт-контракт;
- *входящие оракулы* — передают информацию смарт-контрактам по сети от внешних источников;
- *исходящие оракулы* — передают информацию от смарт-контрактов по сети внешним источникам;
- *дуплексные оракулы* — передают данные в обоих направлениях;
- *контрактные оракулы* — предназначены для одного конкретного смарт-контракта. Такие оракулы не могут применяться для других смарт-контрактов. Это может быть связано с особыми задачами отдельных смарт-контрактов.

Блокчейн-оракулы повышают масштабируемость блокчейн-экосистемы путем организации надежной связи с внешним миром и повышают прозрачность передаваемых данных. Такой механизм благоприятно способствует массовому внедрению децентрализованных решений в традиционные системы. Оракулы обеспечили возможность замены программного и аппаратного обеспечения блокчейн-системы, не прерывая ее работы.

Аппаратные оракулы работают через устройства [7]. Широко применяются данные от датчиков контроля оборудования, параметров технологических операций, датчиков контроля перемещения транспорта. Определение подлинности данных, получаемых от аппаратных оракулов, требует совершенных протоколов передачи данных.

Проблема безопасности данных аппаратных оракулов в том, чтобы точно принять информацию без ущерба ее точности и достоверности. Проблема решается в два этапа с криптографической защитой показаний датчиков и с использованием защиты аппаратного устройства.

Одна из этих проблем заключается в том, что при распределенном реестре неэффек-

тивно вести вычисления большого объема, которые иногда необходимы для удовлетворения условий смарт-контракта [8].

Каналы состояний (Aeternity Янислава Малахова) могут конфиденциально управлять информацией между контрагентами вне основной цепочки блокчейна [8]. Каналы состояний позволяют проводить мгновенные параллельные условные транзакции без их объединения, что повышает общую производительность системы. Но высокая скорость транзакций достигнута дорогой ценой: выполнение транзакций вне блокчейна существенно снижает их безопасность.

Безопасный обмен данными между физическим внешним миром и виртуальным миром блокчейна является одной из ключевых задач всей блокчейн-системы.

Интересно то, что централизация оракулов повышает устойчивость блокчейн-систем, но они требуют два уровня консенсуса — в блокчейн-сети и во внешнем мире среди программ-оракулов.

Результаты работы смарт-контрактов могут быть записаны в распределенный реестр (распределенную базу данных), во внутреннюю базу данных корпорации, с помощью программы-оракула можно воздействовать на внешнюю среду.

Воздействие на внешнюю среду может заключаться:

- в непосредственном воздействии на оборудование технологического процесса;
- в настройке датчиков контроля оборудования и датчиков контроля параметров технологических операций серверной программой;
- в воздействии на устройство интернета вещей;
- в передаче сообщения информационной системе бизнес партнера через интерфейс прикладного программирования API (Application programming interface).

Принципы работы оракула описаны в [9]. Задача алгоритма программы-оракула — определить подлинность информации

для системы блокчейна. Для этого потребуется использовать три компонента:

1. Источник данных дальнейшей передачи информации. Алгоритму придется принимать информацию в различной форме: начиная от газетных статей и заканчивая метеорологическими ресурсами;

2. Запрос. Необходим для того чтобы алгоритм смог работать с определенным источником данных;

3. Оракул может содержать один алгоритм или группу алгоритмов, которые требуются для передачи информации в цепочку блоков в понятном виде.

Алгоритмы взаимодействия программы оракула с цепью блоков постоянно улучшаются. Оракулы в блокчейне позволяют взаимодействовать с любыми данными из внешнего мира.

Необходимость внедрять в блокчейн данные из внешнего мира повлекла за собой появление новых интересных разработок. Одним из примеров таких технологий является возможность подключения блокчейна через оракулы к любому API. Благодаря этому можно совершать платежи, используя стандартные платежные сети. Это же дает возможность полноценного соединения смарт-контрактов и платежных цепей.

В ходе развития рынка программ-оракулов определились лидеры отрасли: компании Oraclize, ChainLink и Blocksense, создающие новые технологии связи блокчейна и внешнего мира. Крупные корпорации инвестируют большие суммы в перспективное направление.

Oraclize предоставляет оракулы, которые безопасно могут извлечь требуемую информацию со страниц веб-сайтов. Доказательства соответствия переданных данных настоящим приводятся при помощи сервиса *TLSNotary/pagesigner*.

ChainLink ведет разработки в направлении создания децентрализованной сети оракулов. Это необходимо для улучшения связи «умных контрактов» и внешнего мира. Извлечение

информации возможно из пулов, интерфейсов прикладного программирования API.

BraveNewCoin Компания занимается анализом и исследованием мира криптовалют. Разработаны публичные оракулы, которыми может воспользоваться любой пользователь бесплатно.

Алгоритмы построены на основе Ethereum. Они работают с котировками цен. Ежедневное обновление позволяет быть информации максимально точной. Эти алгоритмы используются криптокошельками, приложениями и различными программами.

В работе [10] рассмотрена проблема использования больших данных в распределенных блокчейн-системах. Предложены возможные решения архитектуры программ-оракулов.

Жизненный цикл смарт-контрактов исследован в работе [11].

В повышении безопасности программ-оракулов существенную роль играет компьютерная сеть. Наиболее безопасным, производительным и функциональным является применение среды программной разработки компьютерной сети *Cisco Application Centric Infrastructure* [12, 13, 14, 15]. Применение данной среды в центрах обработки данных описано в работе [16]. В статье исследованы такие вопросы, как топология Leaf-and-Spine, использование контроллера APIC, применение политик и профилирование приложений.

Уязвимости смарт-контрактов и меры по их защите проанализированы в работе [17].

Разработка информационной системы программ-оракулов

Цель информационной системы программ-оракулов — обеспечение безопасной передачи данных от внешних источников в блокчейн-систему управления.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Создать компьютерную сеть информационной системы, безопасную для работы программ-оракулов;

2. Обеспечить идентификацию источника данных;

3. Обеспечить определение подлинности получаемых от источника данных;

4. Обеспечить безопасную доставку данных по сети от источника данных блокчейн-системе управления;

5. Прогнозирование возникновения угроз целостности и безопасности данных по косвенным признакам.

Возможны следующие типы данных, передаваемых программами оракулами блокчейн-системе управления:

1) Данные от внешних источников данных, передаваемых по Интернет через Web интерфейс;

2) Данные от приложений нашего предприятия, передаваемые через интерфейс прикладного программирования API;

3) Данные, получаемые от баз и хранилищ данных нашего предприятия по запросам программ оракулов;

4) Данные, получаемые от датчиков контроля работы технологического оборудования и автоматического контроля параметров режима технологических операций нашего предприятия.

Компьютерная сеть Информационной системы программ-оракулов должна безопасно передать каждый тип данных от источника данных в блокчейн-систему управления предприятием.

Для решения задачи 1 применим среду *Application Centric Infrastructure* (или *ACI*) [14, 15]. Среда позволяет создавать компьютерные сети приложений программным путем, автоматически формируя сетевые интерфейсы и сетевые функции на основе логики работы устройств и программных объектов приложения.

Среда программным путем создает компьютерную сеть, присоединяя каждое устройство или программный объект к сети и авто-

матически присваивая сетевой адрес и настраивая все необходимые сетевые функции в соответствии с логикой работы устройства или программного объекта.

Архитектура ACI основана на модели автоматизированных политик безопасности. Компоненты архитектуры ACI [12]:

- сеть на базе коммутаторов Nexus;
- кластер контроллеров APIC;
- профили приложений.

Сеть на базе коммутаторов Nexus имеет двухуровневую модель с независимыми друг от друга уровнями:

1. *Уровень Spine* обеспечивает производительность сети. На этом уровне применены высокоскоростные коммутаторы серии Cisco Nexus 9000 с портами, обеспечивающими скорость передачи данных 40 Гбит/с и выше. Для повышения пропускной способности сети достаточно добавить коммутаторы, не прерывая работы приложения;

2. *Уровень Leaf* обеспечивают необходимое количество портов для присоединения устройств и программных объектов приложения. Применяются коммутаторы Nexus 9300. Для повышения количества портов сети достаточно добавить коммутаторы, не прерывая работы приложения.

Уровень кластера контроллеров APIC (Application Policy Infrastructure Controller). Контроллер APIC — это физический сервер, осуществляющий управление сетью и мониторинг сети. Администратор сети использует APIC контроллеры как единую точку управления.

Профиль приложения *Application Network Profile* — это логическая основа Cisco ACI. Именно с помощью присоединения профилей устройств и программных объектов мы будем разрабатывать архитектуру нашей Информационной системы программ-оракулов. Профили приложений определяют политики взаимодействия между всеми сетевыми сегментами и описывают непосредственно сами сетевые сегменты. *Application Network Profile* реализуют именно то, что нужно нам



Рис 1. Связи различных EPG через контракты в рамках одного профиль приложения Application Network Profile [12]

Fig. 1. Links different EPGs through contracts within a single app profile Application Network Profile [12]

для работы Информационной системы программ-оракулов для безопасного управления процессами передачи внешних данных блокчейн-системе управления.

Профиль приложения Application Centric Infrastructure (или ACI) состоит из групп подключений (End-point groups — EPG). Группа подключений — это логическая группа хостов (виртуальных машин, физических серверов, контейнеров устройств и программных объектов), которые находятся в одном сегменте безопасности (не сегменте сети, а именно сегменте безопасности).

Каждый хост, присоединяемый через профиль приложения, к среде Application Centric Infrastructure определяет:

- физический порт;
- логический порт (порт-группа на виртуальном коммутаторе);
- к какой виртуальной локальной сети относится (VLAN ID или VXLAN);
- IP-адрес или IP-адрес подсети;
- атрибуты сервера (имя, расположение, версия ОС).

Взаимодействие групп подключений (End-point groups или EPG) осуществляется с помощью контрактов. Контракт определяет отношения между разными EPG. Другими словами, контракт определяет, какую услугу

одна End-point groups предоставляет другой End-point groups. Контракт — набор правил взаимодействия между группами [3]. Для решения проблем безопасности в среде Cisco Application Centric Infrastructure обеспечено безопасное прохождение трафика в соответствии с «контрактом». Группа — это набор хостов как виртуальных, так и физических с одинаковой политикой. Безопасность обеспечивается специальным межсетевым экраном, контролирующим безопасное выполнение контракта.

Например, мы создаем контракт, который обеспечивает трафик по протоколу HTTPS. По вновь созданному контракту программа-оракул, принимающая данные через EPG Web (группа веб-серверов) может взаимодействовать с EPG App (группа серверов приложений). А каждая из программ-оракулов может взаимодействовать, конечно же, с сетью блокчейн-системы управления, для которой она передает данные. На рисунке 1 показан пример настройки связи различных End-point groups через контракты в рамках одного профиля приложения Application Network Profile.

Профилей приложений в рамках ACI может быть любое количество. Кроме того, контракты не привязаны к конкретному профилю

приложения. Каждое приложение, для которого в том или ином виде нужна сеть, описывается собственным профилем. На рисунке 1 представлена архитектура трехзвенного приложения, состоящего из Web серверов, серверов приложений (App) и серверов СУБД (DB). Все устройства и программные объекты в пределах одного профиля имеют близкие по типу сетевые настройки, которые среда Application Centric Infrastructure создает автоматически в соответствии с логикой их работы.

Политики безопасности Application Centric Infrastructure работают по принципу белых списков, то есть то, что явно не разрешено, по умолчанию запрещено. Идет непрерывная проверка правил работы устройств и программных объектов сети и проверка разрешений на их работу, что значительно повышает общий уровень безопасности сети и вероятность атаки.

Application Centric Infrastructure обеспечивает:

- сетевое взаимодействие виртуальных машин;
- сетевое взаимодействие контейнеров;
- сетевое взаимодействие физических серверов;
- сетевое взаимодействие аппаратных межсетевых экранов;
- взаимодействие с сетевым оборудованием сторонних производителей.

В качестве исходных данных для среды Cisco Application Centric Infrastructure разрабатываем пользовательские интерфейсы и логику работы устройств и программных объектов разрабатываемой информационной системы.

Для повышения безопасности передачи данных по сети среда Cisco Application Centric Infrastructure обеспечивает создание виртуальных локальных сетей VLAN и расширяемых виртуальных локальных сетей VXLAN. Мы используем это в своем решении и создаем для каждого типа данных свой сегмент виртуальной локальной сети.

Среда предоставляет сетевые интерфейсы и автоматически проводит сетевые настройки в соответствии с логикой работы виртуальной локальной сети.

В виртуальную локальную сеть объединяем устройства и программные объекты, обрабатывающие определенный тип данных, передаваемых программой оракулом. В результате:

- существенно снижается трафик сети (80% трафика проходит внутри VLAN);
- повышается безопасность сети (данные VLAN недоступны хостам из других VLAN);
- повышается отказоустойчивость сети (проблемы одной VLAN не влияют на работу других VLAN);
- повышается производительность сети (скорости внутри VLAN существенно повышаются).

Рассмотрим логику работы и архитектуру информационной системы программ-оракулов.

Логика работы:

1. Смарт-контракт блокчейн-системы в соответствии с логикой своей работы делает запрос программе оракулу на получение данных;
2. Программа-оракул осуществляет поиск источника данных;
3. Программа-оракул проверяет подлинность найденного источника данных;
4. Программа-оракул определяет подлинность получаемых от источника данных и дает команду операционной системе на передачу данных по сети смарт-контракту блокчейн-системы;
5. Компьютерная сеть передает данные в соответствии с их типом по соответствующей виртуальной локальной сети;
6. Смарт-контракт принимает данные и продолжает выполнение контракта;
7. Цикл получения данных автоматически записывается в электронный журнал событий.

Архитектуру информационной системы программ-оракулов строим на основе среды

программной разработки компьютерной сети Cisco Application Centric Infrastructure.

Элементы архитектуры присоединяем к сети. Cisco Application Centric Infrastructure автоматически создает для нового элемента архитектуры свой сетевой адрес и сетевые функции.

Для каждого присоединяемого элемента архитектуры среда Cisco Application Centric Infrastructure автоматически прописывает:

- интерфейс подключения к сети;
 - сетевой адрес;
 - сетевые функции;
 - физическое место расположения;
 - физический порт;
 - логический порт;
 - ID в VLAN (Virtual Local Area Network);
 - ID в VXLAN (Virtual Extensible LAN (VXLAN));
 - IP-адрес внешнего подключения;
 - IP-адрес Subnet — адрес в подсети
- Приложения.

Для каждого присоединяемого элемента архитектуры приложения указываем в среде Cisco Application Centric Infrastructure сетевые требования и среда в присоединенных к сети устройствах или программах динамически производит те настройки, которые указаны в сетевых требованиях. Операционная система среды Cisco Application Centric Infrastructure автоматически находит присоединяемый элемент, инсталлирует его, конфигурирует, включает в свою систему безопасности и тестирует.

Особенности архитектуры разрабатываемой информационной системы программ-оракулов связаны с набором типов данных передаваемых программами оракулами:

- 1) Данные от внешних источников данных, передаваемых по Интернет через Web интерфейс. Элемент архитектуры: Web сервер;
- 2) Данные от приложений нашего предприятия, передаваемые через интерфейс прикладного программирования API. Элемент архитектуры: сервер приложений;

3) Данные, получаемые от баз и хранилищ данных нашего предприятия по запросам программ-оракулов. Элемент архитектуры: сервер баз данных;

4) Данные, получаемые от датчиков контроля работы технологического оборудования и автоматического контроля параметров режима технологических операций.

Элементы архитектуры:

- сервер хранения быстрых данных;
- датчики контроля состояния работающего оборудования;
- датчики контроля параметров режимов;
- датчики параметров окружающей среды;
- программируемые логические контроллеры.

Если присоединяемый элемент архитектуры приложения в свою очередь имеет сложную структуру (например, подсеть контроллера), то следует указать архитектуру элемента и дизайн пользовательских интерфейсов составляющих этого элемента общей архитектуры.

Особенно ценной является способность среды Cisco Application Centric Infrastructure управлять трафиком сети. Среда Cisco Application Centric Infrastructure отслеживает перегрузки трафика на всем пути следования пакетов (как входящих, так и исходящих).

Отслеживается возможная перегрузка входных портов коммутаторов, внутренних соединений процессоров с сетью. Перегрузка трафика устраняется переключением пакетов на менее загруженные потоки.

Каждое устройство или программный бизнес объект размещаются в гибком *EPG контейнере*.

Вручную разрабатываем пользовательские интерфейсы присоединяемых устройств и программных бизнес объектов. На рисунке 2 представлена схема конечных точек присоединения групп узлов *Cisco Application Centric Infrastructure*. К *Endpoint Groups EPG Web* присоединяем Web-сервер нашей информационной системы, серверная программа которого осуществляет поиск ис-



Рис. 2. Схема конечных точек присоединения групп узлов среды *Cisco Application Centric Infrastructure*

Fig. 2. Schema of endpoints for joining *Cisco Application Centric Infrastructure* security policy groups

точника данных, определение подлинности источника данных и в случае их подлинности определяет подлинность самих данных и через Web-интерфейс передает их в соответствующую виртуальную локальную сеть смарт-контракту блокчейн-системы управления.

К *Endpoint Groups EPG App* присоединяем сервер приложений нашей информационной системы. Серверная программа определяет подлинность приложения, через API интерфейс приложения получает данные, определяет подлинность самих данных и в случае их подлинности передает через соответствующую локальную виртуальную сеть смарт-контракту блокчейн-системы управления.

Используем две конечные точки *Endpoint Groups EPG DB*. К одной конечной точке присоединяем обычный сервер баз данных, а к другой конечной точке присоединяем сервер хранения быстрых данных, который хранит данные, получаемые от датчиков оборудования и датчиков контроля параметров технологических операций предприятия.

После присоединения к конечной точке обычного сервера баз данных серверная программа определяет подлинность приложения, через интерфейс СУБД получает данные, определяет подлинность самих данных и в случае их подлинности передает через соответствующую локальную виртуальную сеть смарт-контракту блокчейн-системы управления.

После присоединения к конечной точке сервера хранения быстрых данных серверная программа определяет подлинность контроллера, передавшего данные, через интерфейс контроллера получает данные, определяет подлинность самих данных и в случае

их подлинности передает через соответствующую локальную виртуальную сеть смарт-контракту блокчейн-системы управления.

В работе информационной системы программ-оракулов возможны случаи, когда необходимо совместное использование конечных точек. Например, при выполнении блокчейн-системой управления предприятием заказа бизнес-партнеру на поставку товаров используем конечную точку *EPG Web* для входа в Web-портал бизнес-партнера, а для формирования заказа в открытой для доступа базе данных бизнес-партнера используем конечную точку *EPG DB*. В этом случае разрабатываем контракт для обеспечения совместимости двух конечных групп и их политик безопасности.

В итоге имеем аппаратную структуру сети информационной системы программ-оракулов, приведенную на рисунке 3.

Остальные задачи для достижения цели: разработка архитектуры информационной системы программ-оракулов — решаются средой *Cisco Application Centric Infrastructure*.

Идентификация источника данных и определение подлинности получаемых от источника данных осуществляется распределенным Firewall и микросегментацией политики безопасности на уровне сервисов. Микросегментация — это метод безопасности, который позволяет назначать приложениям системы и сервисам системы микрополитики безопасности, вплоть до уровня рабочей нагрузки.

Безопасная доставка данных по сети от источника данных блокчейн-системе управления обеспечивается специализированными по типу данных виртуальными локальными сетями VLAN.

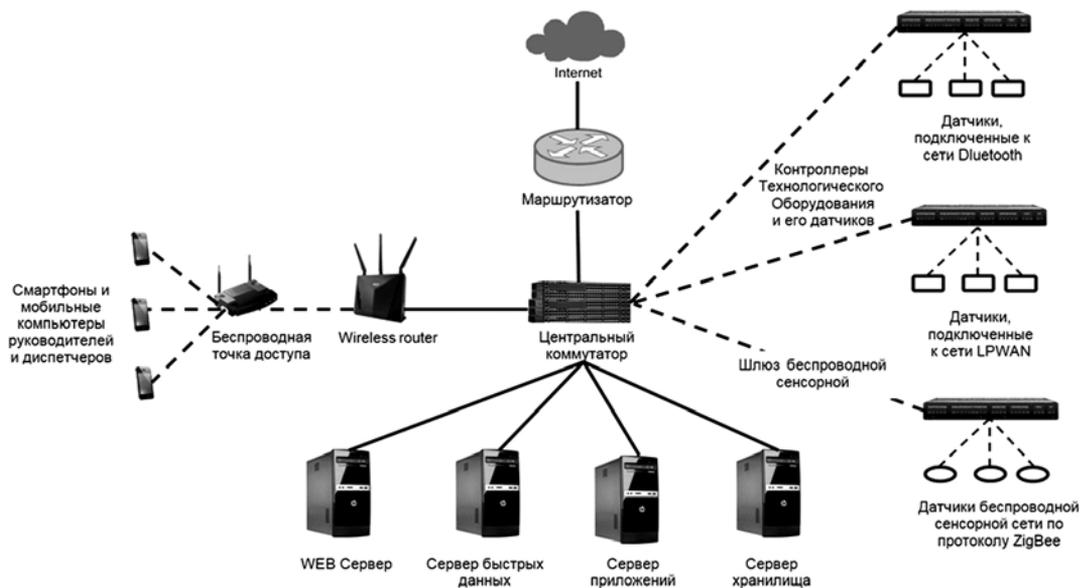


Рис. 3. Пример аппаратной структуры сети информационной системы программ-оракулов

Fig. 3. Example of the hardware structure of the network of the information system of oracles programs

Прогнозирование возникновения угроз целостности и безопасности данных по косвенным признакам осуществляется интеллектуальной аналитической платформой Cisco Tetration Analytics.

Платформа Cisco Tetration Analytics:

- содержит интеллектуальную информационную систему обеспечения целостности систем безопасности;
- обеспечивает производительность инфраструктуры и приложений;
- дополняет среду *Cisco Application Centric Infrastructure* в части прогнозирования;
- позволяет в реальном времени увидеть все, что происходит в системе: каждый пакет, каждый поток, каждый канал передачи данных.

Tetration Analytics получает данные от программных и аппаратных агентов и затем, с использованием элементов машинного обучения, позволяет глубже понять происходящие в системе процессы и оптимизировать производительность процессов информационной системы программ оракулов.

Заключение

В работе исследована проблема применения программ-оракулов блокчейн-систем управления. Отмечено, применение отдельной блокчейн-системы для программ-оракулов (как это имеет место в блокчейн-системах криптовалют) нецелесообразно из-за малого количества узлов блокчейн-сети систем управления для обеспечения надежного консенсуса.

В работе разработана архитектура информационной системы программ-оракулов на основе *Cisco Application Centric Infrastructure*. Применение указанной среды решает проблемы безопасности компьютерной сети программ-оракулов.

Разработанная архитектура информационной системы программ-оракулов на основе *Cisco Application Centric Infrastructure* обеспечивает эффективный обмен данными блокчейн-систем управления с внешними источниками. В этом практическое значение работы.

Научное значение работы — углубление представлений о взаимодействии блокчейн-систем управления с внешним миром.

Список литературы

1. Что такое Chainlink, и чем так интересна блокчейн-платформа. URL: <https://yandex.ru/turbo/s/hub.forklog.com/chto-takoe-chainlink-i-chem-tak-interesna-blokchejn-platforma/> (дата обращения 15.08.2020).
2. Государственная блокчейн-платформа Китая внедрит оракулы Chainlink. URL: <https://cryptowiki.ru/news/gosydarstvennaia-blokchein-platforma-kitaia-vnedrit-orakuly-chainlink.html> (дата обращения 15.08.2020).
3. Что такое блокчейн-оракулы, и какую роль они выполняют. URL: <https://yandex.ru/turbo/s/hub.forklog.com/chto-takoe-blokchejn-orakuly-i-kakuyu-rol-oni-vypolnyayut/> (дата обращения 15.08.2020).
4. Что такое блокчейн-оракулы? URL: <https://guland.biz/zarabotok/blockchain/blokchejn-orakuly.html> (дата обращения 15.08.2020).
5. Как блокчейн-оракулы взаимодействуют со смарт-контрактами? URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5b4367d93a970000ab80f623/kak-blokcheinorakuly-vzaimodeistvuiut-so-smartkонтрактами-5c1237084826aa00aa2ae8d3> (дата обращения 15.08.2020).
6. Об оракулах для блокчейнов и немного о Web3. URL: <https://habr.com/ru/post/513000/> (дата обращения 15.08.2020).
7. Что такое блокчейн-оракул, и как он помогает смарт-контрактам? URL: <https://crypto-fox.ru/faq/chto-takoe-blokchejn-orakuly/> (дата обращения 15.08.2020).
8. Aeternity и оракулы смогут решать важнейшие задачи. URL: <https://coinspot.io/technology/itrinok/aeternity-i-orakuly-smogut-reshat-vazhnejshie-zadachi/> (дата обращения 15.08.2020).
9. Оракул как способ связи блокчейна и внешнего мира. URL: <https://cryptoperson.ru/blockchain/orakul-kak-sposob-svjazi-blokchejna-i-vneshnego-mira> (дата обращения 15.08.2020).
10. Новиков Д. А., Спиридонова Е. М. Оракулы как решение проблемы изолированности блокчейна // Заметки по информатике и математике. Сборник научных статей. Ярославль: Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, 2018. С. 125–130.
11. Гумеров Э. А., Кузашев А. Н. Жизненный цикл смарт-контрактов в блокчейн-системах управления // Научный электронный журнал «Меридиан». 2020. № 9 (43). С. 51–55.
12. Application Centric Infrastructure. Архитектура сети будущего – от рассуждений к делу. URL: <https://habr.com/ru/company/cisco/blog/450650/> (дата обращения 15.08.2020).
13. What is Cisco ACI Fabric. URL: <https://www.speaknetworks.com/what-is-cisco-aci-fabric/> (дата обращения 15.08.2020).
14. Cisco Application Centric Infrastructure (ACI) – Endpoint Groups (EPG) Usage and Design. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/application-centric-infrastructure/white-paper-c11-731630.html> (дата обращения 09.09.2020).
15. Application Centric Infrastructure Solution Overview. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/application-centric-infrastructure/solution-overview-c22-741487.html> (дата обращения 09.09.2020).
16. Савинов Н. В., Токарева К. А., Ушаков И. А. и др. Исследование модели сети ЦОД на основе политики Cisco ACI // Журнал защиты информации. Инсайт. СПб.: Издательский дом «Афина». 2019. № 4 (88). С. 32–43.
17. Гумеров Э. А., Алексеева Т. В. Безопасное применение смарт-контрактов в блокчейн-системах управления. Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 3. С. 119–134. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-3-119-13.

Сведения об авторах

Гумеров Эмиль Абиляирович, ORCID0000-0001-5880-4917, канд.техн.наук, доцент, кафедра информационного менеджмента и информационно-коммуникационных технологий имени профессора В. В. Дика, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия, gumerovemil@yandex.ru

Алексеева Тамара Владимировна, ORCID: 0000-0002-0489-1870, доцент, кафедра информационного менеджмента и информационно-коммуникационных технологий имени профессора В. В. Дика, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия, TAlexseeva@synergy.ru

Статья поступила 04.09.2020, рассмотрена 10.09.2020, принята 16.09.2020

References

1. *Shto takoe Chainlink I chem tak interesna blokchein-platform.* [What is Chainlink and what is so interesting about the blockchain platform]. Available at: <https://yandex.ru/turbo/s/hub.forklog.com/chto-takoe-chainlink-i-chem-tak-interesna-blokchejn-platforma/> (accessed 15.08.2020).

2. *Gosudarstvennaya blokchein-platforma Kitaya vnedrit orakuli*. Chainlink [China's state-owned blockchain platform to introduce Chainlink oracles]. Available at: <https://cryptowiki.ru/news/gosydarstvennaia-blokchein-platforma-kitaiia-vnedrit-orakuly-chainlink.html> (accessed 15.08.2020).
3. *Shto takoe blokchein-orakuli i kakuyu rol oni dipolnyaut* [What are blockchain-oracles and what role do they play]. Available at: <https://yandex.ru/turbo/s/hub.forklog.com/chto-takoe-blokchejn-orakuly-i-kakuyu-rol-oni-vypolnyayut/> (accessed 15.08.2020).
4. *Shto takoe blokchein-orakuli?* [What are blockchain-oracles?]. Available at: <https://guland.biz/zarabotok/blockchain/blokchejn-orakuly.html> (accessed 15.08.2020).
5. *Kak blokchein-orakuli vzaimodeistviyut so smartkontraktami?* [How blockchain oracles interact with smart contracts?]. Available at: <https://zen.yandex.ru/media/id/5b4367d93a970000ab80f623/kak-blokcheinorakuly-vzaimodeistviyut-so-smartkontraktami-5c1237084826aa00aa2ae8d3> (accessed 15.08.2020).
6. *Ob orakulach lkz blokcheinov I nemnogo o Web3* [About oracles for blockchains and a bit about Web3]. Available at: <https://habr.com/ru/post/513000/> (accessed 15.08.2020).
7. *Shto takoe blokchein-orakuli i kak on pomogaet smartkontraktam* [What is the Oracle blockchain and how does it help smart contracts?]. Available at: <https://crypto-fox.ru/faq/chto-takoe-blokchejn-orakuly/> (accessed 15.08.2020).
8. *Aeternity i orakuli smogut reshat vagneishie zadachi* [Aeternity and oracles will be able to solve the most important tasks]. Available at: <https://coinspot.io/technology/itrinok/aeternity-i-orakuly-smogut-reshat-vazhnejshie-zadachi/> (accessed 15.08.2020).
9. *Orakul — kak sposob svyazi blokcheina i vneshego mira* [Oracle — as a way to connect the blockchain and the outside world]. Available at: <https://cryptoperson.ru/blockchain/orakul-kak-sposob-svjazi-blokchejna-i-vneshego-mira> (accessed 15.08.2020).
10. Novikov D. A., Spiridonova E. M. *Orakuli kak reshenie problem izolirovannosti blokcheina*. [Oracles as a solution to the problem of blockchain isolation]. Notes on computer science and mathematics. Collection of scientific articles. Yaroslavl, Publishing house: P. G. Demidov Yaroslavl state University, 2018.
11. Gumerov E. A., Kuzyashev A. N. *Giznennii sikl smart kontraktov v blokchein sistemah upravleniya* [The life cycle of smart contracts in the blockchain management systems]. Scientific electronic journal Meridian, 2020, no.9(43), pp. 51-55.
12. *Application Centric Infrastructure. Arhitektura seti budushego — ot rassyudenii k delu* [The network architecture of the future — from discussion to the case]. Available at: <https://habr.com/ru/company/cisco/blog/450650/> (accessed 15.08.2020).
13. What is Cisco ACI Fabric. Available at: <https://www.speaknetworks.com/what-is-cisco-aci-fabric/> (дата обращения 15.08.2020).
14. Cisco Application Centric Infrastructure (ACI) - Endpoint Groups (EPG) Usage and Design. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/application-centric-infrastructure/white-paper-c11-731630.html> (accessed 09.09.2020).
15. Application Centric Infrastructure Solution Overview. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/application-centric-infrastructure/solution-overview-c22-741487.html> (accessed 09.09.2020).
16. Savinov N. V., Tokareva K. A., Yshakov I. A., etc. *Issledovanie modeli seti SOD na osnove politiki Cisco ACI* [Research of the data center network model based on the Cisco ACI policy]. Journal of information security. Insider trading. Saint Petersburg, Publishing house «Athena», 2019, no. 4(88), pp. 32-43.
17. Gumerov E. A., Alekseeva T. V. *Bezopasnoe primeneniye smart kontraktov v blokchain sistemah upravleniya. Prikladnaya Informatika*=Journal of Applied Informatics, 2020. vol.15, no.3, pp. 119-134 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-3-119-13.

About the authors

Emil A. Gumerov, ORCID 0000-0001-5880-4917, Cand. Sci, (Eng.), Associate Professor, Department of Information management and information and communication technologies named after Professor V. V. Dik, Moscow University for Industry and Finance «Synergy», Moscow, Russia, gumerovemil@yandex.ru
 Tamara V. Alekseeva, ORCID 0000-0002-0489-1870, Associate Professor, Department of Information management and information and communication technologies named after Professor V. V. Dik, Moscow University for Industry and Finance «Synergy», Moscow, Russia, TAlekseeva@synergy.ru

Received 04.09.2020, reviewed 10.09.2020, accepted 16.09.2020.

Правила оформления материалов в журнале «Прикладная информатика – Journal of Applied Informatics»

Тематический диапазон журнала

Группа специальностей **05.13.00** «Информатика, вычислительная техника и управление»:

- **05.13.11** «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»;
- **05.13.17** «Теоретические основы информатики»;
- **05.13.18** «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»;
- **05.13.19** «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность».

Специальность **08.00.13** «Математические и инструментальные методы экономики» (часть 2).

ПРИМЕЧАНИЕ. К рассмотрению принимаются статьи с достаточной привязкой научно-практической задачи и полученных авторами результатов непосредственно к вопросам **разработки информационных технологий**. Статьи, научно-практическая ценность которых в большей степени связана с особенностями отраслевой техники и технологий (в том числе экономики), а также чисто математические, **не принимаются**.

Общие требования подготовки статей

1. Редакция принимает к рассмотрению работы, опирающиеся на ранее опубликованные результаты **научной деятельности** авторов, что должно быть отражено в пристатейном списке литературы.
2. При достаточно большом числе соавторов статьи редакция оставляет за собой право запросить описание **личного авторского вклада** каждого участника исследования.
3. Наличие у автора личного **идентификатора ORCID** является обязательным условием опубликования статьи. Подразумевается также наличие в личном кабинете ORCID **информации** о научной деятельности автора.

4. Минимальный объем статьи с учетом сведений об авторах, аннотации и списка литературы на русском и английском языках – **10 страниц** Word в формате **Шаблона оформления статьи**.

5. Максимальный объем не ограничен, однако достаточно большой материал может быть опубликован **в двух частях** в соседних выпусках журнала.

6. **Аннотирование статьи** должно быть выполнено в соответствии с шаблоном:

- актуальность вопроса;
- цель исследования;
- краткая постановка задачи;
- используемые методы;
- полученные результаты.

7. **Объем аннотации** должен составлять не менее 200 слов (или чуть больше).

8. Если для перевода текста аннотации используется автоматический **переводчик Google**, автору необходимо проверить результат и при необходимости скорректировать английский текст, чтобы он адекватно воспринимался зарубежным читателем. **Профессиональную терминологию** следует дополнительно проверять с помощью специальных словарей.

9. **Ключевые слова** должны содержать терминологию, соответствующую содержанию конкретного пункта паспорта специальности, по которому авторы позиционируют статью.

10. Объем **списка литературы** к статье – от 12 до 25 позиций. Исключение (по согласованию с редакцией) в плане увеличения объема ссылок могут составлять работы **обзорно-аналитического** характера.

11. Во всех источниках, имеющих **индекс DOI**, он должен быть обязательно указан.

12. **Электронные источники** должны быть проверены автором на работоспособность и описаны в формате активной ссылки с обязательным указанием **даты обращения**.

13. Ссылки на **данные с сайтов**, не представляющие собой отдельный материал с заголовком, оформляются как постраничные сноски по тексту статьи (в список литературы **не включать**).

14. Все источники в списке литературы должны быть оформлены в соответствии со **стандартом редакции**. Источники, не оформленные по правилам, **будут исключены**.

15. Список литературы на латинице **References** должен быть оформлен в строгом соответствии с редакционными требованиями.

16. **Иллюстрации** должны быть представлены в соответствии с техническими требованиями; рисунки ненадлежащего качества **будут исключены** из состава статьи.

17. **Формулы** и **переменные** должны быть набраны в соответствии с техническими требованиями.

18. **Программные коды** должны быть оформлены в виде листингов, независимо от объёма текста.

19. **Рисунки, таблицы и листинги** должны иметь дублирующие наименования на английском языке.

20. Текст на рисунках и в таблицах должен быть продублирован **на английском языке** (за исключением фотографий и скриншотов, содержащих инструментальные панели экрана). Необходимо продумывать содержание **рисунков и таблиц** таким образом, чтобы они не содержали громоздкого текста.

21. **Диаграммы и графики** должны иметь дублирующую легенду и подписи координатных осей на английском языке.

Требования к иллюстрациям

1. Иллюстрации выполняются **в серых тонах**, поскольку наше издание монохромное. Если рисунок был изначально выполнен автором в цвете, необходимо перевести его в серые тона и не забыть убрать в тексте **ссылки** на цветовые элементы изображения.

2. Изображение на рисунках должно быть **четким**, текст – **хорошо читаемым**. Редакция просит отнестись с пониманием к тому, что рисунки ненадлежащего **качества** не смогут быть опубликованы в журнале.

3. Все надписи на рисунках дублируются **на английском языке**, в том числе легенды диаграмм и обозначения координатных осей графиков.

Пример рисунка с подрисуночными подписями:

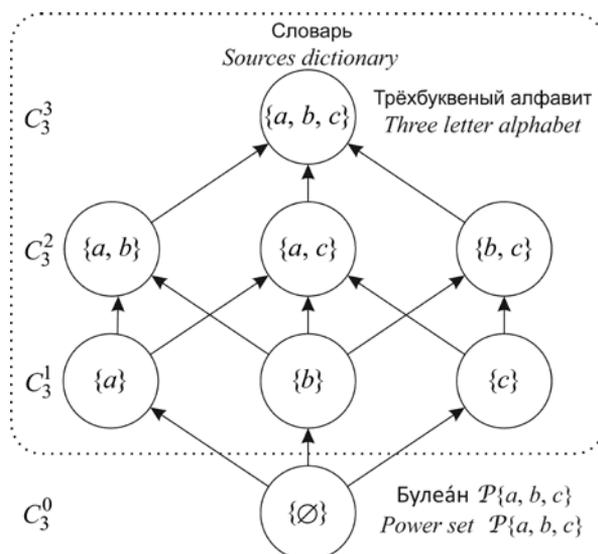


Рис. 2. Создание «Словаря» из трехбуквенной «азбуки» с использованием свойств множества типа «булеан»

Fig. 2. Creation of the “Dictionary” using three letter alphabet and “power set” properties

4. По всем рисункам должны быть предоставлены **исходники**:
 - фото, сканы, скриншоты – в растровых файлах; скриншоты должны быть выполнены **с высоким разрешением** перехвата экрана (не менее 300 dpi)
 - рисунки, созданные автором статьи (схемы) – в исходном формате использованного редактора векторной графики, доступном для редактирования (**Word, Visio, Corel Draw**)
 - диаграммы и графики Excel – в формате **Excel**.
5. **Заемствованные изображения** должны иметь в подрисуночной надписи **ссылку на источник** – в виде постраничной сноски, или, если источник включен в список литературы, номера позиции списка в квадратных скобках.
6. Требование 5 касается также ранее опубликованных **иллюстраций автора статьи**.
7. Требования 5 и 6 касаются также **таблиц**.

Требования к формулам и переменным

1. Использование конструктора уравнений редактора Word для набора формул и переменных **не допускается**.
2. Математические выражения, не требующие специальной символики, а также отдельные переменные, набираются **строковым редактором** (клавиатурный ввод) с использованием при необходимости режима «**Вставка символа**».
3. Формулы, включающие специализированные символы, не содержащиеся на клавиатуре и в опции Word «Вставка символа», набираются **целиком** с помощью внешних редакторов **Microsoft Equation** либо **Math Type**.
4. Одно выражение **не может** быть набрано частично во внешнем редакторе формул, а частично строковым редактором.
5. Нумеруются только формулы, на которые есть **ссылки** по тексту статьи.
6. Греческие и русские буквы даются **прямым** шрифтом, латинские – **курсивом**.
7. Жирным шрифтом выделяются только **структурированные** объекты – обозначения векторов (если не используется значок вектора), матриц, множеств, кортежей и т. п.
8. В качестве **знака умножения** используется точка.
9. **Дробная часть** числа отделяется запятой.

Оформление списка литературы

1. Источники с неполным **форматом описания**, а также с некорректной информацией в описании, будут исключены из состава списка литературы.
2. При указании количества и диапазона страниц в Списке литературы используется не дефис, а **среднее тире**.
3. **Индекс DOI** при его наличии у цитируемого источника указывается обязательно (автор обязан **проверить** наличие DOI по каждому источнику).
4. Ссылки на электронные источники должны быть приведены в **активном формате**, с указанием **даты обращения**.
5. **Электронные источники** с некорректными ссылками будут исключены из состава списка литературы.
6. Если материал из Интернета не имеет отдельного заголовка, он не включается в список литературы, а ссылка на него дается **постраничной сноской** по тексту статьи.
7. Формат ссылки на источники по тексту статьи - порядковый номер источника по списку в квадратных скобках [**№ источника**].
8. Источники в списке литературы располагаются либо **по алфавиту**, либо **в порядке цитирования**. При оформлении в порядке цитирования сначала указываются **русскоязычные** источники, затем **иностранные**.

Образцы описания источников

Книга

Емельянов А. А., Власова Е. А., Дума Р. В. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.

Раздел в книге

Иванов А. А., Петров И. С. Электронная коммерция. – В кн.: Современный бизнес. М.: МАКС Пресс, 2004. С. 46–57.

Переводная книга

Маргулис Д. Photoshop для профессионалов: классическое руководство по цветокоррекции. 4-е изд. / Пер. с англ. М.: Интерсофтмарк, 2003. – 95 с.

Зарубежная книга

Systems Engineering Handbook. SP-2007-6105. Washington: NASA Publishing, 2007. – 362 p.

Статья в журнале или других СМИ

Земляков С. Д., Рутковский В. Ю. Функциональная управляемость и настраиваемость систем координатно-параметрического управления // Автоматика и телемеханика. 1986. № 2. С. 21–30.

Статья в зарубежном журнале

Borisov V. V., Bobkov V. I., Dli M. I., Seljavskij Yu. V. Fuzzy economic and mathematical model of heat-technological system for pelletizing in non-ferrous metallurgy // Non-ferrous metals. 2018. Vol. 45. No 2. Pp. 56–60.

Сборник докладов конференции

Сулавко А.Е., Шалина Е.В., Стадников Д.Г. Биометрическая аутентификация по клавиатурному почерку на основе иммунного алгоритма распознавания образов // Сборник статей II всероссийской научно-практической конференции с международным участием им. В.В. Губарева. 2018. С. 307–315.

Диссертация

Шевелёв А. А. Разработка способа защиты полиграфической продукции с использованием скрытого растрового изображения: дис. ... канд. техн. наук. М., 2015.

Публикация с индексом DOI

Ivanov A.I., Lozhnikov P.S., Sulavko A.E. Evaluation of signature verification reliability based on artificial neural networks, Bayesian multivariate functional and quadratic forms. Computer Optics. 2017. No.5. Pp. 765–774. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-5-765-774.

Материал в Интернете

Иванов А. П. Бизнес в США. URL: > (дата обращения <дд.мм.гггг>).

Полная версия Правил размещена на www.appliedinformatics.ru

Подписка–2020

Журнал «Прикладная информатика / Journal of applied informatics»

выходит 6 раз в год:

Февраль Апрель Июнь Август Октябрь Декабрь

Подписка через редакцию

Стоимость подписки на 2020 год:

1 номер	3 номера	6 номеров
1190 руб.	3570 руб.	7140 руб.

Подписку можно оформить с любого месяца.

Тел./факс: +7 (495) 987–43–74 (доб. 33–04)

Руководитель службы маркетинга А. А. Розанцев

тел. +7 (495) 987–43–74 (доб. 33–04), e-mail: arozantsev@synergy.ru

Подписка на почте

По объединенному каталогу «Пресса России» индекс 88059

По каталогу российской прессы «Почта России» индекс 14241

Доставка осуществляется заказной бандеролью с уведомлением.

Электронный выпуск, а также отдельные статьи журнала можно приобрести на сайтах www.appliedinformatics.ru, www.elibrary.ru и www.litres.ru.

К оплате принимаются все виды электронных платежей, банковские карты.

Возможна также оплата с помощью СМС.

Учредитель и издатель
Негосударственное образовательное частное учреждение высшего образования
«Московский финансово–промышленный университет «Синергия»
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77–57869 от 25.04.2014 г.
Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Литературный редактор *Т. В. Глазкова*
Дизайн макета *Б. В. Зипунов*
Верстка *И. Н. Глазунова*

Адрес редакции и издателя

129090, Москва, ул. Мещанская, д. 9/14, стр.1 (юрид.)
125190, Россия, Москва, Планетная ул., д. 36, оф. 301, 302
Тел.: +7 (495) 987–43–74 (доб. 33–04)
e-mail: appliedinformaticsjournal@gmail.com; www.appliedinformatics.ru

Наши реквизиты

Университет «Синергия»
ИНН 7729152149
КПП 770201001
ОГРН 1037700232558
P/c 40703810338180120073
БИК 044525225
K/c 3010181040000000225
Сбербанк России (ПАО) Вернадское ОСБ

При перепечатке и цитировании материалов ссылка на журнал «Прикладная информатика / Journal of applied informatics» обязательна. Редакция не несет ответственности за достоверность информации, опубликованной в рекламных объявлениях. Мнения авторов и редакции могут не совпадать.

© Университет «Синергия»
Подписано в печать: 23.10.2020

Тираж 110 экз.

Отпечатано в ООО «САМ ПОЛИГРАФИСТ»
129090, г. Москва, Протопоповский пер., д. 6