

# **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ**

**№2 2025**

**Направления:**

**1.2.2. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**2.3.1. – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**2.3.3. – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (технические науки)**

**2.3.6. – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(физико-математические науки)**

**Казань  
2025**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №2 2025г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2025. – 158 с.

**ISSN 2079-5920**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте [www.ntvprrt.ru](http://www.ntvprrt.ru), и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

*Главный редактор Р.Х. Шагимуллин*

*Редакционная коллегия*

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;  
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;  
В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.н., проф.*

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920**

**© Рашин Сайнс, 2025 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.В. Репина, В.С. Минкин, Р.Х. Шагимуллин</i> МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ВУЛКАНИЗАТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ	8
--	---

### 1.2.2. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

<i>М.Г. Алленов, Д.Г. Алленов, В.А. Кулагина, А.Н. Пушанов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ НА ОСНОВЕ API QFORM И API CAD-СИСТЕМ	12
<i>П.В. Антонова, Р.М. Гиздатуллин, А.С. Титовцев, М.В. Казаков</i> РАЗРАБОТКА МЕТАМОДЕЛИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНСАМБЛЕВЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	18
<i>Д.Л. Карелин, А.В. Болдырев, С.В. Болдырев, И.Ф. Гумеров, Л.И. Фардеев</i> АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ВОДОРОДНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	22
<i>О.В. Мкртычев, Д.С. Сидоров, М.И. Апухтин</i> УЧЕТ ПЕРЕГОРОДОК ПРИ РАСЧЕТЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	31
<i>А.С. Титовцев, Р.М. Юсупов</i> СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ ОЧЕРЕДЬЮ И ВРЕМЕНЕМ ОЖИДАНИЯ	39

### 2.3.1. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Л.Н. Акимова</i> СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ПРОЕКТАМИ	42
<i>И.Б. Бондаренко, Д.А. Пелих</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ В РЕШЕНИИ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ ГОРОДСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	48
<i>Р.Р. Валиахметов, Р.Р. Зиятдинов, Н.А. Кузнецов</i> АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЕТЕКЦИИ НЕРОВНОСТЕЙ ДОРОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	52
<i>А.В. Ганичева, А.В. Ганичев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ	56
<i>О.И. Гурьянова, И.А. Чупахин, И.В. Гурьянова</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОТРУДНИКОВ ДЛЯ УЧАСТИЯ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УНИВЕРСИТЕТА	60
<i>Ю.Г. Кабалдин, М.С. Аносов, С.В. Иванов, А.А. Акулова</i> ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ АЛГОРИТМАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ И ФРАКТАЛОВ	63
<i>Д.Ю. Карандеев, Р.И. Баженов</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ	68
<i>С.А. Ращепкина, В.Н. Попова</i> К РАСЧЕТУ ШАРОВОЙ ЕМКОСТИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИРА	71
<i>В.Н. Фиошина, К.И. Сенникова, А.А. Городов</i> КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА	75

### 2.3.3. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<i>К.А. Агафонов, А.А. Силаев</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ СТАНА ГОРЯЧЕГО ПРОКАТА БЕСШОВНЫХ ТРУБ	79
<i>А.К. Зайцев, Л.И. Медведева</i> РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ ГАЗА И ВОЗДУХА В ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМИ БАЛКАМИ	83
<i>В.В. Земцов, Д.Ф. Буканов, А.В. Иващенко</i> СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ПИТАНИЯ БЕСПРОВОДНОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО КОМБИНИРОВАННОГО ДАТЧИКА	86
<i>Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Валиахметов, Д.В. Санников</i> СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	89
<i>В.К. Козлов, Д.М. Валиуллина, Р.А. Гиниятуллин</i> КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ КИСЛОТНЫМ ЧИСЛОМ И КООРДИНАТАМИ ЦВЕТНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА	93
<i>К.А. Кузнецова, К.А. Воронин, А.К. Ильина, Л.О. Федосова, А.В. Золотов</i> РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЛАБОРАТИВНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ	98
<i>К.Д. Семенов, В.Г. Сурикова</i> ПЛАНИРОВАНИЕ ТРУДОЗАТРАТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАДЕЖНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО ПРОДАЖЕ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	103
<i>Л.А. Феоктистова, Т.В. Рзаева</i> ВЫБОР САД-СИСТЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В РАМКАХ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ	106

### 2.3.5. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

<i>Л.Б. Абибулаев, Д.В. Малыгин, Д.Н. Аблякимова, З.С. Сейдаметова</i> АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	109
<i>Т.А. Деменкова, В.А. Ланцевский</i> МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	112
<i>С.Р. Ермаков, С.В. Зыков</i> МЕТОД МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	118
<i>Д.В. Жматов, К.И. Шутов</i> РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОИСКА ПОТЕРЯННЫХ ТОВАРОВ НА СКЛАДЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ	123
<i>В.М. Образцов, С.А. Красников, О.Ю. Козлова</i> ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	127
<i>А.К. Рыбников</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОАССЕССМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТАЛОСТИ В АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ	130
<i>К.В. Черенкова</i> МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ МАТЕРИАЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА НА ОСНОВЕ МЕТОДА SPH	133
<i>К.В. Черенкова</i> РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ МАТЕРИАЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА	138

**2.3.6. — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ  
ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

<i>Г.К. Пшеничный, И.М. Герасимович, К.А. Пшеничный</i> СИСТЕМА РАСЧЁТА ОБЩЕСТВЕННЫХ ОЖИДАНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПАССИОНАРНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ИНЫХ КУЛЬТУР	142
--	-----

<b>АННОТАЦИИ</b>	148
------------------	-----

**THE RELEASE MAINTENANCE**

<i>A.V. Repina, V.S. Minkin, R.H. Shagimullin</i> MOLECULAR MOBILITY OF VULCANIZATES OF INDUSTRIAL POLYSULFIDE OLIGOMERS WITH VARIOUS FILLERS	8
---	---

**1.2.2. — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES**

<i>M.G. Allenov, D.G. Allenov, V.A. Kulagina, A.N. Pushanov</i> MODELLING AND OPTIMISATION OF CROSS WEDGE ROLLING PROCESSES BASED ON API QFORM AND API CAD SYSTEMS	12
<i>P.V. Antonova, R.M. Gizdatullin, A.S. Titovcev, M.V. Kazakov</i> DEVELOPMENT OF A SURROGATE MODEL FOR QUEUEING SYSTEMS USING ENSEMBLE MACHINE LEARNING METHODS	18
<i>D.L. Karelin, A.V. Boldyrev, S.V. Boldyrev, I.F. Gumerov, L.I. Fardeev</i> ANALYSIS OF THE THERMAL BALANCE OF THE ELEMENTS OF A POWER PLANT WITH A HYDROGEN FUEL CELL OF VEHICLES	22
<i>O.V. Mkrtychev, D.S. Sidorov, M.I. Apukhtin</i> CONSIDERATION OF PARTITIONS IN THE CALCULATION OF RESISTANCE TO PROGRESSIVE COLLAPSE OF REINFORCED CONCRETE MONOLITHIC STRUCTURES	31
<i>A.S. Titovtsev, R.M. Yusupov</i> QUEUEING SYSTEMS WITH LIMITED QUEUE AND WAITING TIME	39

**2.3.1. — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING**

<i>L.N. Akimova</i> SYSTEM ANALYSIS IN SOLVING IT PROJECT MANAGEMENT PROBLEMS	42
<i>I.B. Bondarenko, D.A. Pelikh</i> DESIGNING THE ARCHITECTURE OF A MULTI-AGENT SYSTEM IN SOLVING SPECIFIC URBAN MANAGEMENT TASKS	48
<i>R.R. Valiakhmetov, R.R. Ziyatdinov, N.A. Kuznetsov</i> HARDWARE FOR DETECTING ROAD SURFACE IRREGULARITIES	52
<i>A.V. Ganicheva, A.V. Ganichev</i> MODELING THE PROCESS OF IMPROVING THE QUALITY OF EDUCATION	56
<i>O.I. Guryanova, I.A. Chupakhin, I.V. Guryanova</i> METHODOLOGY FOR EVALUATION OF EMPLOYEES FOR PARTICIPATION IN UNIVERSITY PROJECT ACTIVITY	60
<i>Y.G. Kabaldin, M.S. Anosov, S.V. Ivanov, A.A. Akulova</i> ASSESSMENT OF CRACK RESISTANCE OF COATED HARD ALLOYS BASED ON NEURAL NETWORK AND ACOUSTIC EMISSION SIGNAL ANALYSIS USING NONLINEAR DYNAMICS AND FRACTALS ALGORITHMS	63
<i>D.Y. Karandeev, R.I. Bazhenov</i> THE USE OF DEEP LEARNING METHODS TO OPTIMIZE THE DESIGN OF DISTRIBUTION NETWORKS, TAKING INTO ACCOUNT THE CRITERION OF STRUCTURAL RELIABILITY	68
<i>S.A. Rashchepkin, V.N. Popova</i> TO CALCULATION OF BALL CAPACITY IN LIRA SOFTWARE PACKAGE	71
<i>V.N. Fioshina, K.I. Sennikova, A.A. Gorodov</i> CLASSIFICATION OF TASKS IN STATISTICAL TEXT ANALYSIS	75

**2.3.3. — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION**

<i>K.A. Agafonov, A.A. Silaev</i> AUTOMATION OF HOT ROLLING MILL FOR SEAMLESS PIPES	79
---	----

<i>A.K. Zaitsev, L.I. Medvedeva</i> DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR REGULATING THE RATIO OF GAS AND AIR FLOW RATES IN A FURNACE WITH WALKING BEAMS	83
<i>V.V. Zemtsov, D.F. Bukanov, A.V. Ivaschenko</i> AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM OF WIRELESS OPTICAL-ELECTRONIC SPECTROMETRIC COMBINED SENSOR	86
<i>R.R. Ziyatdinov, R.R. Valiakhmetov, D.V. Sannikov</i> OBJECT RECOGNITION SYSTEM FOR ROBOTIC SYSTEMS BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK	89
<i>V.K. Kozlov, D.M. Valiullina, R.A. Giniatullin</i> CORRELATION DEPENDENCE BETWEEN THE ACID NUMBER AND THE COLOR COORDINATES OF TRANSFORMER OIL	93
<i>K.A. Kuznetsova, K.A. Voronin, A.K. Ilyina, L.O. Fedosova, A.V. Zolotov</i> DEVELOPMENT OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR COLLABORATIVE ROBOT BASED ON VISION SYSTEM	98
<i>K.D. Semenov, V.G. Surikova</i> PLANNING OF LABOR COSTS IN THE DEVELOPMENT OF A RELIABLE AUTOMATED PLATFORM FOR THE SALE OF MEDICAL EQUIPMENT	103
<i>L.A. Feoktistova, T.V. Rzayeva</i> SELECTION OF CAD SYSTEMS WHEN STUDYING GRAPHIC DISCIPLINES IN THE CONTEXT OF TRAINING STUDENTS OF TECHNICAL SPECIALTIES	106

### **2.3.5. — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS**

<i>L.B. Abibulaev, D.V. Malygin, D.N. Ablyakimova, Z.S. Seidametova</i> OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS	109
<i>T.A. Demenkova, V.A. Lantsevsky</i> METHODS OF OPTIMIZING TESTING OF INFORMATION SYSTEMS APPLICATIONS	112
<i>S.R. Ermakov, S.V. Zykov</i> FEATURE SCALING METHOD FOR A STREAMING INTELLIGENT EDUCATIONAL SYSTEM	118
<i>D.V. Zhmatov, K.I. Shutov</i> DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR LOCATING LOST ITEMS IN A WAREHOUSE USING STRAIN GAUGE SENSORS	123
<i>V.M. Obratsov, S.A. Krasnikov, O.Yu. Kozlova</i> APPLICATION OF DISTRIBUTED DATA PROCESSING	127
<i>A.K. Rybnikov</i> MATHEMATICAL MODEL OF NEUROASSESSMENT FOR FATIGUE EVALUATION IN ARCTIC EXPEDITIONS	130
<i>K.V. Cherenkova</i> TECHNIQUE OF MODELING THE PROCESS OF MATERIAL SINTERING UNDER THE INFLUENCE OF A LASER BEAM BASED ON THE SPH METHOD	133
<i>K.V. Cherenkova</i> DEVELOPMENT OF TOOLS FOR IMPLEMENTING THE METHOD OF SIMULATING THE PROCESS OF MATERIAL SINTERING UNDER THE INFLUENCE OF A LASER BEAM	138

### **2.3.6. — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY**

<i>G.K. Pshenichny, I.M. Gerasimovich, C.A. Pshenichny</i> COMPUTATION OF PUBLIC EXPECTATION OF ALIEN-INDUCED CHANGES IN URBAN LIFE	142
---	-----

<b>ABSTRACTS</b>	148
------------------	-----

2.3.3.

<sup>1</sup>А.В. Репина канд. техн. наук, <sup>1</sup>В.С. Минкин д-р хим. наук,  
<sup>2</sup>Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
институт нефти, химии и нанотехнологий, кафедра физики,  
<sup>2</sup>главный редактор журнала Научно-технический вестник Поволжья

### МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ВУЛКАНИЗАТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

*Исследована молекулярная подвижность вулканизатов полисульфидных олигомеров, полученных с использованием различных наполнителей, используемых в промышленности.*

*Показано влияние типа и количества вводимых наполнителей на изменение гибкости олигомерных цепей вулканизатов. Установлено влияние дисперсности вводимых наполнителей на характер их распределения в вулканизатах ПСО.*

Ключевые слова: полисульфидные олигомеры, ЯМР-спектроскопия.

Большой практический интерес представляет вопрос о влиянии вводимых наполнителей (технического углерода) на молекулярную подвижность и вулканизацию полисульфидных олигомеров (ПСО) (жидких тиоколов). В работе исследованы вулканизаты ПСО, полученных отверждением диоксидом марганца, бихромата натрия, с различным содержанием наполнителей: ПМ-15; ПМ-30; ПМ-50; ПМ-70; ПМ-100.

Рецепты наполненных вулканизатов жидких тиоколов приведены в работе [1]. Методики измерения времен спин-спиновой релаксации  $T_2$  в процессе вулканизации и оспределение параметров спектров ЯМР исследованных образцов приведены в работах [1,2].

Анализ кинетических кривых процесса вулканизации тиоколов (рис.1) свидетельствует о том, что введение наполнителя (технический углерод П-803) в количестве 30 масс.ч. в среднем в 2-3 раза укорачивает время спин-спиновой релаксации  $T_2$ .

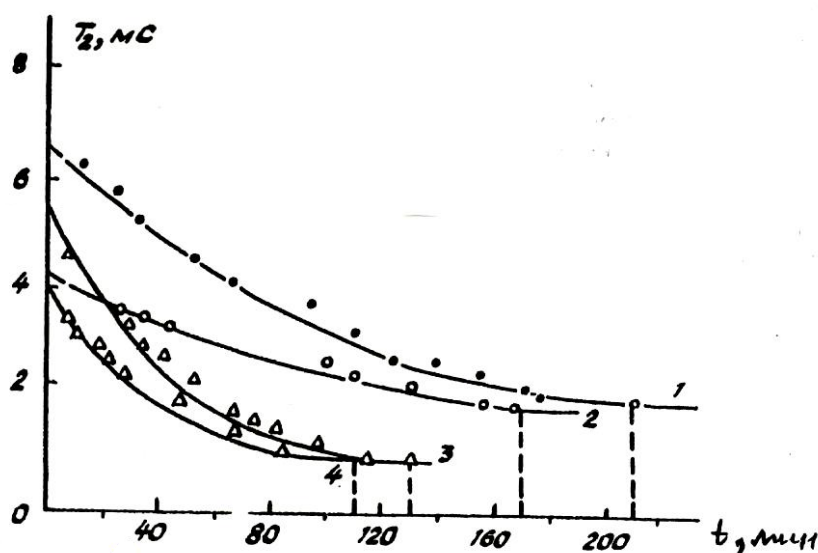


Рис. 1 – Зависимость спин-спиновой релаксации от продолжительности вулканизации ПСО.

1,2 – вулканизирующий агент диоксид марганца,  
3,4 – вулканизирующий агент бихромат натрия,  
2,4 – наполнитель технический углерод П-803 (30 масс.ч.)

Скорость процесса вулканизации ПСО в присутствии наполнителя независимо от типа вулканизующего агента заметно возрастает, особенно при повышении температуры вулканизации (табл.1).

Таблица 1 - Значения эффективных констант скоростей процессов вулканизации ПСО

Вулканизующий агент	Наполнитель П-803	Температура вулканизации, °С	$K_{\text{эф}} \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$
Бихромат натрия	30 масс.ч.	20	6,35
		40	19,70
		60	27,2
Диоксид марганца	30 масс.ч.	20	6,51
		40	20,40
		60	54,50

Такое действие наполнителя связано с тем, что его введение приводит к адсорбции макромолекул на поверхности частиц наполнителя, что способствует понижению молекулярной подвижности олигомеров.

Кроме того, частицы наполнителя, обладая большой свободной поверхностью и различными функциональными группами, способны активировать процесс окисления тиольных групп, что приводит к значительному ускорению процесса вулканизации наполненных систем ПСО.

Поскольку тип используемого наполнителя существенно влияет на комплекс свойств вулканизатов ПСО, представляло большой интерес установить влияние типа и количества вводимого наполнителя на изменение молекулярной подвижности вулканизатов ПСО. Н рис.2 приведены полученные зависимости ширины линии поглощения ЯМР для наполненных ПСО в зависимости от типа и количества наполнителя.

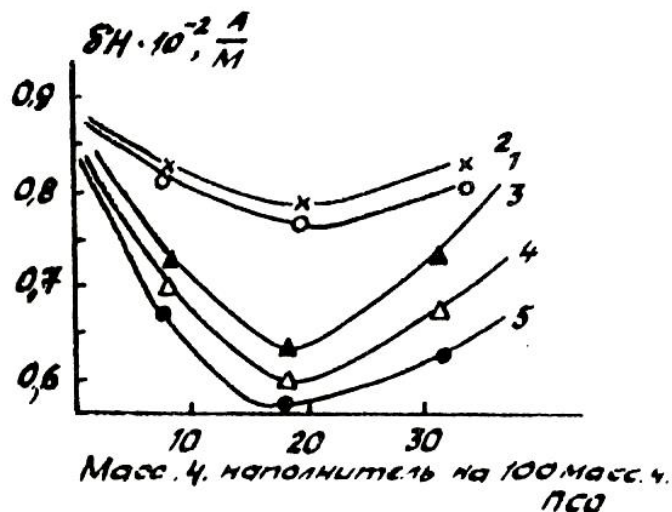


Рис. 2 – Зависимость ширины линии поглощения ЯМР вулканизатов ПСО, полученных отверждением диоксидом марганца, от количества наполнителя:

1 – ПМ-15; 2 – ПМ-30; 3 – ПМ-50; 4 – ПМ-70; 5 – ПМ-100

Приведенные на рис.2 зависимости ширины линии поглощения ЯМР являются типичными для всех исследованных вулканизующих агентов. Они обнаруживают четкую экстремальную зависимость: положение минимума на кривых, соответствующее наиболее высокому значению молекулярной подвижности, отвечает во всех случаях количеству наполнителя 20 масс. ч. на 100 масс. ч. у олигомера. Характерно, что менее дисперсные наполнители препятствуют разукрупнению надмолекулярных структур и их введение мало влияет на гибкость цепей вулканизатов. С увеличением дисперсности наполнителя наблюдается более заметное изменение молекулярной подвижности вулканизатов, что может быть связано с возможностью их равномерного распределения по цепи олигомера и перевода макромолекул из свернутых глобулярных структур в более вытянутые, а, следовательно, более гибкие.

Однако, высокодисперсные наполнители плохо распределяются в герметиках на основе ПСО, и это является, по-видимому, основной причиной установленной ранее антибатности дисперсности наполнителя и эффективной плотности сетки в вулканизатах ПСО [2]. Хорошим подтверждением этому могут служить величины средней поверхности ( $S$ ), приходящиеся на один активный центр наполнителя (табл.2), рассчитанные нами по уравнению [2] с использованием данных по плотности сетки.

Таблица 2 - Поверхность наполнителя ( $S$ ) в расчете на один активный центр ( $A^2$ )

Тип наполнителя	Удельная поверхность $m^2/g$	Тип вулканизирующего агента			
		Диоксид марганца		Бихромат натрия	
		Сухие образцы	Набухшие образцы	Сухие образцы	Набухшие образцы
П-803	15	1,4	3,4	1,4	4,3
П-705	56	17,5	35,2	8,3	16,3
П-514	75	20,4	101,0	11,2	28,0

Таким образом, с увеличением дисперсности наполнителя значительно возрастает  $S$ , т.е. снижается эффективность использования активной поверхности наполнителя. Сравнивая данные для двух вулканизирующих агентов, предпочтение следует отдать бихромату натрия, в присутствии которого эффективность использования наполнителя выше.

Тип вулканизирующего агента оказывает заметное влияние на молекулярную подвижность в вулканизатах ПСО: чем выше активность отвердителя, тем менее заметно влияние дисперсности наполнителя на молекулярную подвижность (рис.3).

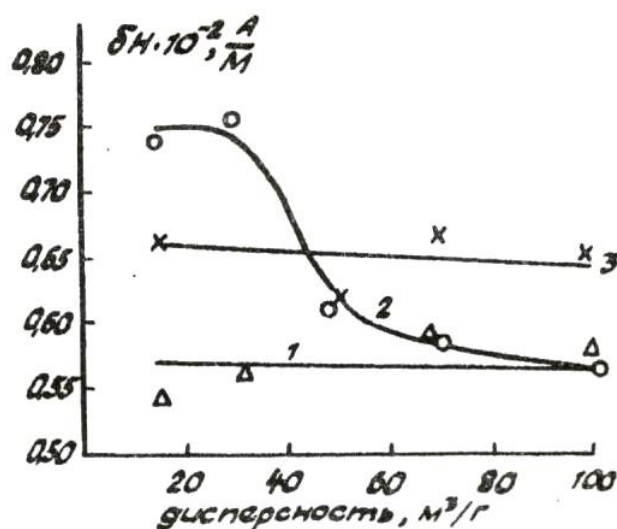


Рис. 3 – Влияние дисперсности наполнителя (технический углерод)

на молекулярную подвижность вулканизатов, полученных с использованием различных отвердителей: 1 –  $PbO_2$ , 2 –  $MnO_2$ , 3 –  $Na_2Cr_2O_7$ .

Это можно объяснить увеличением густоты вулканизирующей сетки при использовании ряда применяемых отвердителей:  $PbO_2 > Na_2Cr_2O_7 > MnO_2$ , что наблюдалось нами ранее [3]. При смешении ПСО с наполнителем ширина линии поглощения ЯМР мало изменяется с количеством наполнителя (рис.4).

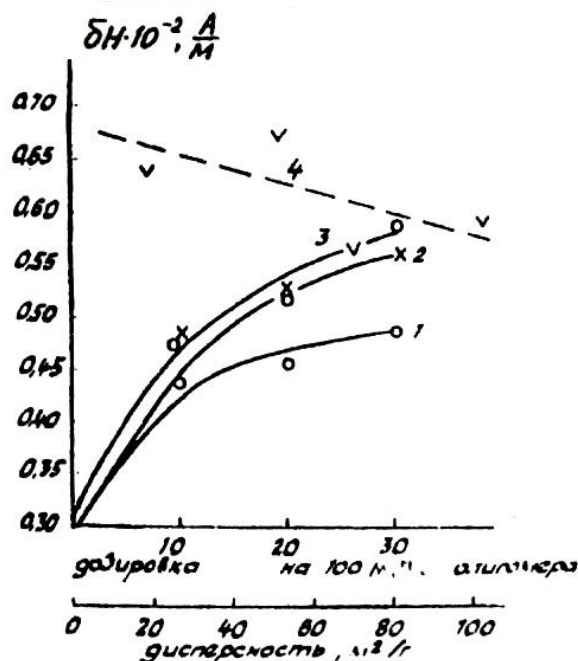


Рис. 4 – Влияние дозировки (1-3) и дисперсности (4) наполнителя на молекулярную подвижность в смесях ПСО-наполнитель (технический углерод): 1- ПМ-30; 2- ПМ-70; 3- ПМ-100; 4- 30 масс. ч. на 100 масс. ч. ПСО.

Это указывает на физический характер взаимодействия полимер-наполнитель, обусловленный образованием адсорбционных связей (мульти сегментная адсорбция) [2]. Однако влияние дисперсности наполнителя на молекулярную подвижность смесей ПСО-наполнитель находится в соответствии с наблюдаемой в вулканизатах.

#### Список литературы

1. *Хакимуллин Ю.Н.* Герметики на основе полисульфидных олигомеров: синтез, свойства, применение / Минкин В.С., Палютин Ф.М., Дебердеев Т.Р. // М: Наука, 2007, 301 с.
2. *Суханов П.П., Минкин В.С.* Исследование процессов структурирования олигомерных композиций методами радиоспектроскопии // К: изд-во КНИТУ, 2011, 223 с.
3. *Аверко-Антонович Л.А., Кирпичников П.А., Смылова Р.А.* Полисульфидные олигомеры и герметики на их основе // Л: Химия, 1983, 128 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ — 1.2.2.**

1.2.2.

<sup>1,3</sup>М.Г. Алленов, <sup>1</sup>Д.Г. Алленов, <sup>1</sup>В.А. Кулагина, <sup>2</sup>А.Н. Пушанов<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы", инженерная академия, базовая кафедра машиностроительных технологий,<sup>2</sup>ООО «КванторФорм»,  
Москва, okdell@mail.ru,<sup>3</sup>Ташкентский Государственный технический университет им. И.Каримова**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ  
ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ  
НА ОСНОВЕ API QFORM И API CAD-СИСТЕМ**

*В статье описывается методика автоматизации моделирования процессов поперечно-клиновой прокатки (ПКП) с использованием API QForm и SpaceClaim API. Обсуждаются основные этапы и технические аспекты реализации. Приводятся результаты моделирования и практического испытания, а также предложены методы обработки графиков силы с помощью функций сглаживания и подбора параметров.*

Ключевые слова: *моделирование, автоматизация, API QForm, функции сглаживания, объемная штамповка.*

**1. Введение.**

Поперечно-клиновая прокатка (ПКП) представляет собой одну из наиболее перспективных технологий обработки металлов давлением, что связано с ее высокой производительностью, улучшенными характеристиками износостойкости и высоким коэффициентом использования металла. Однако успешная реализация данной технологии требует применения современных методов моделирования и автоматизации процессов, что позволяет существенно сократить затраты на проведение физических экспериментов. Настоящая работа направлена на разработку и внедрение автоматизированных систем моделирования ПКП с использованием возможностей API QForm и SpaceClaim. Исследования подтверждают, что ПКП позволяет увеличить производительность более чем в 10 раз по сравнению с традиционными методами обработки [1, 2].

**2. Автоматизация моделирования с использованием API QForm.****2.1. Методология автоматизации процессов моделирования**

Основой предлагаемой методики является использование API QForm для параметризации и автоматизации расчетных процессов. API SpaceClaim служит для создания и модификации геометрии заготовок и инструмента. Совокупность данных для моделирования формируется в Excel, откуда они автоматически импортируются в систему. Далее геометрия заготовки преобразуется в формат, совместимый с QForm, где запускается расчет напряженно-деформированного состояния (Рис. 1). Как отмечено в работах [3, 4], интеграция CAD- и CAE-систем значительно повышает точность расчетов.

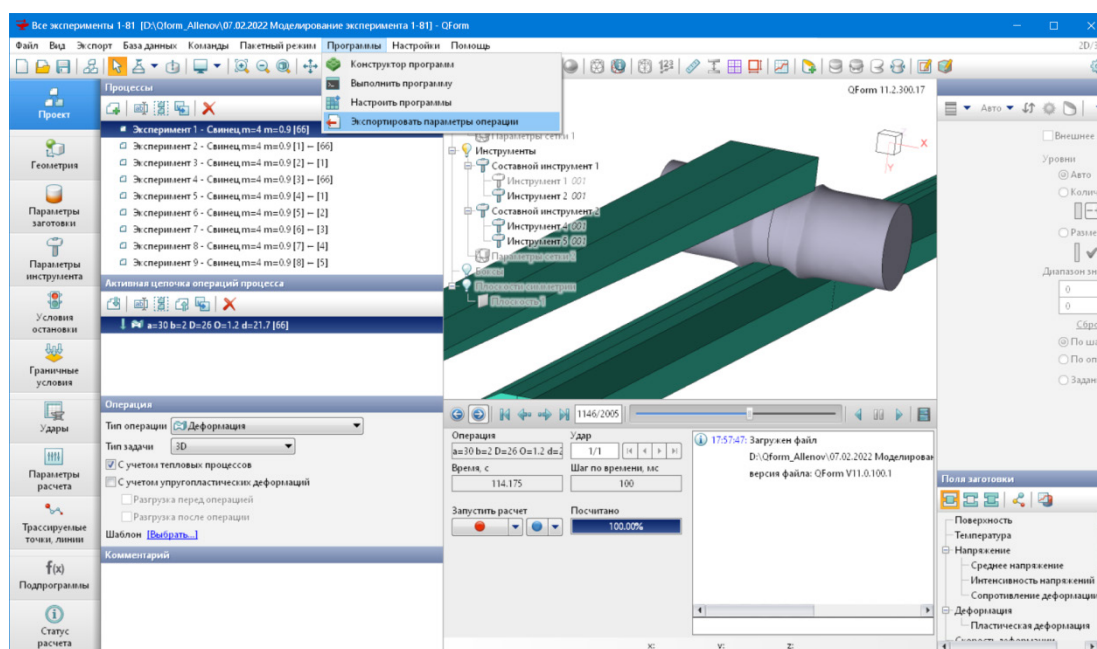


Рис. 1 - Процесс интеграции CAD и CAE-систем для моделирования ПКП

Для расчета используется формула:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2$$

Формула представляет собой квадратичную регрессионную модель с взаимодействиями между переменными и квадратичным членом  $x_1^2$ . Она широко используется в статистическом моделировании для оценки зависимости выходного параметра  $\hat{y}$  от нескольких факторов  $x_1, x_2, x_3$ . В данном случае коэффициенты  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{11}$  показывают влияние каждого из факторов и их взаимодействий на результат.

Такая модель используется для моделирования нелинейных эффектов в инженерных и технологических исследованиях, в том числе для анализа процессов, таких как поперечно-клиновое прокатка (ПКП), где важные параметры (угол наклона, угол заострения, обжатие заготовки) влияют на деформирующее усилие. Квадратичная зависимость особенно полезна в случае, когда есть предположения о нелинейных взаимодействиях между параметрами.

Для создания расчета используются таблицы, построенные как матрицы планирования (Таблица 1).

Таблица 1 - Пример данных для моделирования

№ опыта	Угол наклона ( $\alpha$ )	Угол заострения ( $\beta$ )	Обжатие ( $\delta$ )	Сила ( $\hat{y}$ )
1	30	2	1.2	50
2	40	3	1.3	65
3	50	4	1.5	80

## 2.2. Обработка графиков силы

Для анализа графиков силы, полученных в процессе моделирования, применялись функции сглаживания. Основные параметры сглаживания выбирались методом проб и ошибок, что позволило эффективно исключить выбросы и минимизировать осцилляции. Пример обработанных графиков представлен на Рис. 2. Как указывается в исследованиях [5, 6], данный метод обеспечивает надежное устранение шумов без потери значимых данных.

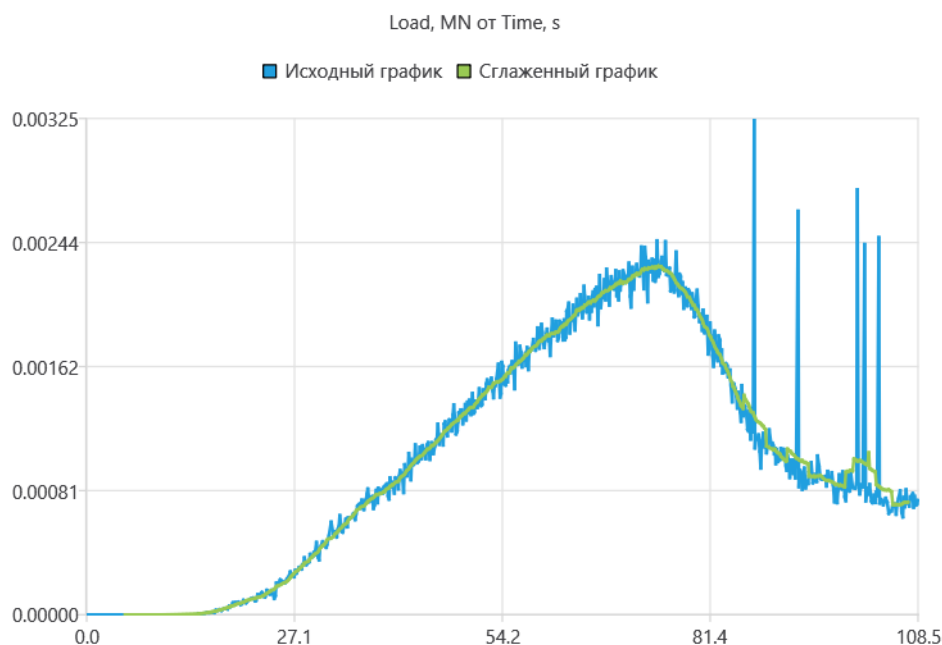


Рис. 2 - Пример графика силы, обработанного с использованием функций сглаживания

### 2.3. Интеграция систем

В рамках интеграции программных модулей реализована передача данных между API SpaceClaim и QForm. На базе API QForm создается сценарий расчета, который может быть повторно использован для других наборов параметров (Рис. 1, Рис. 3). Это позволяет эффективно проводить многовариантные расчеты и оптимизацию параметров. Например, сценарии многовариантных расчетов для процессов ПКП были успешно реализованы в работах [7, 8].

API QForm предоставляет набор возможностей для интеграции внешних программ и автоматизации создания расчетов, что значительно упрощает процесс моделирования и позволяет выполнять полноценные исследования процессов штамповки и обработки металлов. Основные возможности создаваемой программы должны включать следующие функции:

- Создание и настройка расчетных моделей
- Автоматическое создание сценариев расчета
- Запуск расчетов и управление процессом моделирования
- Извлечение результатов моделирования

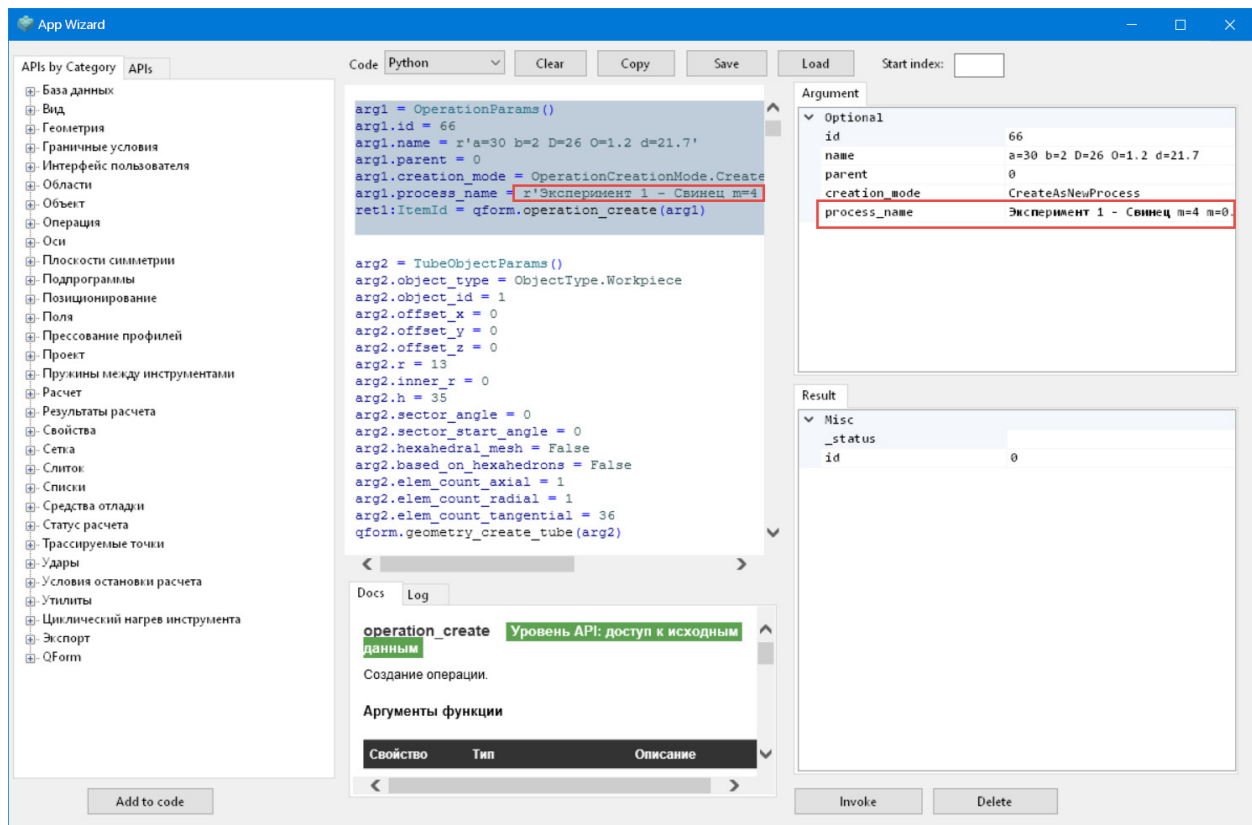


Рис. 3 - Пример создания кода для API QForm с использованием конструктора программ

## 2.4. Практическая реализация

Программная реализация включает создание пользовательского интерфейса с использованием PyQt6. Интерфейс позволяет задавать параметры моделирования, контролировать процесс расчета и визуализировать результаты. Алгоритм работы программы включает следующие этапы:

1. Загрузка данных из Excel;
2. Создание геометрии заготовки в SpaceClaim;
3. Автоматический запуск расчета в QForm;
4. Обработка графиков силы с использованием функций сглаживания;
5. Сохранение результатов в формате CSV.

Дополнительно, в процессе реализации были оптимизированы временные затраты на расчеты. Как указывается в [9], модернизация сетки конечных элементов позволила сократить общее время расчета на 70%.

## 2.5. Результаты моделирования

Результаты моделирования демонстрируют существенное снижение времени расчета (до 20 минут) по сравнению с традиционными методами (20-60 часов). Использование функций сглаживания позволило уменьшить погрешность определения максимальной силы до 5%. Программный комплекс успешно прошел апробацию на экспериментальных данных (Рис. 4). Пример успешной реализации подобных проектов приведен в исследованиях [10, 11].

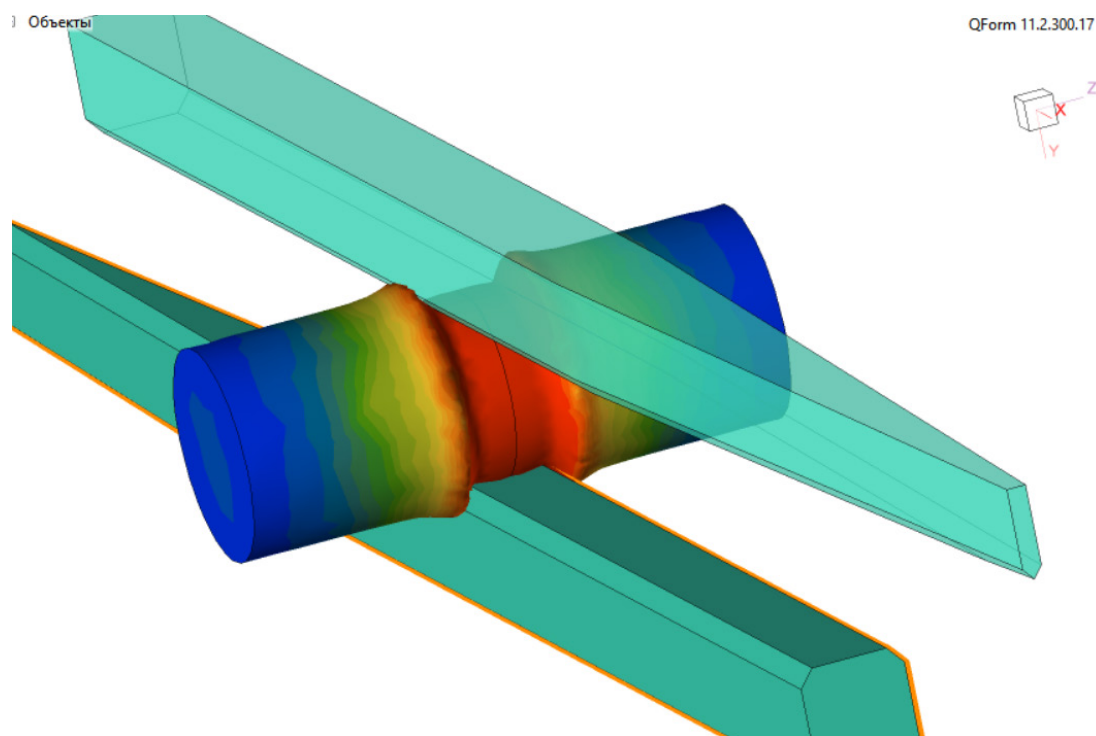


Рис. 4 - Результат сгенерированного расчета в QForm с помощью созданной программы

## 2.6. Рекомендации по улучшению технологии

На основе полученных данных рекомендуется:

- Усовершенствовать алгоритмы построения геометрии инструмента (снижения и упрощение геометрии и уменьшение числа конечных элементов);
- Внедрить системы контроля качества моделирования (времени расчета, корреляции силы);
- Разработать расширенные библиотеки материалов для QForm.

## 3. Выводы

Разработанная методика автоматизации моделирования процессов ПКП показала свою эффективность в сокращении времени и ресурсов, необходимых для проектирования технологических процессов. Интеграция API SpaceClaim и QForm, в сочетании с функциями сглаживания, обеспечивает высокую точность моделирования и анализа. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку алгоритмов автоматического подбора параметров сглаживания для повышения точности расчетов [12, 13].

## Список литературы

1. Pater Z., Tomczak J., Bulzak T. New forming possibilities in cross wedge rolling processes // *Procedia Engineering*. 2017. URL: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2017.06.005> (дата обращения: 15.01.2025).
2. Model Selection and Dragging Parameters in Cross-Wedge Rolling / I. Klyueva, O. Belokurov, M. Allenov, I. Andryushchenko // *Key Engineering Materials*. 2022. Vol. 910 KEM. P. 265–270. URL: <https://doi.org/10.4028/p-3axx1m> (дата обращения: 15.01.2025).
3. Allenov M.G., Belokurov O.A. Evaluation of the friction factor influence on the results of cross-wedge rolling simulation in qform software // *Solid State Phenomena*. 2020. Vol. 299. P. 494–500. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.494> (дата обращения: 15.01.2025).
4. Алленов М.Г., Белокуров О.А. Моделирование технологического процесса поперечно-клиновой прокатки заготовки для горячей объемной штамповки коленчатого вала // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2015. № 10(46). URL: <https://engjournal.bmstu.ru/catalog/mesc/fte/1422.html> (дата обращения: 15.01.2025).

5. Герасимов В.Е., Козлов А.В. Сценарии SpaceClaim в создании учебных моделей // Технологии машиностроения. 2017.
6. Варенцов В.И., Хасанишин Р.Х. Поперечно-клиновая прокатка деталей машиностроения. Казань: Изд-во Казанского университета, 2009. 200 с.
7. Тимошенко С.П., [и др.]. Исследование и совершенствование процесса поперечно-клиновой прокатки. М.: Машиностроение, 2012. 300 с.
8. Зенкин А.С., Смирнов Н.М. Моделирование методом конечных элементов в машиностроении. М.: Машиностроение, 2014. 250 с.
9. Логунов А.В. Анализ пластического деформирования методом конечных элементов. СПб.: Политехника, 2018. 180 с.
10. Галимов И.И., [и др.]. Применение нейросетей для моделирования процессов обработки металлов // Вестник машиностроения. 2017.
11. Хайруллин А.И. Нейросетевые методы анализа технологических процессов. Казань: КГТУ, 2020. 150 с.
12. Ляпунов А.А., Колесников М.В. Планирование экспериментов в машиностроении и обработке металлов. СПб.: Политехнический университет, 2015. 220 с.
13. Кузнецов В.В. Процессы деформирования при поперечно-клиновой прокатке // Известия вузов. Технология машиностроения. 2015.

## 1.2.2.

**П.В. Антонова, Р.М. Гиздатуллин, А.С. Титовцев, М.В. Казаков**

Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
кафедра интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами,  
Казань, valerevna.p@inbox.ru

**РАЗРАБОТКА МЕТАМОДЕЛИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНСАМБЛЕВЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

*В настоящей статье рассматривается проблема повышения эффективности анализа систем массового обслуживания, характеризующихся сложной структурой входных и выходных параметров. Основной целью исследования является разработка метамодели, базирующейся на ансамблевых методах машинного обучения, в числе которых используются алгоритмы Gradient Boosting, AdaBoost и StackingRegressor. Применение предложенного подхода позволяет заменить вычислительно затратные имитационные эксперименты на быстрое прогнозирование ключевых характеристик системы.*

Ключевые слова: *система массового обслуживания, метамодель, машинное обучение, показатели производительности.*

Одним из перспективных направлений применения методов машинного обучения в анализе систем массового обслуживания является построение аппроксимирующей метамодели, способной оценивать производственные характеристики системы на основе её входных параметров, таких как интенсивность входного потока заявок, число фаз обслуживания, ограничения времени ожидания и прочие параметры.

В рамках настоящего исследования предложена новая методика построения метамодели для оценки ключевых показателей системы массового обслуживания. Для решения поставленной задачи использованы ансамблевые методы машинного обучения, в частности алгоритмы Gradient Boosting, AdaBoost и StackingRegressor. Обучающая выборка генерировалась с учетом вероятностной природы процессов, протекающих в системе, где входные параметры — интенсивность входного потока заявок (с использованием пуассоновского распределения), число фаз обслуживания и ограничение по времени ожидания — варьировались в заранее определенных диапазонах.

Основная идея подхода заключается в том, что вместо многократного проведения вычислительно затратных имитационных экспериментов для каждого набора параметров системы можно один раз сформировать репрезентативную обучающую выборку, отражающую поведение системы при различных конфигурациях. На основе этих данных с применением методов машинного обучения создается метамодель, функционирующая в роли суррогатной функции, которая по заданным значениям входных параметров позволяет оперативно получить оценку ключевых характеристик, таких как среднее время ожидания и длина очереди, с приемлемой степенью точности.

Применение данного подхода способствует ускорению процесса анализа, поскольку разовые затраты на формирование обучающей выборки и построение модели компенсируются значительной экономией времени при последующих расчетах. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность оперативного изменения параметров системы и получения оценок её производительности без необходимости проведения длительных имитационных экспериментов для каждого отдельного случая. Таким образом, предложенная метамодель облегчает проведение параметрической оптимизации, повышает эффективность исследований и позволяет более гибко реагировать на изменения условий эксплуатации системы.

### Аналитический подход

Рассмотрим модель открытой одноканальной системы массового обслуживания (СМО) с многофазовым обслуживанием и ограничениями по времени ожидания. Пусть входные параметры модели:

- $\lambda$  – интенсивность входного пуассоновского потока заявок;
- $r$  – число фаз обслуживания (целочисленный параметр);
- $\theta$  – параметр, связанный с ограничением по времени ожидания

На выходе рассматривались характеристики системы, такие как:

- $Q$  – среднее число заявок в очереди;
- $W$  – среднее время ожидания;

Аналитическое решение для подобных СМО зачастую трудно получить в замкнутом виде [1, с. 1]. Вместо этого можно применить имитационное моделирование (например, с помощью AnyLogic [2, с. 489] или другой платформы). Предположим, что у нас есть процедура имитации, возвращающая оценки  $Q$ ,  $W$  и других характеристик для заданных  $\lambda$ ,  $r$ ,  $\theta$ .

**Цель:** построить метамодель  $\hat{f}$ , приближающую отображение:

$$(\lambda, r, \theta) \mapsto (Q, W)$$

**Для построения метамодели:**

1. **Определяется пространство параметров:**

$$\lambda \in [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}], r \in \{r_{\min}, \dots, r_{\max}\}, \theta \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$$

2. **Генерируется выборка точек:**

$$(\lambda_i, r_i, \theta_i), i = 1, 2, \dots, N$$

покрывающую данный диапазон параметров.

3. **Для каждой точки проводится имитационное моделирование с последующим получением оценки характеристик системы:**

$$(Q_i, W_i, \dots)$$

Это формирует обучающую выборку.

4. **Применяются методы машинного обучения** (например, случайный лес или градиентный бустинг) с целью обучения модели (ансамбля моделей):

$$\hat{f}: (\lambda, r, \theta) \rightarrow (\hat{Q}, \hat{W}, \dots)$$

После обучения метамодель  $\hat{f}$  позволяет по заданным  $\lambda$ ,  $r$ ,  $\theta$  мгновенно оценивать ключевые показатели без проведения имитационного моделирования. Таким образом, метамодель аппроксимирует многомерное отображение, снижает вычислительные затраты и упрощает выполнение оптимизационных или сценарных анализов.

Рассмотрим процесс построения метамодели для открытой одноканальной системы массового обслуживания (СМО) с многофазным обслуживанием и ограничениями по времени ожидания. Метамодель будет аппроксимировать зависимость выходных характеристик системы ( $Q$  и  $W$ ) от входных параметров ( $\lambda$ ,  $r$ ,  $\theta$ ) с использованием ансамблевых методов машинного обучения, таких как Градиентный бустинг и AdaBoost.

Ансамблевые методы машинного обучения комбинируют несколько базовых моделей для улучшения общей производительности и устойчивости к переобучению. В данном разделе рассматриваются три подхода: Градиентный бустинг, AdaBoost и Стэкинг-регрессор.

AdaBoost (Adaptive Boosting) — это ансамблевый метод, который комбинирует слабые модели (например, деревья решений) для создания сильной модели [1, с. 1]. AdaBoost применялся для предсказания среднего времени ожидания ( $W$ ).

StackingRegressor представляет собой ансамблевый метод [3, с. 20], который объединяет несколько базовых моделей [4, с. 112] для создания более мощной финальной модели. В качестве финальной модели часто используется простая модель, такая как линейная регрессия, которая комбинирует предсказания базовых моделей.

После обучения и оценки метамодели можно использовать ее для предсказания характеристик системы на новых наборах входных параметров без необходимости запуска имитационных экспериментов. Это существенно ускоряет процесс анализа и позволяет оперативно получать оценки производительности системы.

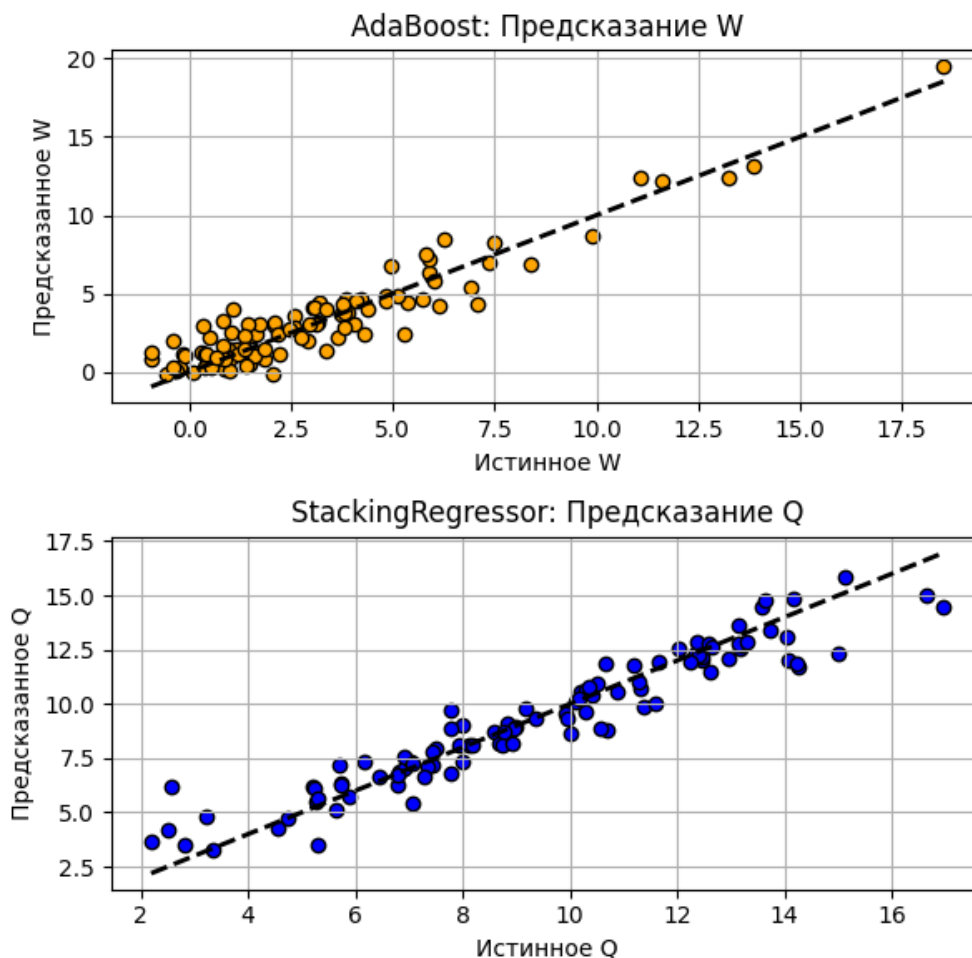


Рис. 1 - Результаты предсказаний для характеристик системы массового обслуживания с использованием трех ансамблевых методов: AdaBoost, и StackingRegressor

Графики на рисунке 1 показывают, что ансамблевые методы (AdaBoost, и StackingRegressor) продемонстрировали высокую точность при предсказании ключевых характеристик системы. Модели достаточно устойчивы, а ошибки распределены равномерно.

Для исследования использовался метод случайной генерации данных с заданными диапазонами параметров. Входные параметры включали интенсивность входного потока, число фаз обслуживания и ограничения по времени ожидания. Значения интенсивности входного потока варьировались от минимального до максимального уровня, число фаз обслуживания принимало дискретные значения в определённом диапазоне, а параметр ограничения по времени ожидания был задан в виде непрерывного интервала. Для каждой комбинации входных параметров вычислялись целевые переменные, такие как среднее число заявок в очереди и среднее время ожидания.

На основе полученной выборки проводилось обучение ансамблевых моделей машинного обучения. В эксперименте использовались три метода: AdaBoost, Gradient Boosting и StackingRegressor. Для каждого метода осуществлялся подбор оптимальных гиперпараметров.

Для оценки производительности обученных моделей применялись метрики качества на тестовой выборке. В качестве основных показателей использовались среднеквадратическая ошибка и коэффициент детерминации, позволяющий оценить долю объяснённой дисперсии.

Таким образом, в рамках исследования была разработана метамодель системы массового обслуживания на основе ансамблевых методов машинного обучения, которая позволяет оперативно оценивать производственные характеристики системы (среднее время ожидания, длину очереди и т. д.) по заданным входным параметрам. Для обучения метамодели сформирована выборка из 5000 примеров.

Практическая значимость предложенной методики заключается в возможности оперативного изменения параметров системы массового обслуживания и быстрого получения точечных оценок её характеристик, что существенно упрощает проведение оптимизационных расчетов и сценарных анализов в условиях динамичной эксплуатации.

#### **Список литературы**

1. Кирпичников А.П., Титовцев А.С. Системы обслуживания с неоднородным входным потоком требований, отказами и очередью // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №5.
2. Сажина Ю.В., Свиридова А.С. Имитационное моделирование при проектировании распределенных интеллектуальных систем // Теория и практика современной науки. – 2018. – №. 2 (32). – С. 481-492.
3. Srivastava D.M. et al. Hybrid Ensemble Learning Framework: Predicting Mutual Fund Prices in India with Machine Learning Models. - 2023 (preprint)
4. Кувайскова Ю.Е. Применение ансамблевых методов машинного обучения для прогнозирования технического состояния объекта // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – №. 1. – С. 111-114.

1.2.2.

<sup>1</sup>Д.Л. Карелин д-р техн. наук, <sup>1</sup>А.В. Болдырев канд. техн. наук,  
<sup>1</sup>С.В. Болдырев канд. техн. наук, <sup>2</sup>И.Ф. Гумеров канд. техн. наук, <sup>2</sup>Л.И. Фардеев

<sup>1</sup>Набережночелнинский институт (филиал)  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
Высшая техническая школа,  
кафедра «Высокоэнергетические процессы и агрегаты»,  
Набережные Челны, karelindl@mail.ru,  
<sup>2</sup>НТЦ ПАО «КАМАЗ»,  
Набережные Челны

## **АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ВОДОРОДНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*В статье приводится результат численного моделирования и оценка теплового и мощностного балансов энергетической системы с водородным топливным элементом (ТЭ) при режимах движения магистрального грузовика разрешённой массой 44000 кг по заданному маршруту. Определена средняя мощность 200 кВт, затрачиваемая грузовиком на маршруте. Получены характеристики электрохимического генератора с ТЭ на основе баланса средней затраченной грузовиком мощности, затрат энергии на работу компрессора, насоса охлаждающей жидкости и климатической системы, а также теплоты, выделяемой в процессе его работы в номинальном режиме и режиме максимальной мощности.*

Ключевые слова: электрохимический генератор, водородный топливный элемент, транспортное средство, компрессор, тепловой баланс.

**Введение.** Процесс совершенствования энергетических установок транспортных средств (ТС) непрерывно движется в направлении повышения их эффективности и экологической безопасности. Одним из таких направлений является использование перспективных энергетических систем с топливным элементом (ЭСТЭ) с протонообменной мембраной, в котором в качестве топлива используется водород. Такая ЭСТЭ имеет ряд преимуществ в виде низкой рабочей температуры, возможности достижения высокой эффективности преобразования энергии (КПД) и реализации процессов рекуперации и последующей регенерации кинетической энергии ТС при меняющейся динамике его движения. Топливный элемент ЭСТЭ позволяет вырабатывать достаточную мощность (30–150 кВт) при относительно низкой рабочей температуре процесса, имеет низкий уровень вредных выбросов, что позволяет использовать его в ТС с низким уровнем выбросов в будущем [1].

Несмотря на более высокий КПД, чем у двигателей внутреннего сгорания, отвод тепла от ТЭ остается сложной задачей по причине более низких рабочих температур. При этом потери тепла с уходящими выхлопными газами в транспортных средствах с ЭСТЭ существенно снижаются.

Зависимость температуры в блоках ТЭ от изменения нагрузки велика, что оказывает негативное влияние на конструкцию в целом, вызывая термические напряжения и ухудшая рабочие характеристик электрохимического генератора (ЭХГ). В связи с тем, что более 95% генерируемого отработанного тепла должно быть унесено теплоносителем для поддержания рабочей температуры ТЭ, внутренний тепловой баланс ТЭ играет ключевую роль в оптимизации рабочих процессов, срока эксплуатации ТЭ и вопросах его безопасности. Таким образом, определение эффективных режимов работы ЭХГ с ТЭ при высоких значениях КПД является одной из ключевых проблематик для перспективных ТС [2, 3].

В данной работе представлена математическая модель процессов в ЭХГ с ТЭ для автомобильных транспортных средств и их системы охлаждения на примере магистрального грузовика. Модель включает в себя уравнения поляризационной характеристики и интерполяционные показательные функции, описывающие физико- и электрохимические процессы в ТЭ, а также уравнения теплофизических процессов в компрессоре подачи воздуха. Модель позволяет оценить требуемую производительность систем охлаждения блока топливных элементов и сжатого воздуха на всех нагрузочных режимах работы.

**Модель определения средней мощности транспортного средства.** По данным телеметрии ТС выполнен расчет значений функции  $N(t)$  изменения мгновенной потребляемой мощности ТС от времени, кВт [4]:

$$N(t) = \frac{G \cdot \vartheta(t) \cdot (\psi_v \cos \alpha(t) + \sin \alpha(t)) + k_b \cdot F_{TC} \cdot \vartheta^3(t) + \delta_a \cdot m_{TC} \cdot a_{TC}(t) \cdot \vartheta(t)}{1000 \cdot \eta_t}, \quad (1)$$

где  $G$  – вес транспортного средства, Н;

$\vartheta(t)$  – функция изменения скорости ТС, м/с;

$\psi_v$  – суммарный коэффициент сопротивления дороги при движении ТС;

$\alpha(t)$  – функция изменения угла уклона дороги, град.;

$k_b$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;

$F_{TC}$  – площадь лобовой поверхности ТС, м<sup>2</sup>;

$\delta_a$  – коэффициент учета вращающихся масс ТС;

$m_{TC}$  – масса транспортного средства, кг;

$a_{TC}(t)$  – функция изменения ускорения ТС, м/с<sup>2</sup>;

$\eta_t$  – коэффициент эффективности работы трансмиссии ТС, учитывающий КПД тягового электродвигателя, трансмиссии, а также DC/DC- и DC/AC-преобразователей в зависимости от схемного решения на режимах рекуперации и расходования энергии перезаряжаемой энергоаккумулирующей системы при торможении и движении ТС.

Значения средней затраченной мощности, кВт, определены путем приведения энергии, затраченной ТС на прохождение всего маршрута, ко времени прохождения ТС этого маршрута  $T$ , с, путем использованием следующей интегральной функции:

$$N_{TC\_cp} = \frac{1}{T} \cdot \int_T N(t) dt. \quad (2)$$

**Электрохимическая модель ячейки водородного топливного элемента.** Зависимость давления насыщенного пара воды, Па, от температуры определена следующей функцией [5]:

$$P_H = 1 \text{ атм} \cdot 10^{-2.18 + 2.95 \cdot 10^{-2} K^{-1} \cdot T - 9.19 \cdot 10^{-5} K^{-2} \cdot T^2 + 1.44 \cdot 10^{-7} K^{-3} \cdot T^3}, \quad (3)$$

где  $T$  – температура воды в топливном элементе, К.

Содержание воды в ТЭ с учетом относительной влажности вычислено с учетом средней относительной влажности  $\varphi_m$  протонообменной мембраны из следующей системы уравнений [6, 7]:

$$\lambda = \begin{cases} 0.043 + 17.81 \cdot \varphi_m - 39.85 \cdot \varphi_m^2 + 36 \cdot \varphi_m^3, & \text{при } 0 < \varphi_m \leq 1 \\ 14 + 1.4 \cdot (\varphi_m - 1), & \text{при } 1 < \varphi_m \leq 3 \end{cases}. \quad (4)$$

Напряжение разомкнутой цепи, В, выраженное как функция рабочей температуры ТЭ  $T_{TЭ}$ , К, парциальных давлений водорода  $P_{H_2}$ , Па, в аноде и кислорода  $P_{O_2}$ , Па, в катоде топливного элемента, рассчитано на основе известного уравнения Нернста, устанавливающего энергетический баланс между реагентами, продуктами реакции и постоянной Фарадея [8] (при давлении водяного пара, равном атмосферному давлению  $P_{H_2O} = P_0 = 100000 \text{ Па}$ ):

$$E = 1.229 - \frac{8.5}{10^4} \cdot (T_{\text{ТЭ}} - 298.15) + \frac{4.3085}{10^5} \cdot T_{\text{ТЭ}} \cdot \ln \left( \frac{\frac{P_{\text{H}_2}}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{O}_2}}{P_0}}}{\frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_0}} \right). \quad (5)$$

Активационные потери напряжения в ТЭ, В, возникающие из-за необходимости перемещения электронов, разрыва и образования химических связей на аноде и катоде [9], описанные уравнением Тафеля, аппроксимированы зависимостью (6):

$$U_{\text{акт}} = U_0 + (U_{\text{a1}} + U_{\text{a2}} + U_{\text{a3}}) \cdot \left( 1 - \exp \left( -C_1 \cdot \frac{I_{\text{яч}}}{A_{\text{ТЭ}}} \right) \right), \quad (6)$$

где  $U_0$ ,  $U_{\text{a1}}$ ,  $U_{\text{a2}}$  и  $U_{\text{a3}}$  – коэффициенты, зависящие от давления воздуха в катоде ТЭ,  $P_{\text{кат}}$ , Па, от температуры и давления насыщенного пара воды:

$$\begin{cases} U_0 = 0.279 - 8.5 \cdot 10^{-4} \cdot (T_{\text{ТЭ}} - 298.15) + 4.3085 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{ТЭ}} \times \\ \times \ln \left( \frac{P_{\text{кат}} - P_{\text{н}}}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{0.1173 \cdot (P_{\text{кат}} - P_{\text{н}})}{P_0}} \right) \\ U_{\text{a1}} = (-0.00001618 \cdot T_{\text{ТЭ}} + 0.01618) \cdot \left( \frac{P_{\text{O}_2}}{0.1173} + P_{\text{н}} \right)^2 \\ U_{\text{a2}} = (-0.00018 \cdot T_{\text{ТЭ}} + 0.166) \cdot \left( \frac{P_{\text{O}_2}}{0.1173} + P_{\text{н}} \right) \\ U_{\text{a3}} = (-0.00058 \cdot T_{\text{ТЭ}} + 0.5736) \end{cases}. \quad (7)$$

Омические потери напряжения в ТЭ, В, пропорциональны толщине мембраны  $\tau_{\text{м}}$ , м, и силе тока  $I_{\text{яч}}$ , А, и обратно пропорциональны активной площади ячейки ТЭ  $A_{\text{ТЭ}}$ , м<sup>2</sup>, и протонной проводимости мембраны  $\sigma_{\text{м}}$ , (Ом·см)<sup>-1</sup> [6, 7]:

$$U_{\text{ом}} = \frac{I_{\text{яч}}}{A_{\text{ТЭ}}} \cdot \frac{\tau_{\text{м}}}{\sigma_{\text{м}}}, \quad (8)$$

$$\sigma_{\text{м}} = (0.005139 \cdot \lambda - 0.00326) \cdot \exp \left( 350 \cdot \left( \frac{1}{303} - \frac{1}{T_{\text{ТЭ}}} \right) \right). \quad (9)$$

Концентрационные потери напряжения в ТЭ, В, являются результатом снижения концентрации реагента по причинам высокого расхода и повышения затрат энергии на его компенсацию. Уравнение, аппроксимирующее концентрационные потери с учетом максимальной плотности тока  $i_{\text{max}}$ , А/м<sup>2</sup>, имеет следующий вид [10]:

$$U_{\text{конц}} = \frac{I_{\text{яч}}}{A_{\text{ТЭ}}} \cdot 10^{-4} \cdot \left( C \cdot \frac{I_{\text{яч}}}{A_{\text{ТЭ}} \cdot i_{\text{max}}} \right)^2, \quad (10)$$

где  $C$  – константа, зависящая от температуры ТЭ и парциального давления кислорода в катоде ТЭ, и определяемая, согласно следующим условиям:

$$C = \begin{cases} (7.16 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\text{ТЭ}} - 0.622) \cdot b + (-1.45 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{ТЭ}} + 1.68), & \text{при } b < 2 \text{ атм} \\ (8.66 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{ТЭ}} - 0.068) \cdot b + (-1.6 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\text{ТЭ}} + 0.54), & \text{при } b \geq 2 \text{ атм} \end{cases} \quad (11)$$

где  $b$  – критерий по давлению, Па, рассчитываемый по формуле:  $(P_{\text{O}_2}/0.1173) + P_{\text{н}}$ .

Таким образом, электрическое напряжение ТЭ, В, получаемое с одной ячейки, с учетом уравнений (5), (6), (8) и (10) определено как функция силы тока  $U_{ТЭ} = f(I_{яч})$  в виде уравнения (12):

$$U_{ТЭ}(I_{яч}) = E(I_{яч}) - U_{акт}(I_{яч}) - U_{ом}(I_{яч}) - U_{конц}(I_{яч}) \quad (12)$$

**Модель компрессора.** Прежде чем попасть в катод ТЭ, воздух сжимается компрессором до значений рабочего давления  $P_{кат}$ . Удельная работа сжатия воздуха компрессором, Дж/кг, определена уравнением (13):

$$l_a = P_0 \cdot \nu_0 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left[ \left( \frac{P_{кат}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right], \quad (13)$$

где  $\nu_0$  – удельный объем атмосферного воздуха, м<sup>3</sup>/кг;

$k$  – коэффициент адиабаты, равный для воздуха 1.4.

Потребляемая электродвигателем компрессора мощность  $N_{ЭД\_сис}^{ср}$ , пропорциональная средней мощности, затраченной на движение ТС, собственные нужды и потребителей (работу климатической системы и насоса охлаждения ТЭ), кВт, а также мощность электродвигателя  $N_{ЭД\_ком}$ , затраченная на работу самого компрессора, при указанном энергопотреблении, кВт, определены соответственно:

$$N_{ЭД\_сис}^{ср} = \frac{l_a \cdot (N_{ТС\_ср} + N_{КС} + N_H) \cdot \lambda_{ком}}{\eta_{ком} \cdot \eta_{ЭД} \cdot (E_{O_2} \cdot y_{O_2\_кат})}, \quad (14)$$

$$N_{ЭД\_ком} = \frac{l_a \cdot N_{ЭД\_сис}^{ср} \cdot \lambda_{ком}}{\eta_{ком} \cdot \eta_{ЭД} \cdot (E_{O_2} \cdot y_{O_2\_кат})}, \quad (15)$$

где  $N_{КС}$  – мощность, потребляемая климатической системой ТС, кВт;

$N_H$  – мощность, потребляемая насосом контура охлаждения ТЭ, кВт;

$\lambda_{ком}$  – избыток воздуха на катоде ТЭ, равный 2;

$\eta_{ком}$  – КПД компрессора;

$\eta_{ЭД}$  – КПД электродвигателя компрессора;

$E_{O_2}$  – энергия образования воды по кислороду, кДж/кг;

$y_{O_2\_ка}$  – мольная доля кислорода в воздухе, поступающем на катод ТЭ.

**Энергетический и тепловой баланс ЭХГ транспортного средства с водородным топливным элементом.** Полная мощность, вырабатываемая батареей топливных элементов, кВт, затрачивается на работу потребителей (климатической системы, насоса системы охлаждения и работу компрессора) и мощность, непосредственно затрачиваемую на движение ТС, которая определяется по уравнению баланса следующего вида (рис. 1):

$$N_{ЭХГ} = (U_{ТЭ} \cdot I_{яч}) \cdot n_{ТЭ} - (N_{ЭД\_сис}^{ср} + N_{ЭД\_ком}), \quad (16)$$

где  $n_{ТЭ}$  – количество ячеек топливных элементов в батарее.

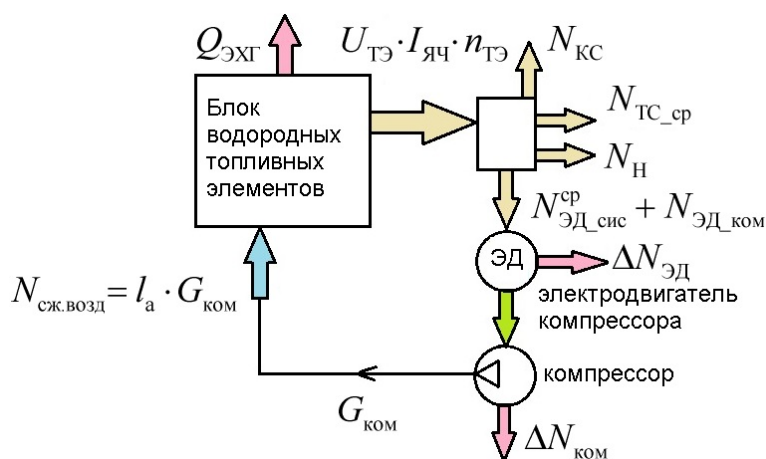


Рис. 1 – Схема энергетического баланса ЭХГ ТС с водородным ТЭ

Коэффициент полезного действия электрохимического генератора, представляющий собой отношение мощности идущей на движение ТС к теоретически возможной (при напряжении разомкнутой цепи (5)), рассчитывалось по соотношению (17):

$$\eta_{\text{ЭХГ}} = \frac{U_{\text{ТЭ}} - \frac{(N_{\text{ЭД\_сис}}^{\text{ср}} + N_{\text{ЭД\_ком}})}{I_{\text{яч}} \cdot n_{\text{ТЭ}}}}{E}. \quad (17)$$

Количество теплоты, выделяемое батареями ТЭ в процессе ее работы при средней мощности, потребляемой транспортным средством, кВт, рассчитывалось с помощью уравнений (18):

$$\begin{cases} N_{\text{сум}} = N_{\text{ТС\_ср}} + N_{\text{КС}} + N_{\text{Н}} + N_{\text{ЭД\_сис}}^{\text{ср}} + N_{\text{ЭД\_ком}} \\ Q_{\text{ЭХГ}} = N_{\text{сум}} - N_{\text{сум}} \cdot \eta_{\text{ЭХГ}} \end{cases} \quad (18)$$

**Тепловой расчет системы охлаждения воздуха, нагнетаемого компрессором в батарею топливных элементов.** После сжатия в компрессоре температура воздуха повышается до значений, существенно превышающих рабочие для ТЭ протонообменной мембраной. Горячий воздух, поступающий непосредственно в батарею, может привести к снижению ее производительности или даже к повреждению протонообменной мембраны.

Количество теплоты, которое необходимо отвести от сжатого воздуха в зависимости от производительности компрессора, определено уравнением:

$$Q_{\text{в}} = C p_{\text{в}} \cdot G_{\text{ком}} \cdot (T_{\text{в}}'' - T_{\text{ТЭ}}), \quad (19)$$

где  $C p_{\text{в}}$  – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг·К);

$G_{\text{ком}}$  – массовый расход воздуха, нагнетаемого компрессором, кг/с;

$T_{\text{в}}''$  – температура воздуха на выходе из компрессора после сжатия, К, вычисляемая из уравнения адиабатного процесса (20):

$$T_{\text{в}}'' = T_{\text{в}}' + \frac{T_{\text{в}}'}{\eta_{\text{ком}}} \cdot \left[ \left( \frac{P_{\text{кат}}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]. \quad (20)$$

где  $T_{\text{в}}'$  – температура воздуха на входе в компрессор, К (принималась равной температуре окружающей среды).

**Принятые условия и допущения.** Моделирование процессов в ЭХГ с водородным топливным элементом производилось с учетом условия, что значение средней затрачиваемой мощности ТС, полученное путем анализа телеметрии по формуле (2), должно находиться в пределах зоны высоких значений КПД (0.58-0.62) при следующих технических

характеристиках:

- активная площадь каждой ячейки ТЭ 0.06 м<sup>2</sup>;
- толщина мембраны 0.012 мм;
- максимальная плотность тока 1.0 А/см<sup>2</sup>;
- рабочая температура ТЭ 80°C;
- избыточное давление воздуха в катоде ТЭ 0.16 МПа;
- избыточное давление водорода, поступающего в анод ТЭ 0.162 МПа;
- избыток воздуха на катоде ТЭ 2.0.

Рабочая температура протекания электрохимических процессов распределена равномерно по всей ячейке. Давления окислителя и реагента постоянны по всей площади в пределах каждой ячейки. Влажность водорода на аноде распределена равномерно по ячейке и составляет 100%. Проводимость мембраны постоянная по всей площади.

**Результаты и обсуждение.** Значения энергетических параметров: мощности  $N_{\text{ЭХГ}}$ , потребляемой ТС от ЭХГ, коэффициента полезного действия ЭХГ  $\eta_{\text{ЭХГ}}$ , количества тепла  $Q_{\text{ЭХГ}}$ , выделяемого ЭХГ в процессе работы топливного элемента, представлены (рис. 2) как функции плотности тока (силы тока с единицы площади ячейки ТЭ):  $N_{\text{ЭХГ}} = f(i)$ ,  $\eta_{\text{ЭХГ}} = f(i)$ ,  $Q_{\text{ЭХГ}} = f(i)$ . Значение количества избыточной теплоты, отводимой системой охлаждения воздуха, представлено (рис. 3) в виде функции массового расхода воздуха, нагнетаемого компрессором:  $Q_{\text{в}} = f(G_{\text{ком}})$ .

Из рисунка 4 видно, что для магистрального грузовика разрешённой массой 44000 кг средняя мощность, затрачиваемая на движение ТС со средней скоростью 76 км/ч, составляет 200 кВт. С учетом мощности, затраченной на работу потребителей – климатической системы 6.5 кВт, циркуляционного насоса контура охлаждения ТЭ 3 кВт и электродвигателя компрессора 5.48 кВт (рассчитанных по зависимостям (14) и (15)), суммарная мощность  $N_{\text{ЭХГ}}$  составила 215.34 кВт при КПД энергетической установки 0.59 и плотности тока  $i = 0.716$  А/см<sup>2</sup> (рис. 2).

При заданных технических параметрах, количество теплоты, отводимое от батареи топливных элементов системой охлаждения и вместе с водяным паром, как продуктом электрохимической реакции, составило 88.43 кВт. На определённых режимах эксплуатации ТС, энергетическая установка позволяет достигать пиковой мощности до 265 кВт при значениях КПД ЭХГ 0.47 и плотности тока  $i = 1.09$  А/см<sup>2</sup>, а количество теплоты, отводимое от батареи топливных элементов 114.2 кВт.

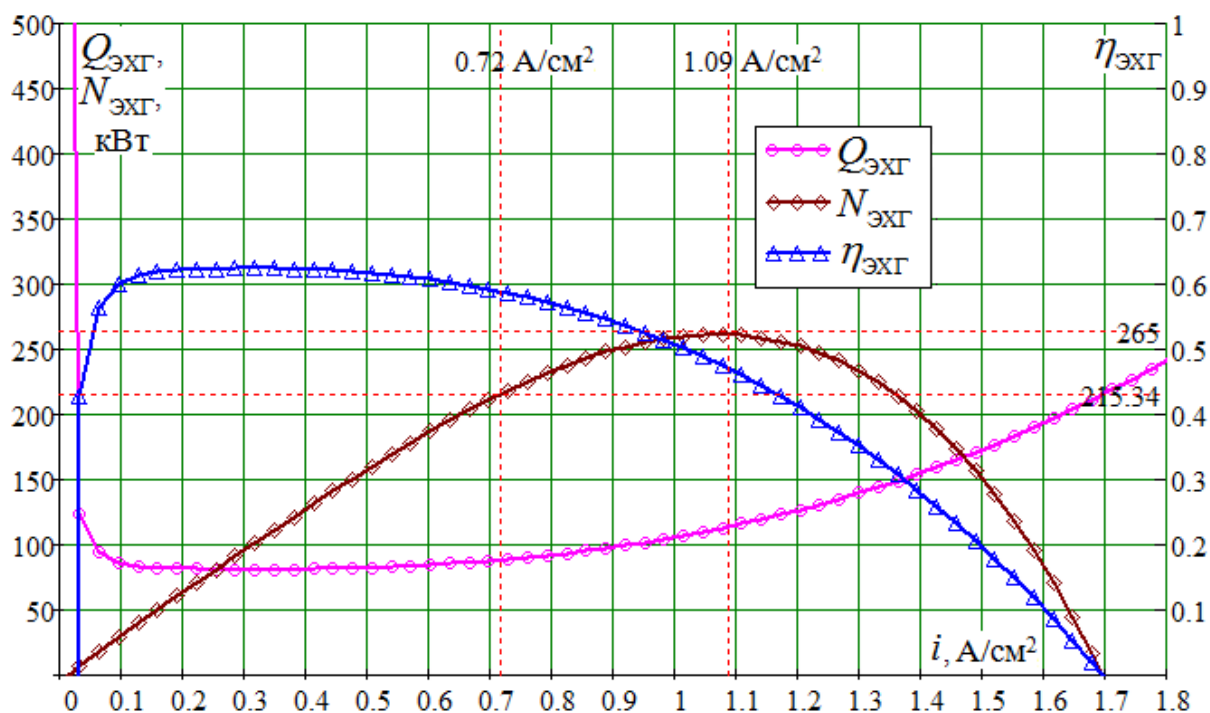


Рис. 2 – Энергетические и тепловая характеристики ЭХГ

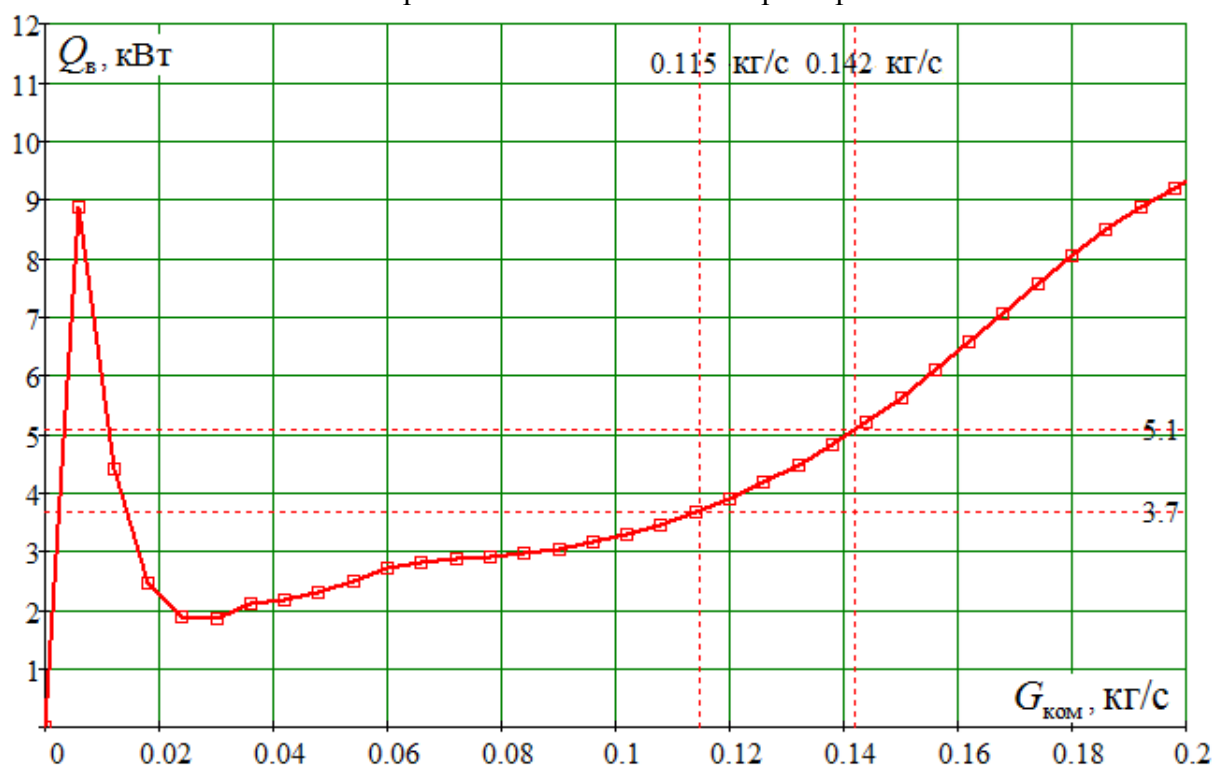


Рис. 3 – Количество теплоты отводимое системой охлаждения воздуха

Количество теплоты, которое необходимо отводить системой охлаждения сжатого воздуха при поддержании постоянного значения давления в катоде ТЭ, согласно формулам (19) и (20), в основном зависит от коэффициента полезного действия компрессора, который при небольших подачах имеет низкие значения. С этим связано существенное повышение количества отводимой теплоты в области небольшой подачи компрессора (рис. 3).

Результат расчета показал, что при средней мощности 215.34 кВт, потребляемой ТС, массовый расход сжатого воздуха составляет 0.115 кг/с, а тепловая нагрузка на систему охлаждения сжатого воздуха составит 3.7 кВт. А при максимальной потребляемой ТС мощности энергетической установки в 265 кВт и расходе сжатого воздуха 0.142 кг/с, тепловая нагрузка повышается до 5.1 кВт.

**Закключение.** В работе представлена модель электрохимического генератора с водородным топливным элементом и результаты моделирования для грузовика разрешённой массой 44000 кг. Определена рабочая зона режимов ЭХГ, в которой КПД ЭХГ выше, чем у современных двигателей внутреннего сгорания (выше 0.55). Причем существует возможность, при вполне определенных технических и рабочих параметрах работы ЭХГ, расположить значение средней потребляемой мощности ТС в границах данной зоны.

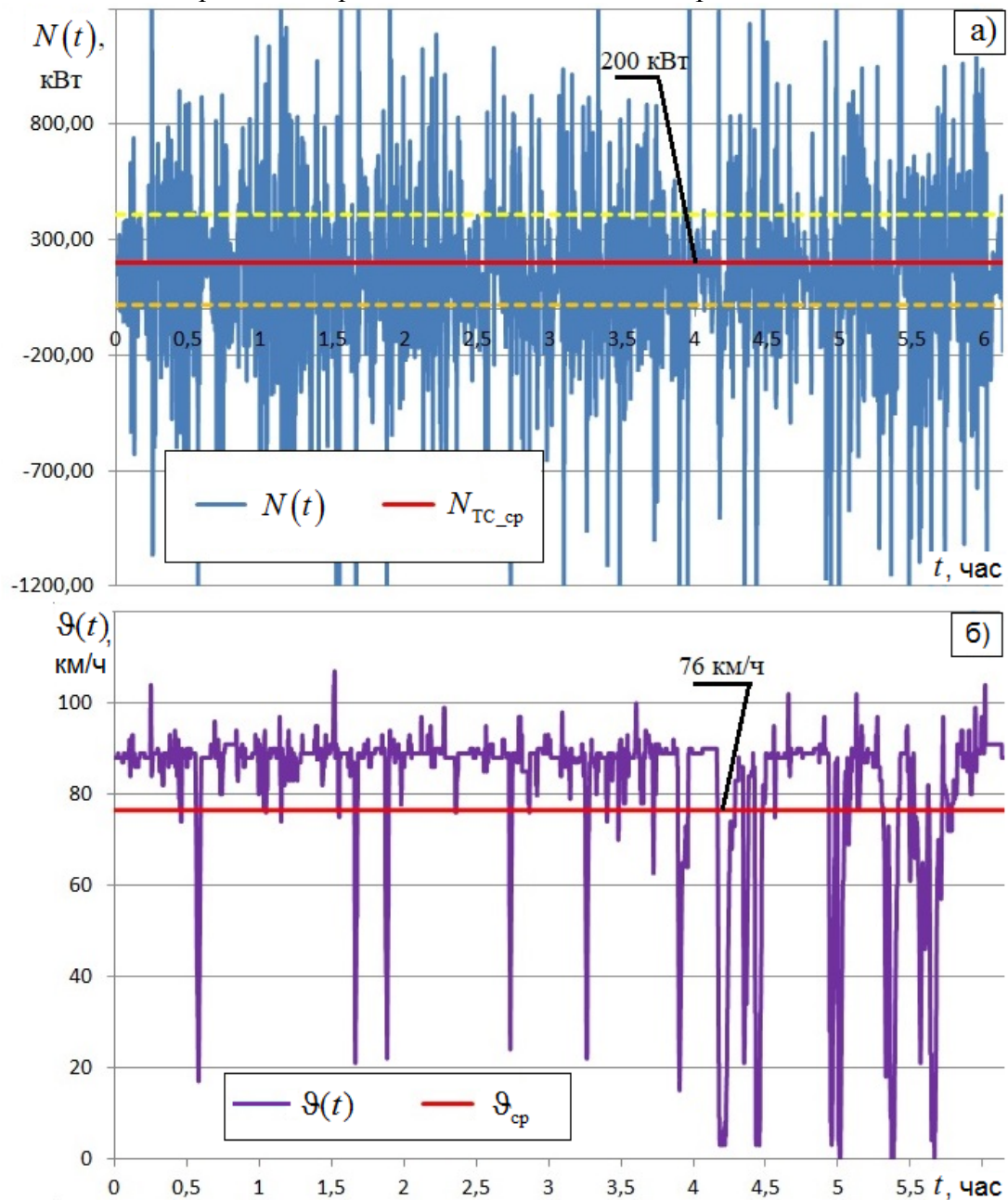


Рис. 4 – Результат анализа данных телеметрии:

а – определение средней мощности  $N_{TC\_cp}$ ; б – определение средней скорости  $9_{cp}$

С учетом невысокой эффективности работы компрессора в области малых подач, попадающих в рабочую зону высокого КПД ЭХГ, имеет место рекомендация по использованию пары параллельно установленных компрессоров.

Невысокое значение рабочих температур топливных элементов (в настоящей работе принято  $80^{\circ}\text{C}$ ) существенно уменьшает температурный напор с окружающей средой, что с учетом больших тепловых нагрузок на систему охлаждения 92.13 кВт и 119.3 кВт соответственно при средней и максимальной мощности ЭХГ потребует более основательной ее проработки.

**Список литературы**

1. Wang Y., Seo B.J., Wang B., Zamel N., Jiao K., Adroher X.C. Fundamentals, materials, and machine learning of polymer electrolyte membrane fuel cell technology // *Energy and AI*. 2020. Vol. 1. Article number 100014.
2. Gao J., Li M., Hu Y., Chen H., Ma Y. Challenges and developments of automotive fuel cell hybrid power system and control // *Science China Information Sciences*. 2019. Vol. 62. Article number 51201.
3. Chen Q., Zhang G., Zhang X., Sun C., Jiao K., Wang Y. Thermal management of polymer electrolyte membrane fuel cells: A review of cooling methods, material properties, and durability // *Applied Energy*. 2021. Vol. 286. Article number 116496.
4. Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Болдырев С.В., Гумеров И.Ф., Фардеев Л.И. Методика определения значений параметров водородной энергетической установки с топливным элементом по данным телеметрии транспортного средства // *Грузовик*. 2024. № 4. С. 3-8.
5. Rahman M.A., Mojica F., Sarker M., Abel Chuang P.-Y. Development of 1-D multiphysics PEMFC model with dry limiting current experimental validation // *Electrochimica Acta*. 2019. Vol. 320. Article number 134601.
6. Springer T.E., Zawodzinski T.A., Gottesfeld S. Polymer Electrolyte Fuel Cell Model // *Journal of Electrochemical Society*. 1991. Vol. 138. No. 8. Pp. 2334-2342.
7. Nguyen T.V., White R.E. A Water and Heat Management Model for Proton-Exchange-Membrane Fuel Cells // *Journal of Electrochemical Society*. 1993. Vol. 140. No. 8. Pp. 2178-2186.
8. Amphlett J.C., Baumert R.M., Mann R.F., Peppley B.A., Roberge P.R. Performance modeling of the Ballard Mark IV solid polymer electrolyte fuel cell // *Journal of Electrochemical Society*. 1995. Vol. 142. No. 1. Pp. 9-15.
9. Lee J.H., Lalk T.R., Appleby A.J. Modeling electrochemical performance in large scale proton exchange membrane fuel cell stacks // *Journal of Power Sources*. 1998. Vol. 70. No. 2. Pp. 258-268.
10. Guzzella L. Control Oriented Modelling of Fuel-Cell Based Vehicles, Presentation in NSF Workshop on the Integration of Modeling and Control for Automotive Systems, 1999.

1.2.2.

**О.В. Мкртычев д-р техн. наук, Д.С. Сидоров канд. техн. наук, М.И. Апухтин**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),  
Москва, mkrtychev@yandex.ru dimacol@yandex.ru miapukhtin3@yandex.ru

### **УЧЕТ ПЕРЕГОРОДОК ПРИ РАСЧЕТЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*В данной работе исследуется влияние межквартирных перегородок на напряженно-деформированное состояние несущих железобетонных конструкций здания, их учет при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Цель исследования заключается в анализе того, как «включение» перегородок в работу каркаса меняет характер деформирования здания, а также в оценке их роли в обеспечении несущей способности конструкций. Актуальность данной темы обусловлена тем, что ненесущие конструкции могут влиять на устойчивость к прогрессирующему обрушению и перераспределение усилий. В ходе исследования были рассмотрены перегородки из разных материалов с разными физико-механическими свойствами. Эта статья будет полезна как для специалистов в области строительной механики, так и для инженеров-конструкторов и архитекторов, стремящихся спроектировать надежные и безопасные монолитные железобетонные здания.*

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, особое сочетание нагрузок, эксплуатационные нагрузки, предельное состояние, локальное разрушение.

#### **Введение**

Современные программные комплексы позволяют учитывать множество факторов при расчете и проектировании зданий. Одним из таких факторов является учет перегородок, которые могут повлиять на перераспределении усилий в конструкциях при аварийной ситуации.

В соответствии с СП 385.1325800.2018 при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению целесообразно учитывать включение в работу ненесущих конструкций, которые при нормальной эксплуатации не участвуют в общей работе несущего каркаса. Так, например, межквартирные перегородки жилых многоэтажных зданий, запроектированных из монолитных железобетонных конструкций, могут активно участвовать в перераспределении усилий в элементах конструктивной системы.

#### **Конструктивные особенности здания**

В качестве объекта исследования был рассмотрен каркас многоэтажного монолитного железобетонного здания. Конструктивная схема здания представляет собой монолитную железобетонную каркасно-стеновую систему с вертикальными железобетонными ядрами жесткости в виде лестничных и лифтовых узлов. Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой ядер жесткости и пилонов, объединенных монолитными плитами перекрытия, являющимися жесткими дисками перекрытий и контурными балками. Шаг вертикальных конструкций данного здания не превышает 5 м.

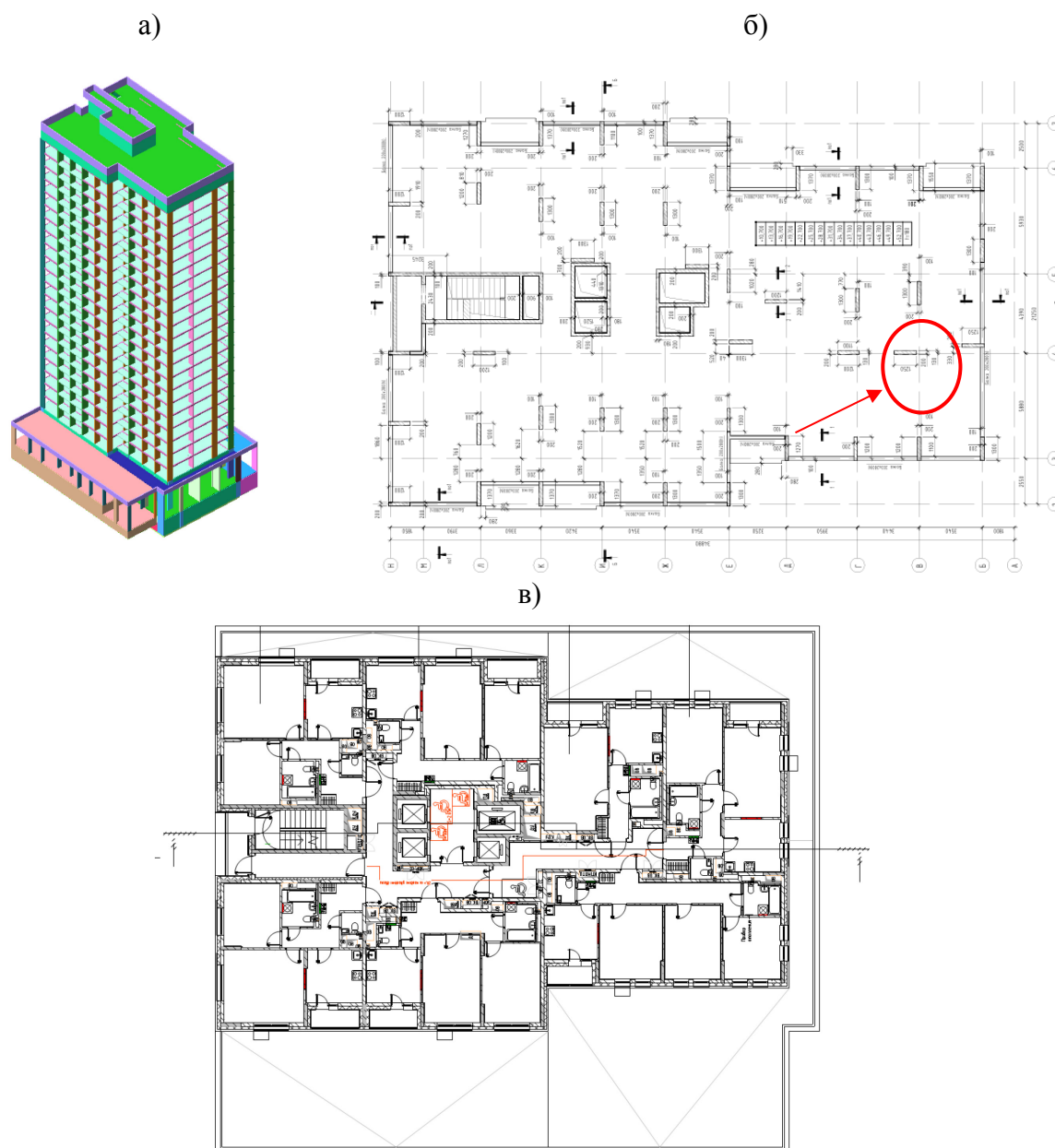


Рис. 1 – Объект исследования: а) – расчётная схема здания; б) – схема расположения конструкций на отметке +7,700 с указанием локального разрушения наиболее нагруженного пилона; в) – схема расположения перегородок на отметке +7,700.

#### Расчет здания на эксплуатационные нагрузки

Эталонные значения усилий, перемещений и размеров зон армирования приняты по результатам расчета на основное сочетание нагрузок (эксплуатационные нагрузки). Расчет на эксплуатационные нагрузки проводился по I и II группам предельных состояний. Коэффициенты надёжности по нагрузке и коэффициенты сочетаний приняты в соответствии с СП 20.13330.2016.

Результаты получены с использованием программного комплекса «ЛИРА-САПР». Произведен анализ деформированной схемы, полученных усилий, а также результатов армирования.

#### Расчет здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению

Для анализа влияния межквартирных перегородок были разработаны четыре расчетные схемы: одна без учета перегородок в составе каркаса и три с их учетом из различных материалов. Рассмотрены перегородки из газобетонных блоков марки D500 и D1100 толщиной 200 мм на кладочном растворе общего назначения по ГОСТу 31360-2024, керамического кирпича толщиной 250 мм марки M150 на цементно-известковом растворе

M50 и железобетона толщиной 160 мм класса B15. Опирающие перегородки на плиты перекрытий и их сопряжение с вертикальными несущими элементами каркаса принято шарнирным.

Для перегородок из газобетонного блока марки D500 соответствует бетон класса B1,5, а для D1100 B7,5 по СП 63.13330.2018. Модуль упругости и расчетные сопротивления перегородок в целом были определены в соответствии с СП 15.13330.2012.

При расчете здания в случае отказа несущих конструкций рассматривается особое предельное состояние. Расчет производится в статической постановке в соответствии с пунктом 8.1 СП 385.1325800.2018. Расчет по прочности и устойчивости производят на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее постоянные и длительные временные нагрузки, а также воздействие на конструкцию здания локальных гипотетических разрушений. Прочностные характеристики материалов принимаются равными их нормативным значениям.

При расчете здания рассматривался сценарий отказа самого нагруженного пилона по оси В/4.

#### **Анализ результатов расчетов без учета перегородок в составе каркаса**

По результатам проверки перемещений можно сказать, что прогиб плит перекрытий больше, чем стандартный зазор между перегородкой и самой плитой. Следовательно, жесткость перегородки можно учитывать в общей расчетной схеме при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

При проверке результатов внутренних усилий (рис. 2 а) и армирования (рис. 3 а) при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению видно, что армирования плиты перекрытия, принятого при расчете на эксплуатационные нагрузки, недостаточно в зоне, примыкающей к «выключаемому» пилону.

#### **Анализ результатов расчета с учетом перегородок из газобетонных блоков**

Данный вид перегородок не обладает достаточной несущей способностью и не оказывает положительного эффекта на работу каркаса при локальном разрушении рассматриваемого пилона.

#### **Анализ результатов расчета с учетом перегородок из керамического кирпича**

Поскольку расчет по прочности с учетом армирования сеткой с шагом 100 мм и диаметром стержней 6 мм в кирпичной кладке подтверждает способность перегородки воспринимать усилия, возникающие при рассматриваемой аварийной ситуации (рис. 4 в), данные перегородки могут быть учтены в общей работе несущего каркаса. Проверка по несущей способности на усилия, полученные из вторичной расчетной схемы.

При учете перегородок из кирпича, изгибающие моменты (рис. 2 в) и армирования (рис. 3 в) в плите перекрытия меняется по сравнению с ранее рассмотренными результатами, т.к. жесткость на сжатие и расчетное сопротивление каменной кладки из керамического кирпича марки M150 на растворе M50 значительно выше, чем у кладки из газобетонных блоков марки D1100 и D500. Зоны дополнительного армирования значительно уменьшились по сравнению с результатами расчета без учета влияния перегородок. Кирпичная перегородка при прогрессирующем обрушении начинает включаться в работу железобетонного каркаса и работать как дополнительная опора для плиты перекрытия.

#### **Анализ результатов расчета с учетом перегородок из железобетона**

При применении перегородок из железобетона, по сравнению с другими материалами уменьшаются зоны дополнительного армирования и расход стали (рис. 3 в).

Ненесущие конструкции начинают воспринимать усилия (рис. 4 в), которые раньше воспринимал пилон, в следствии чего перегородку из железобетона также, как и кирпичную следует проверять по прочности в соответствии с СП 15.13330.2012 при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

Ниже приведены результаты расчетов.

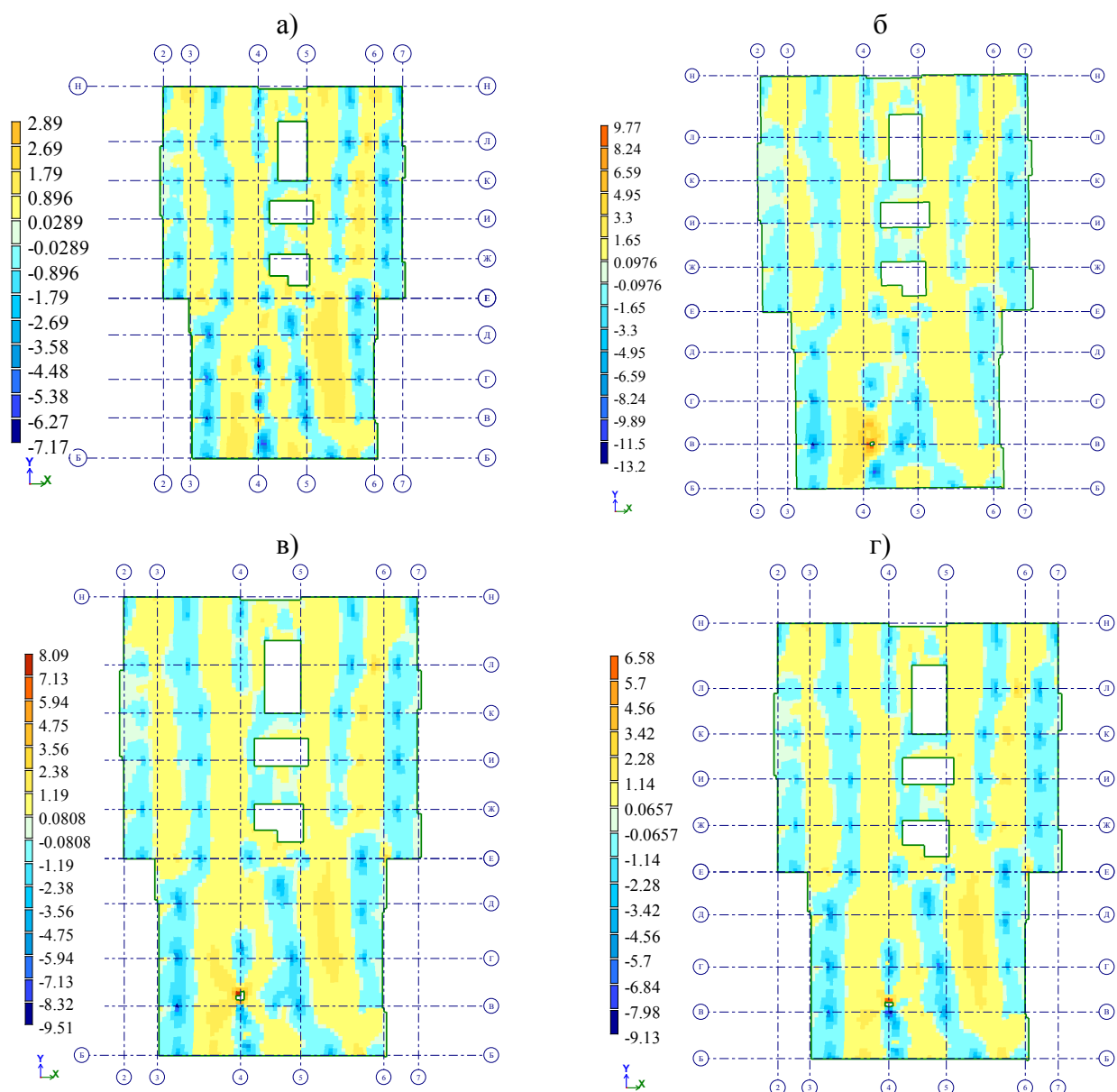


Рис. 2 – Изгибающие моменты  $M_x$ ,  $\text{тс} \cdot \text{м/м}$ : а)– эксплуатационные нагрузки; б) – при прогрессирующем обрушении без учета перегородок в составе каркаса; в) – при прогрессирующем обрушении с учетом перегородок из керамического кирпича марки М150 на цементно-известковом растворе М50; г) – при прогрессирующем обрушении с учетом перегородок из железобетона класса В15.

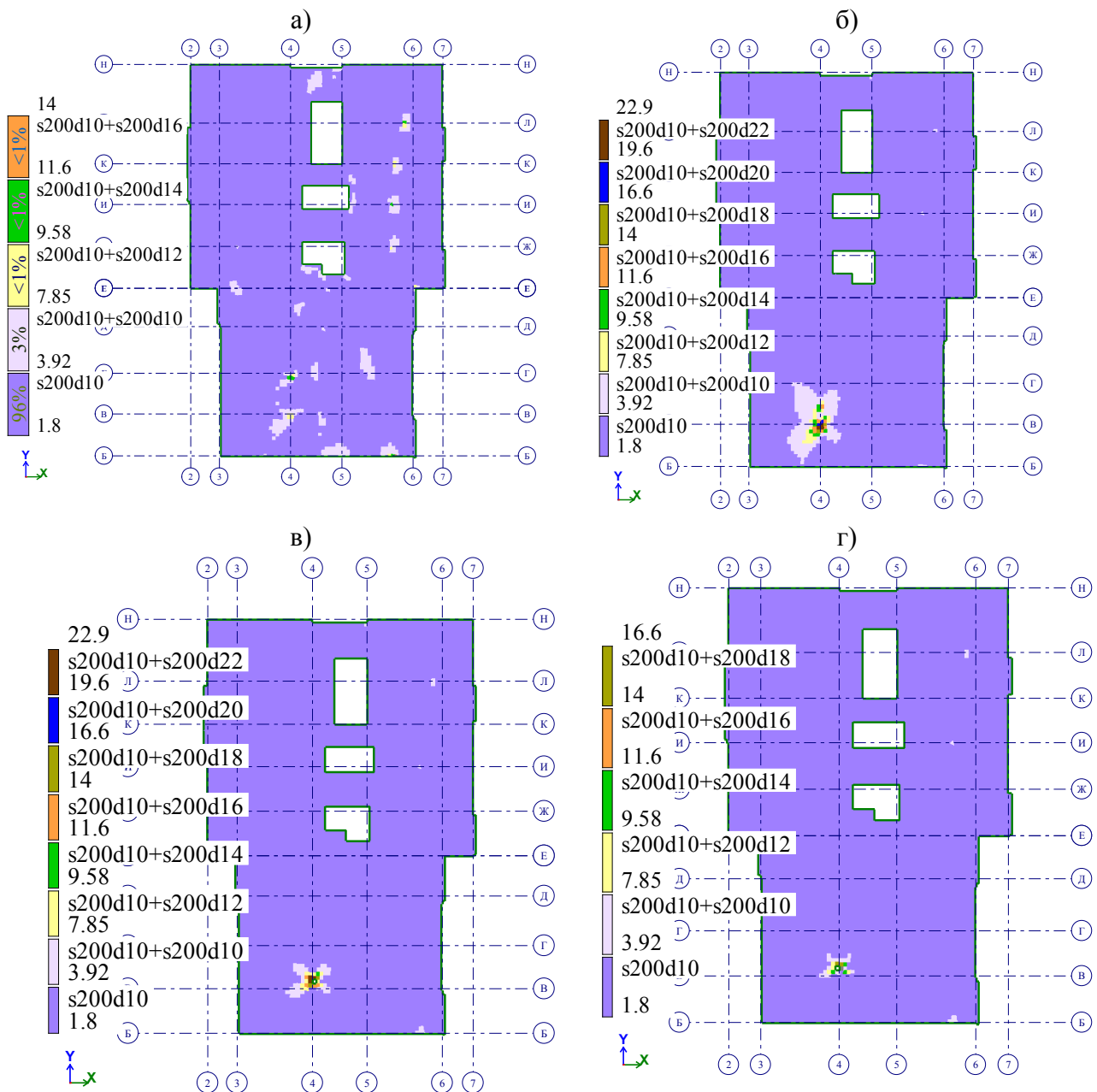


Рис. 3 – Нижнее армирование по оси X: а)– эксплуатационные нагрузки; б) – при прогрессирующем обрушении без учета перегородок в составе каркаса; в) – при прогрессирующем обрушении с учетом перегородок из керамического кирпича марки М150 на цементно-известковом растворе М50; г) – при прогрессирующем обрушении с учетом перегородок из железобетона класса В15.

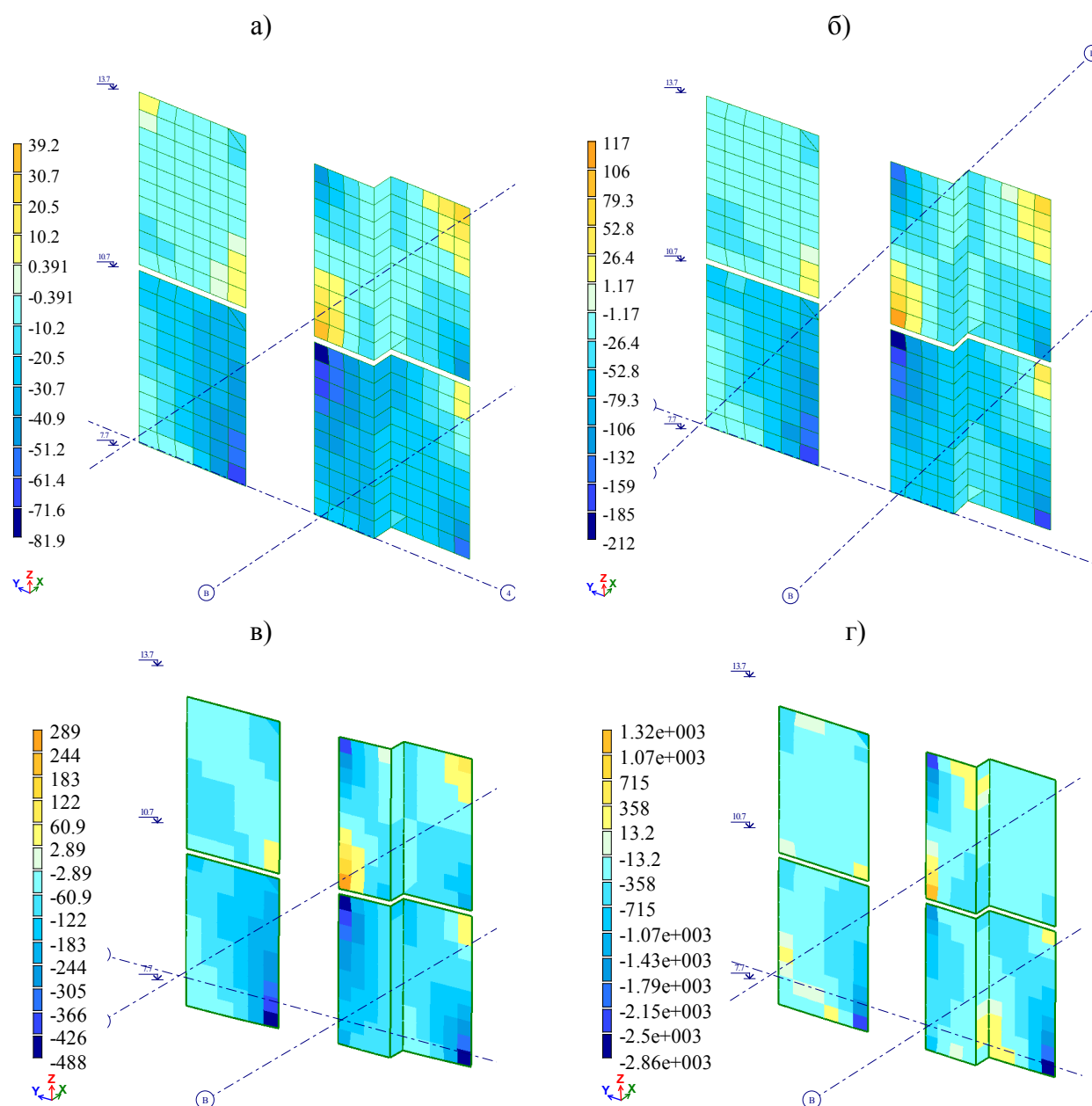


Рис. 4 – Вертикальные продольные усилия  $N_y$ , тс/м<sup>2</sup>: а) –с учетом перегородок из газобетонных блоков марки D500; б) –с учетом перегородок из газобетонных блоков марки D1100; в) –с учетом перегородок из керамического кирпича марки M150 на цементно-известковом растворе М50; г) – при прогрессирующем обрушении с учетом перегородок из железобетона класса В15.

Таблица – Результаты расчёта

№ п/п	Материал перегородок в расчетной схеме	Изгибающие моменты $M_x$ , тс·м/м	Максимальная площадь нижнего армирования по оси $X$ , см <sup>2</sup> /м за исключением пиковых значений
1	Перегородки учитываются нагрузкой	9,77	22,9
2	Газобетонные блоки марки D500 на кладочном растворе	9,77	22,9
3	Газобетонные блоки марки D1100 на кладочном растворе	9,77	22,9
4	Керамический кирпич марки M150 на цементно-известковом растворе М50	8,09	22,9
5	Железобетон класса В15	6,58	16,6

Из результатов расчета на основные и особые сочетания нагрузок и воздействий видно, что в некоторых элементах на мозаике усилий и армирования имеются значительные пики. Это объясняется следующими причинами, которые необходимо учитывать при анализе результатов:

- расчет производится в линейной упругой постановке. Не учитываются нелинейно-упругие и пластические деформации материала конструкций, которые приводят к перераспределению усилий и снижению реально действующих напряжений.
- образование и допустимое раскрытие трещин также приводит к сглаживанию пиков усилий и напряжений, полученных в данном расчете.
- при расчете методом конечных элементов имеет место погрешность вычисления усилий и напряжений в зонах больших градиентов и местах концентрации напряжений (внутренние углы элементов конструкций, места приложения нагрузок, зоны стыковки стержневых и пространственных конечных элементов и т.д.).

По результатам расчетов и проведенному анализу можно сделать следующие выводы: учет перегородок из газобетонного блока не приводит к сколько-нибудь значительному повышению устойчивости к прогрессирующему обрушению. Защиту таких зданий от прогрессирующего обрушения необходимо обеспечить за счет следующих конструктивных мероприятий: увеличению толщины перекрытий в соответствии с рекомендациями по проектированию, уменьшению шага вертикальных несущих конструкций и увеличению армирования. При использовании перегородок из керамического кирпича марки не менее М150 на цементно-известковом растворе не менее М50 и из железобетона класса не менее В15 с шагом вертикальных несущих конструкций не превышающим 5 м, рекомендуется учитывать их в работе несущего каркаса. Несущей способности данных перегородок достаточно для перераспределения усилий в плите перекрытия и уменьшения зон дополнительного армирования.

Следует отметить, что при проектировании зданий с шагом вертикальных несущих конструкций более 5 м. не рекомендуется учитывать перегородки независимо от материала в работе монолитного железобетонного каркаса в расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

*Работа финансировалась Министерством науки и высшего образования РФ, проект № FSWG-2023-0004 «Система территориальной сейсмической защиты критически важных объектов инфраструктуры на основе гранулированных метаматериалов, обладающих свойствами широкодиапазонных фоновых кристаллов».*

**Список литературы**

1. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям: изд. – АСВ, 2009. – С. 51.
2. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Проектирование многоэтажных зданий с железобетонным каркасом: изд. – АСВ, 2009. – С. 40.
3. Сафаров А.Р., Дорожнинский В.Б., Андреев В.И. Верификация расчетной модели железобетонной рамы при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 4. С. 58-64. doi: 10.33622/0869-7019.2024.04.58-64
4. Агаханов М.К. Имитационное моделирование прогрессирующего обрушения в программном комплексе Лира-САПР // Актуальные проблемы науки и техники (Ростов-на-Дону, 19–21 марта 2024 г.). - Ростов-на-Дону, 2024. - С.945-946.
5. Павлов А.С. Опыт проведения расчетов на прогрессирующее обрушение в рамках научно-технического сопровождения уникальных зданий и сооружений // «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума. (Тамбов, 17–21 мая 2023 г.). – Тамбов, 2023. - С.246-247.
6. Вдовин Д.В., Рекунов С.С. Исследование работы конструкции железобетонного здания при возникновении прогрессирующего обрушения // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса. (Волгоград, 15–16 декабря 2022 г.). – Волгоград, 2022. – С.29-34

1.2.2.

**А.С. Титовцев, Р.М. Юсупов**

Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Кафедра ИСУИР,  
Казань, notna6683@mail.ru

### **СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ ОЧЕРЕДЬЮ И ВРЕМЕНЕМ ОЖИДАНИЯ**

*В данной статье рассматриваются системы массового обслуживания (СМО) с ограниченной очередью и временем ожидания как инструмент для повышения эффективности управления ресурсами в условиях высокой нагрузки. Исследуются теоретические аспекты их построения, оцениваются преимущества и ограничения использования данных систем в практической деятельности. Предложенные выводы и рекомендации могут быть использованы для улучшения работы систем в различных секторах экономики.*

Ключевые слова: системы массового обслуживания, ограниченная очередь, время ожидания, управление ресурсами, эффективность, нагрузка, клиентские запросы.

**Введение.** СМО являются ключевыми элементами современной экономики, обеспечивая эффективное распределение ресурсов в условиях массовых запросов. Однако традиционные модели СМО сталкиваются с проблемами избыточной нагрузки и увеличения времени ожидания из-за роста пользователей и повышенных требований. В этой связи актуальным становится внедрение систем с ограниченной очередью и коротким временем ожидания. Такие системы имеют регламентированную длину очереди и время ожидания, что помогает сбалансировать нагрузку и минимизировать недовольство клиентов, вызванное долгим ожиданием.

**Основная часть.** СМО играют важную роль в производстве, сервисе, экономике и финансах, обеспечивая многократное решение однотипных задач. Примеры включают банки, страховые компании, налоговые инспекции и аудиторские фирмы в финансовой сфере, а также телефонные станции, порты, автозаправки и торговые центры в производственной и сервисной областях. К СМО также относятся компьютерные и транспортные сети, автоматизированные производственные участки и системы обороны [3, с. 32; 4, с. 42].

Ключевым аспектом работы СМО является случайное поступление и обработка заявок, создающее элемент неопределенности в системе. Эта случайность приводит к проблеме неравномерной загрузки, что выражается в образовании очередей и простоях каналов обслуживания. В периоды высокой загрузки образуются очереди заявок, что может снижать удовлетворенность клиентов, тогда как в периоды недогрузки ресурсы СМО остаются неиспользованными, что ведет к финансовым потерям из-за фиксированных затрат при снижающейся выручке. Для повышения эффективности СМО важно добиться баланса между входящими заявками и пропускной способностью каналов. Это требует тщательного анализа и внедрения стратегий оптимизации, чтобы минимизировать очереди и исключить простой каналов, обеспечивая при этом удовлетворенность клиентов и экономическую эффективность.

СМО делятся на два типа: с отказами и с очередью. В СМО с отказами заявки покидают систему при загрузке всех каналов, тогда как в СМО с очередью заявки ожидают обслуживания. Системы с очередью чаще встречаются на практике и могут быть с ограниченной или неограниченной очередью, учитывая длину или время ожидания. Важным аспектом является «дисциплина обслуживания», включая порядок обслуживания (например, "первым пришел — первым обслужен") или приоритетное обслуживание. Также существуют

многофазовые системы и СМО, делящиеся на открытые (поток заявок не зависит от состояния системы) и замкнутые (зависимость присутствует). Оптимизация СМО ориентирована либо на повышение загрузки каналов, либо на сокращение очередей. Для эффективности необходим системный подход, учитывающий баланс интересов организаторов и клиентов, а также анализ всех последствий принимаемых решений.

СМО с ограниченной очередью представляют собой значимый подкласс теории массового обслуживания, характеризующийся максимальным числом заявок, которые могут ожидать в очереди. При достижении лимита последующие заявки отклоняются до освобождения места. В таких системах используются различные стратегии обслуживания, включая FIFO, LIFO или приоритетное обслуживание, что позволяет адаптировать их к специфике задач. Одной из ключевых моделей является М/М/с/К, где интервалы поступления и обслуживания заявок описываются экспоненциальным распределением.

Для анализа производительности применяются показатели, такие как вероятность блокировки, среднее время ожидания и среднее число заявок в системе. Эти системы находят применение в телекоммуникациях, здравоохранении и производственных процессах. Например, они используются для оптимизации кол-центров, управления потоками данных или распределения пациентов в экстренной медицине при ограниченных ресурсах. Оптимизация ограниченных очередей требует анализа баланса между уровнем обслуживания и использованием ресурсов. Малый размер очереди приводит к частым отказам, тогда как избыточный запас может снижать эффективность системы. Для достижения оптимального результата применяются симуляционное моделирование и аналитические методы, что позволяет учитывать специфику различных сценариев. Системы с ограниченной очередью играют важную роль в управлении потоками заявок, обеспечивая эффективное использование ресурсов и высокий уровень обслуживания [1]. СМО с потоками требований разных типов [5-6] часто встречаются в практике, но классические модели СМО не полностью отражают их свойства.

СМО с ограниченной длительностью ожидания характеризуются четко установленными временными рамками для обработки заявок, нарушение которых приводит к их отклонению или переводу на более высокий уровень обработки. Отказ в обслуживании может существенно сказаться на клиентах, особенно в критических областях, таких как медицина, тогда как многоуровневый подход позволяет перераспределять ресурсы для ускоренной обработки срочных запросов. Такие системы относятся к смешанному классу СМО с разнообразием моделей, различающихся по механике обработки и правилам обслуживания [2, с. 135; 8, с. 65].

СМО с ограниченной длительностью ожидания нацелены на минимизацию времени ожидания клиентов, что важно для конкурентоспособности услуг. Управление очередями в таких системах критично для поддержания удовлетворенности клиентов. Подтипом являются системы с отказами, где вероятность отказа обусловлена чрезмерной загруженностью и недостаточностью ресурсов, что снижает общую эффективность, когда некоторые заявки остаются необработанными [7, с. 159]. Последствия отказов выражаются не только в потере потенциального объема от проведенных операций, но также могут негативно влиять на репутацию организации и уровень лояльности клиентов. Потребители, столкнувшиеся с отказами, скорее всего, изъявят желание обратиться к конкурентам, что может привести к потере рынка. Эффективное управление такими системами требует разработки стратегий, способных минимизировать вероятность отказов, включая оптимизацию процессов обслуживания, привлечение дополнительных ресурсов и реализацию предварительного планирования на основе анализа исторических данных о загрузке.

СМО с неограниченной очередью позволяют накопление заявок без ограничений по времени ожидания, что может увеличить время ожидания клиентов. В таких системах важно эффективно управлять потоками для минимизации ожидания и обеспечения завершения обслуживания всех заявок. Методы прогнозирования и контроля загрузки ресурсов помогают повысить эффективность и устранить узкие места. Важно также управлять ожиданиями

клиентов путем информирования о времени ожидания. Смешанные системы требуют тщательного планирования условий работы и стратегии обработки заявок для обеспечения эффективного потока клиентов и минимизации потерь, что повышает качество обслуживания [9].

СМО с ограниченной длительностью ожидания критически важны для безопасности и оперативного реагирования, контролируя время ожидания. Их главная задача — эффективное управление потоками заявок, что требует современных технологий и алгоритмов для повышения надежности и эффективности. Исследование и развитие таких систем являются значимыми задачами как в академическом, так и в практическом аспекте.

**Выводы.** СМО с ограниченной очередью и временем ожидания является ключевым инструментом в управлении клиентскими потоками в различных отраслях, таких как услуги и транспорт. Она минимизирует время ожидания, обеспечивая эффективное использование ресурсов и повышая удовлетворенность клиентов. В отличие от систем с неограниченной очередью, такие системы обеспечивают более предсказуемое обслуживание, что актуально в конкурентных условиях. Ограничения по времени ожидания предотвращают перегрузки и отказы, повышая общую эффективность. Разработка стратегий управления на основе аналитических методов оптимизирует производительность и комфортность обслуживания, способствуя устойчивому развитию и конкурентоспособности организаций.

#### **Список литературы**

1. Антонова П.В. Принципы разработки систем массового обслуживания с ограниченной очередью на платформе .NET // Программные системы и вычислительные методы. 2023. № 2. С. 15-28.
2. Венцель Е.С. Исследование операций. - М.: Наука, 1988.
3. Вишневский В.М., Дудин А.Н. Системы массового обслуживания с коррелированными входными потоками и их применение для моделирования телекоммуникационных сетей // Автоматика и телемеханика. 2017. № 8. С. 3-59.
4. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М., 1987.
5. Кирпичников А.П., Титовцев А.С. Открытая одноканальная система массового обслуживания с отказами и неограниченной очередью // Вестник Казанского технологического университета. 2006. №4. С. 87-94.
6. Кирпичников А.П., Титовцев А.С. Системы обслуживания с неоднородным входным потоком требований, отказами и очередью // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №5. С 154-161.
7. Осипов Г.С. Моделирование систем массового обслуживания с отказами // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2016. №11 (12). С. 154-165.
8. Осипов Г.С. Оптимизация одноканальных систем массового обслуживания с неограниченной очередью // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2016. №9 (10). С. 63-71.
9. Осипов Г.С. Системы массового обслуживания с ограниченной длительностью ожидания // Бюллетень науки и практики. 2016. №12 (13).

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ — 2.3.1.

### 2.3.1.

Л.Н. Акимова

ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,  
факультет экономики, менеджмента и информационных технологий,  
кафедра прикладной информатики,  
Симферополь, ablaevalilya2018@gmail.com

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ПРОЕКТАМИ

На сегодняшний день одним из ключевых факторов, обеспечивающих успешное развитие инноваций является проектное управление. В свою очередь системный подход на основе системного анализа управления проектами имеет существенные преимущества. Решения, принятые с учетом их влияния на систему в целом, работают эффективнее, а определение верных точек вложения усилий для большего эффекта осуществляется путем анализа причинно-следственных связей между управленческим воздействием и реальным эффектом. Системный подход определяет проект как систему временных действий, направленных на достижение неповторимого, но в то же время определенного результата. В статье рассмотрен актуальный вопрос, связанный с решением задач управления ИТ-проектами на основе системного анализа.

Ключевые слова: системный анализ, управление ИТ-проектами, принципы, технологические решения, причинно-следственные связи.

**Постановка проблемы.** По результатам исследования проектного менеджмента в России с участием около 300 респондентов, вовлеченных в процесс управления проектами, выявлены особенности существующей практики управления проектами [1]. В частности, представлена информация об успешности проектов в разрезе индустрий (рисунок 1).

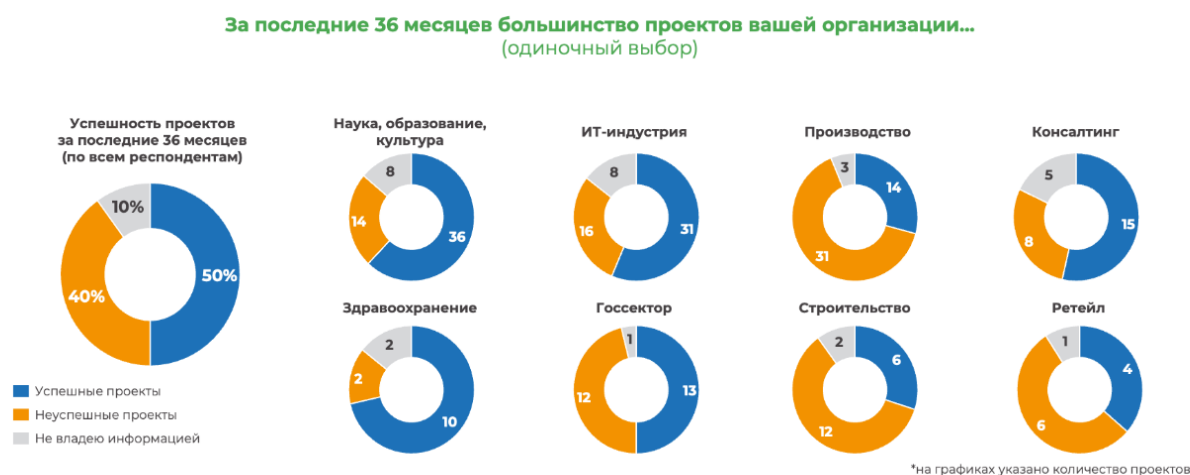


Рис. 1 - Успешность проектов по индустриям

Наука, образование, культура, здравоохранение и также госсектор являются теми отраслями, в которых более 50% проектов имеют успешное завершение. Более высокий уровень успешных проектов характерен для ИТ-индустрии и консалтинга (более 60%), где имеет место проектная система ведения бизнеса. Системный подход, включающий точное определение целей компании и ожиданий клиентов, а также правильное распределение

ресурсов на предпроектных этапах, обеспечивает этим компаниям успешную реализацию проектов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросам применения системного анализа в управлении проектами посвящены исследовательские работы А.Н. Баланова [2], Дж. Расмуссона, С. Беркуна, И. Селиховкина и др. В этих работах рассматриваются вопросы, связанные с управлением проектами и имеет важное место системность данного процесса. В работах Н.А. Полякова [3] и других исследователей также раскрыта тематика управления инновационными проектами.

**Целью статьи** является изучение важности системного подхода в решении задач управления IT-проектами.

**Изложение основного материала.** Проект (от англ. Project) — то, что задумывается и планируется. *«Проект — временное предприятие для создания уникальных продуктов, услуг или результатов»* [4]. **Успешный проект** – это такой, который был выполнен в запланированные сроки, не вышел за пределы выделенного бюджета, и при его выполнении были достигнуты именно те результаты, которые ожидались, а не те, что получились по ходу выполнения.

По оценкам ведущих международных консалтинговых агентств в 1990-х гг., только 5...10 % всех научно-технических программ и проектов, в том числе IT-проектов, реализуются в полном объеме. Американская консалтинговая компания McKinsey, признанная лидером рынка стратегического консалтинга, осуществила исследование результатов выполнения 500 крупных IT-проектов во всем мире. Выявлено, что только 16% из этих проектов можно было признать успешными.

Аналогичное исследование, по выявлению наиболее важных технологических тенденций, было проведено этой компанией и в середине июля 2024 г. [5]. Результаты данного исследования полезны руководителям бизнес-компаний разных стран в процессе планирования бизнеса, внедрения и эффективного использования современных IT-решений и технологий. Опрос проводился среди респондентов в 50 странах мира, позволяя выявить степень внедрения IT-технологий в разных регионах. По итогам исследования, экспертам удалось выделить 15 ключевых технологических тенденций, рассматриваемых в рамках 5 основных категорий, таких как «революция искусственного интеллекта», «построение цифрового будущего», «рубежи вычислений и связи», «передовая инженерия» и «устойчивый мир». Большинство проектов в два раза превышали установленные сроки и на 80 % превышали запланированный бюджет. По результатам других исследований (The Standish Group) в мире только 32 % IT -проектов завершаются успешно, а 23 % полностью проваливаются.

Системный подход позволяет любой организации лучше представить и совершенствовать ее бизнес-модель рассматривая организацию как единое целое и изучая причинно-следственные связи между критичными элементами ее успеха [6].

В IT-сфере системный анализ направлен на изучение и анализ IT-систем для оптимизации и улучшения их работы. При этом он затрагивает разные аспекты, в том числе бизнес-процессы, инфраструктуру, системы безопасности, архитектуру, интеграцию и использование информационных систем. На основе системного анализа исследуются процессы, проблемы и ограничения, связанные с автоматизируемой деятельностью, а также проектируется система, обосновываются и разрабатываются решения. Результатом является создание полезных, удобных, эффективных, экономичных и экологических информационных систем, улучшение процессов и создание системы, которые принесут максимальную пользу и комфорт для пользователей.

В современной литературе по управлению проектами можно выделить два основных подхода к определению проекта: системный и деятельностный. Системный подход определяет проект как систему временных действий, направленных на достижение неповторимого, но в то же время определенного результата.

### **Содержание и процессы управления проектами**

Управление проектами представляет отдельную самостоятельную область управления, сформировавшуюся в середине XX века, в качестве специфической управленческой деятельности с определенным временным диапазоном и уникальным результатом. Исторически проектный менеджмент оформляется с начала прошлого века, произрастая из практических нужд развивающейся военной промышленности США. При этом вначале в практике планирования использовались отдельные инструменты и подсистемы проекта, впоследствии оформляются все остальные аспекты управления проектами, разрабатывается теория. В 1969 году в США создается институт управления проектами (PMI – Project Management Institute), представляющий международную некоммерческую ассоциацию специалистов в области проект-менеджмента объединяющую более 150 стран, для оказания информационной и технологической поддержки.

Любой проект всегда является комплексной, системной задачей, в которой системность определяет новый подход в управленческой деятельности, когда взаимодействуют и взаимодополняют друг друга технико-технологические, организационно-управленческие и социально-культурные стороны. При этом рассматривается не только сам объект, а вся система связей вокруг будущего объекта. Область системной методологии рассматривает системные проблемы и системные объекты, позволяя развернуть в моделях такое представление объекта, которое объясняет разные предметные представления изображая их в виде своих проекций.

Основываясь на системном подходе, мы можем рассматривать организацию как открытую систему, представляющую собой черный ящик – мы знаем, что на входе и знаем, что должно быть на выходе, а внутри синергетические эффекты с высокой степенью нелинейного развития. В результате, проектное управление интегрирует в себе методологические постулаты системного анализа и синергетической теории, становясь одним из самых эффективных и передовых принципов управления [7]. Опираясь на принципы проектного управления, организация эффективнее решает задачи развития, обеспечивая успешное достижение поставленных целей во всех видах деятельности.

Сущность любого проекта заключается в деятельности, но для того, чтобы он был успешным, необходимо тщательное и продуманное управление этим проектом, служащее гарантией эффективной деятельности, ее направленности на достижение конечной цели. Управление проектами — это методология, искусство организации, планирования, руководства, координации трудовых, финансовых, материально-технических ресурсов на протяжении всего проектного цикла, направленное на достижение его целей путем применения современных методов, техники и технологии управления для получения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству и удовлетворению участников проекта.

Системный подход позволяет выделить следующие категории процессов, которыми необходимо управлять:

- определить цели проекта и провести его обоснование;
- выявить структуру проекта (подцели, основные этапы работ, которые предстоит выполнить);
- определить необходимый объем и источники финансирования;
- подобрать исполнителей и сформировать команду проектантов;
- подготовить и заключить контракты;
- определить сроки выполнения проекта, составить график его реализации;
- рассчитать необходимые ресурсы;
- рассчитать смету и бюджет проекта;
- планировать и учитывать риски;
- обеспечить контроль за выполнением проекта и многое другое.

Структура управления проектом обеспечивает основу для понимания управления проектами и включает в себя следующие большие разделы:

1) содержание управления проектами — описание среды, в которой функционирует проект, а также его жизненный цикл;

2) процесс управления проектами — описывает общий взгляд на то, как взаимодействуют различные процессы управления проектами, как осуществляется управление различными институциональными подсистемами проекта:

— управление замыслом проекта — инициирование и планирование замысла. Разработка стратегии проекта, его уточнение и контроль;

— управление интеграцией (содержанием) проекта — его планирование, разработка целевой структуры;

— управление временем — планирование работ, их последовательности и продолжительности, составление расписания и графика;

— управление финансами (стоимостью) проекта — разработка сметы и бюджета проекта и контроль стоимости;

— управление качеством — планирование и контроль качества проектных работ и продуктов проекта;

— управление командой — описывает процессы эффективного использования человеческих ресурсов;

— управление коммуникациями проекта — планирование коммуникаций, распределение информации, представление отчетности;

— управление рисками — идентификация и менеджмент рисков проекта;

— управление обеспечением проекта — описывает процессы, требуемые для получения товаров и услуг для реализации проекта извне. Это планирование требований: обращений, выбор источников, разработка и закрытие контрактов.

Оба раздела структуры взаимосвязаны. Все процессы заявляются на пред инвестиционной фазе проекта, в его обосновании (бизнес-плане) и реализуются на различных этапах жизненного цикла проекта.

Если человек хочет быть хорошим специалистом в своем деле, он обязательно должен обладать системным мышлением, к любой работе проявлять системный подход. Системный подход - основа научной методологии: необходимость учета всех существенных системных связей объекта изучения или воздействия. Сущность системного подхода заключается в необходимости учитывать все существенные системные связи рассматриваемого объекта.

Системный подход к определению проекта позволяет определить его основные характеристики. Не смотря на разнообразие и многоплановость проектов - все они имеют общие характеристики:

- Разовость, т.е. разовое явление с определенными результатами.
- Уникальность, одинаковых проектов не бывает, каждый имеет что-то неповторимое.
- Инновационность, в процессе реализации проекта создается что-то новое.
- Результативность, все проекты имеют определенные результаты, направленные на достижение поставленной цели.
- Временное ограничение, т.е. реализация проекта к установленному сроку.

Рассмотренные характеристики проекта взаимосвязаны и определяют три его измерения, по которым можно судить о проекте (рисунок 2).

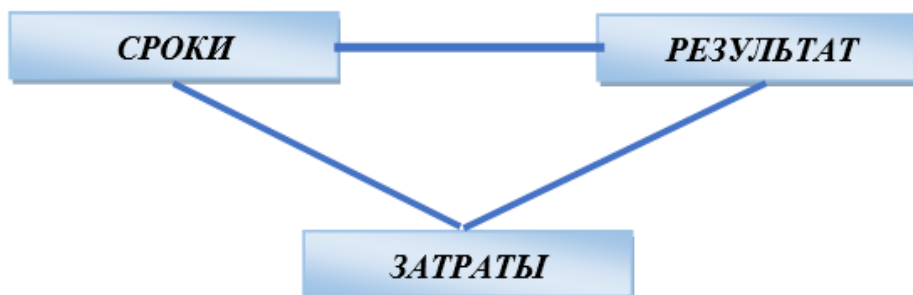


Рис. 2 - Схема измерения проекта

Таким образом, планирование и реализация проекта связаны 3 главными вопросами:

- Какое необходимо время?
- Сколько необходимо денег?
- Будет ли соответствовать полученный результат намеченной цели?

Системный анализ в IT подразумевает поиск и описание лучшего решения бизнес-проблемы учитывая системные характеристики и ограничения системы. Суть системного анализа заключается в том, чтобы предвидеть возможные сценарии и заранее определить, как будет меняться система при изменении ее элементов. Примером может служить таблица Excel, где каждая ячейка может быть связана с другими ячейками.

Единого алгоритма системного анализа нет, здесь все зависит от поставленной задачи. Но в целом управление IT-проектами на основе системного анализа включает определенные этапы:

1. Необходимо удостовериться, что проблема существует и ее нужно решить, например, уменьшилось количество посетителей сайта.
2. Определение цели направленной на решение проблемы и получение необходимого результата. На этом этапе определяются и сроки.
3. Поиск решения поставленной задачи путем изучения состава и структуры системы, и предложение вариантов достижения поставленной цели с минимальными ресурсными затратами.
4. Подготовка технического задания при необходимости доработки или разработки IT-системы, с учетом связей и ограничений системы и влияния на другие подсистемы.

Для системного анализа IT-проектов могут быть использованы различные методы и инструменты. Основным методом в системном анализе является моделирование бизнес-процессов с помощью схем используя нотацию BPMN (Business Process Model and Notation), а также IDEF, EPC или UML-диаграммы. Также можно использовать кластерный анализ, теорию игр или диаграммы связей и т.п., если они обеспечивают решение задачи. В качестве инструментов можно использовать любое программное обеспечение, позволяющее визуализировать процессы и связи между объектами системы - стандартный офисный пакет программ, Draw.io, Miro, Camunda и т.п. При работе с кодом это могут быть SQL, Kibana и т.п. Для решения задачи подбирается тот или иной метод и инструмент с учетом опыта и знаний системного аналитика. В целом важны знания об IT-системах и процессах разработки в целом.

Системы для управления проектами необходимы для планирования и управления задачами, сроками, ресурсами, стоимостью, бюджетом, а также для организации взаимодействия членов команды.

В отчете «Pulse of the Profession» за 2019 год «Института управления проектами» (Project Management Institute, PMI) – всемирной некоммерческой профессиональной организации по управлению проектами, указывается, что 61% компаний, использующие системы для управления, завершают проекты вовремя. И только 41% организаций сообщают об успехах без использования таких программ. Среди таких готовых программных продуктов следует выделить: GanttPRO, Bitrix 24, Wrike, Asana, Active Collab, Basecamp, Trello, Hygger и др.

Наиболее эффективной и продуктивной на сегодняшний день является программа GanttPRO (рисунок 3). Эта современная и профессиональная система для управления проектами представляет собой онлайн диаграмму Ганта. Сфера применения системы ничем не ограничена: это может быть строительство, разработка ПО и IT, производство, сфера услуг, маркетинговая кампания, организация мероприятий, обучение и т.д. Для этих целей сервис предлагает готовые шаблоны диаграммы Ганта.

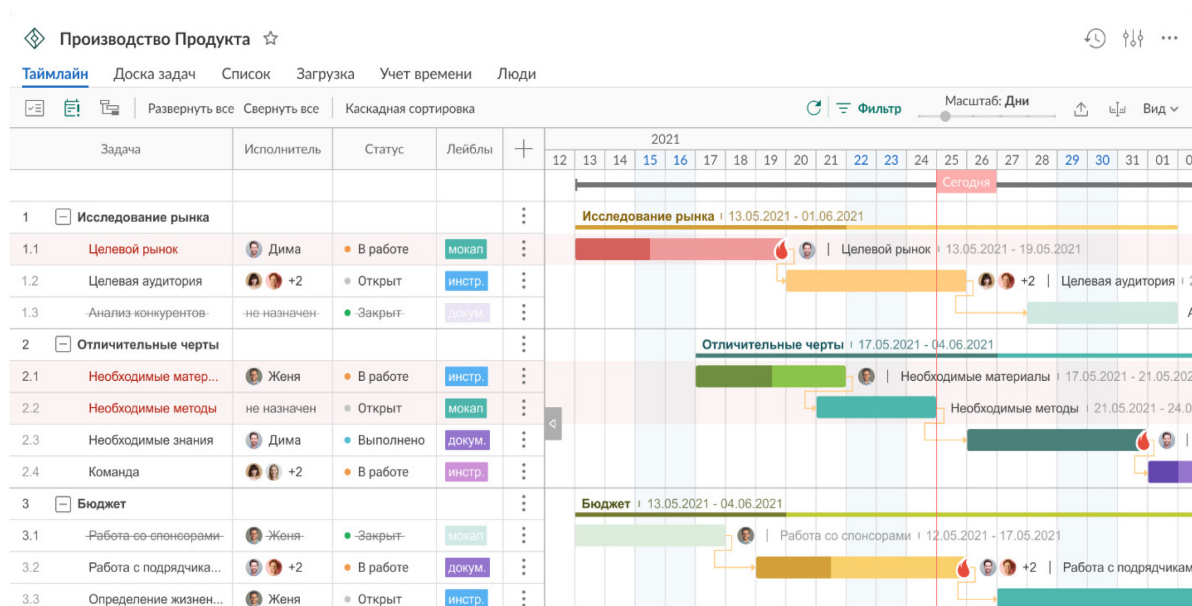


Рис. 3 - Начальная страница программы GanttPRO

Вышеперечисленные инструменты представляют далеко не полный список программ, которые эффективны в системном управлении задачами и проектами, в том числе IT-проектами. Но они популярны во всем мире и доказали свою эффективность.

**Выводы.** Информационные технологии являются одним из компонентов деятельности любой компании. Управление IT-проектами стало важной частью современного бизнеса. В целом IT-проекты направлены на улучшение бизнес-процессов и достижение определенных результатов. Применение системного подхода в управлении IT-проектами обеспечивает успешную их реализацию, несмотря на сложность и динамичность современных рабочих процессов. Связано это с тем, что системный подход направлен не только на улучшение отдельных проектов, но и на повышение эффективности организации в целом в связи с улучшенным планированием, координацией и управлением ресурсами. Комплексный системный подход к управлению проектами обеспечивает успешное завершение проекта.

### Список литературы

1. Текущее состояние и тенденции развития проектного управления в России [Электронный ресурс] // Официальный сайт «Группы компаний Б1 в России». – Режим доступа : <https://b1.ru/insights/media-center/> (дата обращения: 21.09.2024).
2. Баланов А.Н. Управление и оптимизация IT-проектов: инфраструктура, решения и аналитика рынка : учебное пособие для вузов / А.Н. Баланов. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 200 с.
3. Поляков Н. А. Управление инновационными проектами : учебник и практикум для вузов / Н. А. Поляков, О. В. Мотовилов, Н. В. Лукашов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 384 с.
4. Project management. A Guide to the Project Management Body of Knowledge : PMBOK guide. 3<sup>rd</sup> ed. - 2004. - P. 3.
5. Тенденции мирового IT-рынка [Электронный ресурс] // Деловой портал с уникальной базой знаний TAdviser. – Режим доступа : <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 21.09.2024).
6. Шервуд Д. Видеть лес за деревьями: Системный подход для совершенствования бизнес-модели / Деннис Шервуд ; Пер. с англ. – М. : Альпина Паблишер, 2016. – 341 с.
7. Боронина Л.Н. Основы управления проектами: учебное пособие для СПО / Л.Н. Боронина, З.В. Сенук; под редакцией Р. Вишневого. – 4-е изд. – Саратов, Екатеринбург : Профобразование, Уральский федеральный университет, 2024. – 133 с.

## 2.3.1.

**И.Б. Бондаренко, Д.А. Пелих**

Санкт-Петербургский Государственный Университет Телекоммуникаций,  
факультет информационных технологий и программной инженерии,  
кафедра информационных управляющих систем,  
Санкт-Петербург, [elektronstandart@bk.ru](mailto:elektronstandart@bk.ru)

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ  
В РЕШЕНИИ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ ГОРОДСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*В работе приведены недостатки существующих систем управления городскими ресурсами. Изложены принципы функционирования и ограничения мультиагентных систем. Приведено описание компонентов. Построена архитектура мультиагентных систем управления городом в решении задачи оптимизации дорожного трафика. Описаны сложности проектирования и жизненный цикл разработки подобных систем.*

Ключевые слова: мультиагентные системы, управление городом, архитектура, функциональные элементы, функция вознаграждения, планирование.

**Введение**

В настоящее время присутствует множество проектов, связанных с тематикой «умного города», что, конечно, обоснованно, ведь общество стремится к улучшению качества жизни и развитию окружающей себя среды. Причём есть и конкретные субъекты, которые этим занимаются. В масштабах мегаполиса это, как правило, ряд органов, осуществляющих распределение ресурсов (бюджета, земли, квот и т.д.) на наиболее подходящие цели. Для этих органов существуют программные средства, облегчающие задачу управления, например, [1]. Однако существующие решения обладают рядом недостатков и представляют собой скорее инструмент визуализации данных, а не платформу, посредством которой можно осуществлять планирование и оптимизацию распределения ресурсов. Применение мультиагентного подхода может способствовать разработке таких платформ. В работах [2-6] приведены примеры применения данной технологии в других сферах человеческой деятельности.

**1. Принципы функционирования и ограничения мультиагентных систем.**

В мультиагентных системах объектам городского регулирования соответствуют агенты, имеющие ключевые показатели эффективности, которые могут отличаться в зависимости от области ответственности агента. Например, таким показателем может быть отношение количества социально значимых объектов (школ, больниц, МФЦ) к плотности населения в конкретном районе города. Взаимодействие агентов путем передачи сообщений в сетях потребностей и возможностей на основе самоорганизации позволяет выявить оптимальную комбинацию решений управления городскими ресурсами [7].

Агенты имеют свои собственные цели, критерии, предпочтения и ограничения, важность которых может быть представлена весовыми коэффициентами в линейной комбинации критериев ( $q_i$ ) для данной ситуации, но может меняться при формировании или исполнении плана. Такие критерии могут вводиться для любой из потребностей ( $G$ ). Набор первоначальных критериев ( $q_i$ ) поступает в систему в виде данных, описывающих состояние городской среды в текущий момент. Например, при планировании дорожной инфраструктуры в качестве потребностей выступают:

- максимальная загруженность на каждом участке дороги;
- связанность объектов инфраструктуры;
- возможность проезда общественного транспорта;
- пассажиропоток, обеспечиваемый общественным транспортом;

- общий пассажиропоток участка дороги;
- обеспечение дорожной инфраструктуры физическими ограничителями успокоения трафика и переходами;
- отношения к городской среде.

Потребности помимо текущих значений критериев имеют предложенные идеальные значения ( $q_{iG}$ ), для которых при проектировании системы необходимо предусмотреть взаимодействие с ней пользователей, в качестве которых выступают специалисты, компетентные в конкретных областях городского регулирования.

Значение функции удовлетворенности для каждого агента будет показывать отклонение текущего значения от заданного идеального по любому из критериев текущего шага поиска решения  $f_{iG}(q_i - q_{iG})$ . В качестве итогового результата для каждой потребности оценивается сумма виртуальных значений для каждого критерия  $i$  с заданными весовыми коэффициентами  $k_{iG}$ . При правильном выборе признаков и формы функции цель каждого агента может быть переформулирована как увеличение (максимизация) значения потребности  $G$ :

$$G = \sum_{k=0}^n (k_{iG} \times f_{iG}(q_i - q_{iG})),$$

где весовые коэффициенты нормированы  $\sum_{k=0}^n (k_{iG}) = 1$ .

Ввиду стохастической природы процессов управления городом необходимо контролировать корректность принимаемых агентами действий посредством функции вознаграждения ( $R$ ), отражающей изменения в функции удовлетворенности агентов и определяющая гибкость компромиссов при решении конфликтов. Расчёт функции вознаграждения влечет за собой нахождение функции количественной оценки совместных действий  $\theta$ , которая максимизирует общее ожидаемое вознаграждение:

$$E[\sum \gamma_i R(s_t; a_t; \theta)],$$

где  $\gamma_i$  – нормированный весовой коэффициент вознаграждения  $\sum_{i=0}^n (\gamma_i) = 1$ .

Оценить вклад агентов при решении задач планирования возможно посредством введения в систему координационного агента, оценивающего действия каждого агента и влияющего на его функцию вознаграждения. Для этого после действия каждого агента сравнивается его поведенческая функция с желаемыми показателями и в случае расхождений вносятся изменения в весовой коэффициент вознаграждения  $\gamma_i$ .

## **2. Описание архитектуры мультиагентных систем управления городом в решении частных задач городского управления.**

Ключевым этапом разработки мультиагентной системы управления городом является определение её функциональных элементов и взаимосвязей между ними, то есть проектирование архитектуры. Рассмотрим подробнее этот вопрос. Первоначально в систему поступают необработанные данные: они описывают состояние городской транспортной инфраструктуры в текущий момент. Это могут быть данные о маршрутах городского транспорта, количестве и местонахождении социальных объектов или состоянии дорожного полотна. Эти данные необходимо отсортировать, разделив их по конкретным областям городского регулирования, и сгруппировать по общим признакам, например, принадлежности к одному району. Решение этих задач возлагается на агентов первой группы агентов данных.

Также необходимо сопоставить эти данные с потребностями, на основе которых агенты строят свои наблюдения и принимают решения. Под потребностями имеется ввиду набор параметров, значения которых агент стремится привести к идеальным. В качестве потребности для агентов из области общественного транспорта может выступать отношение количества пассажиров, перевозимых в единицу времени к количеству единиц техники для конкретного маршрута. Для агентов из области социальной инфраструктуры это может быть отношение количества школ к плотности населения в конкретном районе.

Для корректной настройки системы необходимо взаимодействие с ней пользователя, в качестве которого выступает группа специалистов, компетентных в конкретных областях городского регулирования. Пользователь работает с системой посредством интерактивного графического интерфейса. Пользователь может задавать или регулировать идеальные значения потребностей агентов в зависимости от желаемого результата. Также пользователю доступно управление влиянием агентов на систему. При изменении весовых коэффициентов агентов, меняется их вклад в решение задачи. Результатом работы системы является составление плана, отражающее прогнозируемое состояние городской инфраструктуры через некоторое дискретное время. В качестве периода дискретизации правильнее всего брать один год, так как на это время составляется бюджет города, формируются планы комитетов и так далее. Однако, за этот период можно взять и другое время. Пользователь сам может выбрать, на какое время составить план, а также скорректировать уже составленный при необходимости. Например, если система по какой-то причине не учла все ограничения и предложила демонтировать объект культурного наследия, пользователь может задать это ограничение жестким образом и система перестроит план с его учётом. В данной статье не раскрывается вопрос производительности системы, хотя это чрезвычайно важно, ведь пользователь может захотеть перестраивать планы после каждого изменения параметра потребности или агента, для чего система, оперирующая огромным количеством данных, затратит большое количество времени.

На основе потребностей агенты второго уровня, группы знаний, строят свои наблюдения. Решение таких проблем входит в зону ответственности агентов третьего уровня из группы решений. Сами агенты представляют субъектов городского регулирования как отражение ситуации в реальном мире: это могут быть городские комитеты, коммунальные службы, федеральные структуры и так далее. После согласования плана агент записывает результаты в соответствующую таблицу, отражающую наиболее оптимальное прогнозируемое состояние городской инфраструктуры через определённый промежуток времени.

На рисунке 1 представлена архитектура мультиагентной системы управления городскими ресурсами на примере частной задачи управления дорожным трафиком.

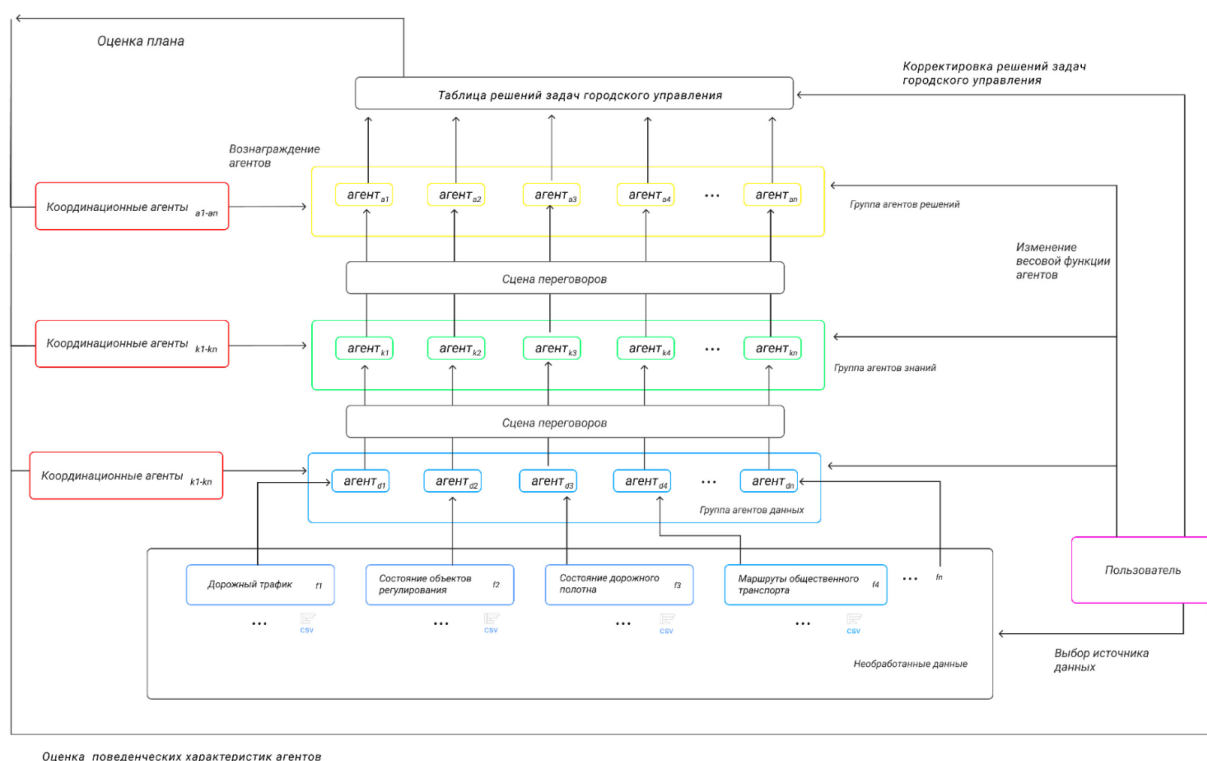


Рис. 1 - Архитектура мультиагентной системы управления городскими ресурсами на примере частной задачи управления дорожным трафиком.

### Заключение

Мультиагентные системы позволяют решить проблему преодоления неопределённости при принятии решений и повысить эффективность управления городом [8-9]. Однако разработка такой системы сопряжена с рядом трудностей, таких как хранение и обработка больших массивов данных или выбор методов оптимизации для принятия агентом решений. А также, если проектировать систему монолитной, результирующий продукт будет слишком громоздким, сложным в настройке и ненадёжным. Решением данной проблемы может быть декомпозиция такой системы на ряд подсистем, каждая из которых будет решать свою частную задачу городского управления, например, регулирование дорожного трафика [10], выявление мест строительства социальной инфраструктуры и других. И приведённые выше формализации могут позволить сделать мультиагентный подход универсальным для решения данных задач.

### Список литературы

1. Geometa. Умное управление городами на основе данных. [Электронный ресурс] URL: <https://geometa.ru/> (Дата обращения: 20.01.2025).
2. Wang C., Wang J., Wu P., Gao J. Consensus Problem and Formation Control for Heterogeneous Multi-Agent Systems with Switching Topologies. *Electronics*, 11, 2598 (2022).
3. Nadir K. Salih, Tianyi Zang, G.K. Viju, Abdelmotalib A. Mohamed.: Autonomic Man-agement for Multi-agent Systems. *IJCSI International Journal of Computer Science Is-sues*, Vol. 8, Issue 5, No 1, 338–341 (2022).
4. Filipe Alves, Ana Maria A.C. Rocha, Ana I. Pereira, Paulo Leitao.: Distributed Scheduling Based on Multi-agent Systems and Optimization Methods. F. De la Prieta et al. (Eds.): *PAAMS 2019 Workshops*, CCIS 1047, 313–317 (2019).
5. Jichao Zhao, Fengzhi Dai, Yunzhong Song.: A Distributed Optimal Formation Control for Multi-Agent System of UAVs. *The 2022 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2022)*, 803–807 (2022).
6. Aquib Mustafa, Dimitra Panagou.: Adversary Detection and Resilient Control for Multi-Agent Systems. *IEEE Transactions on Control of Network Systems* (2022).
7. Скобелев П.О., Лахин О.И., Майоров И.В., Симонова Е.В. // Адаптивное мультиагентное планирование производственных ресурсов на основе онтологии. // Информационно-управляющие системы, 2018.
8. Ptitsyna L.K., Zharanova A.O., Ptitsyn N.A., Belov M.P.: Extended Object-Oriented Modeling of Intelligent Information Agent Planners. *Proceedings of 2022 25th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2022*, 60–63 (2023).
9. Пелих Д.А., Птицына Л.К. // Мультиагентные системы в управлении городскими ресурсами. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С. И. Макаренко; сост. В. С. Елагин, Е. А. Аникевич. СПб. : СПбГУТ, 2023. Т. 4. С 690 – 694.
10. Бондаренко И.Б., Пелих Д.А. / Мультиагентное планирование в управлении городской инфраструктурой // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов: в 2 т. Т. 1.; под ред. Н. Н. Иванов. — Вып. 1. — Санкт-Петербург: СПбГУТ, 2023. — с. 365-368. — URL: <http://pkm.sut.ru/documents/Сборник%20лучших%20докладов%20конференции%20ПКМ-2023%20Том%201.pdf>.

## 2.3.1.

**Р.Р. Валиахметов канд. техн. наук, Р.Р. Зиятдинов канд. техн. наук, Н.А. Кузнецов**

Набережночелнинский институт КФУ,  
RRValiahmetov@kpfu.ru

### **АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЕТЕКЦИИ НЕРОВНОСТЕЙ ДОРОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*В данной работе собраны и проанализированы различные аппаратные средства позволяющие оценить состояние дорожного полотна для управления движением беспилотного транспортного средства.*

*Ключевые слова: детекция неровностей дорожного покрытия, беспилотное транспортное средство.*

Введение. Для выбора приемлемой скорости перемещения беспилотного транспортного средства (БТС) требуется не только получения информации об окружающих объектах, дорожной обстановке и знаках предписывающих движение с определенной скоростью, но и информация о возможности движения с этой скоростью без ущерба для самого транспортного средства. Реалии российских дорог показывают, что образование ям, выбоин, колеи не всегда может быть спрогнозировано и учтено в модели управления транспортным средством. Поэтому необходимо постоянно оценивать состояние дорожной поверхности.

Самым простым методом получения информации о профиле дорожной поверхности является постоянное измерение расстояния от детектора до определенной точки поверхности. С этой задачей справляются дальномеры ультразвуковые или лазерные. Измерение расстояния основано на измерении времени распространения луча от источника до препятствия и обратно. Ультразвуковые позволяют измерить расстояние до наиболее выступающего объекта в «пятне измерения» которое образуется на поверхности направленным конусом излучения [1]. Таким образом мы обнаружим более высокий край ямы, но не саму яму.

Лазерные дальномеры наоборот имеют небольшое «пятно измерения» (до 5 мм) в предполагаемой плоскости измерения и могут измерять расстояние лишь в узкой зоне, не охватывая всю плоскость дорожной поверхности по которой проедет колесо БТС. Некоторые измеренные данные, которые соответствуют узким трещинам в дорожном покрытии, не должны оказывать влияния на скорость движения, но с другой стороны такой измеритель может показать реальный профиль «ямы» которая будет значительно превышать опорную поверхность колеса и существенно влиять на комфортность передвижения на БТС.

Измерения с помощью дальномеров должны корректироваться по положению мобильной платформы относительно измеряемой поверхности, так как на её положение влияют предыдущие неровности и реакция на них подвески автомобиля. Расстояние на котором устанавливается дальномер от колеса автомобиля не дает возможности для оперативного изменения траектории движения, а лишь даст информацию о наличии дефекта.

Отдельно можно рассмотреть детекцию неровностей с помощью вибрационных датчиков и акселерометров, которые будут формировать информацию уже «постфактум» по результатам передвижения БТС по дорожной поверхности.

Вибрационный датчик позволит оценивать перемещение подвески, как результат ее взаимодействия с дорожной поверхностью, по частоте и амплитуде колебаний можно принимать решение об изменении скорости перемещения в сторону уменьшения для повышения комфортности или увеличении до допустимых пределов для более быстрого достижения конечной точки маршрута. Акселерометр оценивает градиент ускорения при перемещении БТС в пространстве, по его изменению по амплитуде и направлению можно

оценить качество дорожной поверхности. Данные устройства не дают точной оценки параметров неровности, но позволяют сделать вывод о необходимости корректирующих действий.

К интеллектуальным средствам оценки состояния дорожного полотна в БТС можно отнести системы технического зрения содержащие видеокамеру и систему анализа изображений, а так же системы анализа окружающей обстановки на базе лидаров.

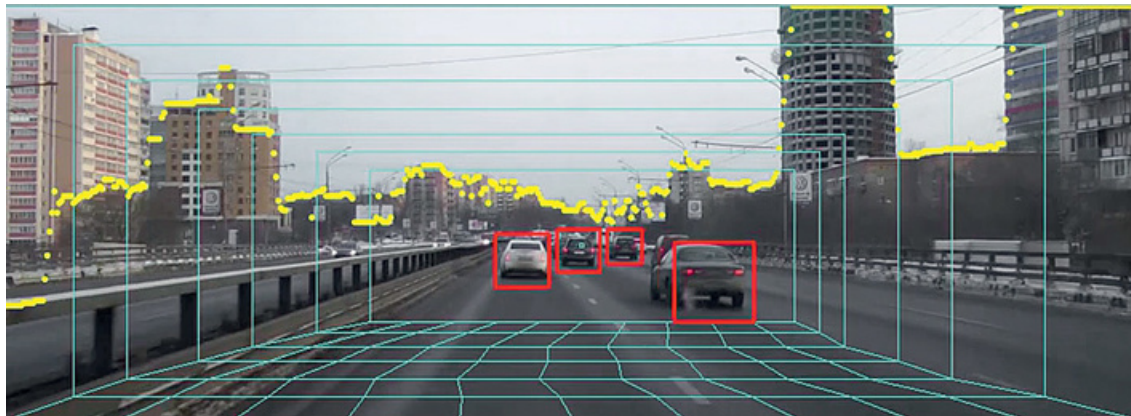


Рис. 1 – Обработка видеокadra системой автономного вождения C-Pilot

Техническое зрение применяется в БТС для оценки окружающего пространства (рисунок 1) [2], но так же может применяться для оценки состояния дорожного покрытия. Применение нейронных сетей позволяет выявлять на изображении дорожное полотно не только разметку дороги и указатели, но и другие «артефакты». При условии что дорожное полотно имеет достаточно равномерную окраску нахождение дефектов не представляет сложности (рисунок 2). Но к примеру в сырую погоду, образующиеся на дороге лужи контрастируют и тоже могут восприниматься как дефект. При таком способе сложно оценить параметры неровности.



Рис. 2 – Визуальное определение дефекта дорожного покрытия

Для улучшения распознавания неровностей дорожного полотна можно вводить одно- или двухцветную контрастную подсветку с различным углом установки прокторов или дополнительную камеру. Используя двухцветную подсветку и световую фильтрацию изображения по форме искажения свето-тени можно уверенно оценивать не только наличие дефекта, но и пытаться анализировать его рельеф по принципу 3D-сканирования поверхности [3].

Применение лидара в качестве детектора препятствий беспилотного автомобиля дает отличные результаты. Будь такой датчик установлен на автомобиле тесла не произошло бы аварии когда ИИ воспринял борт грузового автомобиля за небо. Лидар четко определяет

контуры предметов обращенных к БТС. Но у лидара есть и недостатки – это количество сканирующих линий и количество измерений за единицу времени или единицу угла поворота. Иными словами лидары устанавливаемые в настоящее время на автомобили имеют низкую разрешающую способность. Для оценки объектов данные рассматриваются в три этапа оценка контура объекта, его уточнение и прогнозирование движения объекта. Не трудно заметить на сколько мало детализированной представляется дорожная поверхность полученная в результате визуализации (рисунок 3).

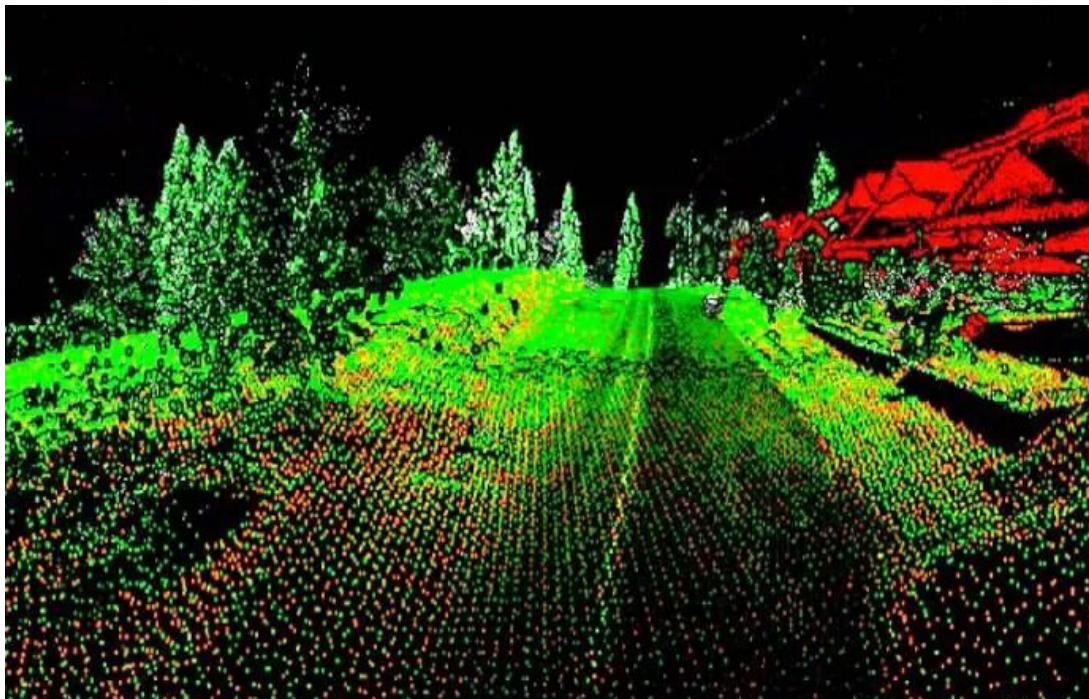


Рис. 3 – Визуализация сцены полученной лидаром

Для полной оценки состояния дорожного покрытия с помощью такого лидара необходимо оценивать не один «скан», а многократно наложенные друг на друга результаты сканирования с учетом перемещения автомобиля, т.е. задействовать математические возможности матричных вычислений, что создает большую нагрузку на вычислитель.

Специальное направление «Мобильное лазерное сканирование» с использованием лидара большой четкости [4, 5] позволяет получить данных о ровности дорожного полотна и его дефектах (рисунок 4), но при этом возникает задача обработки большого количества данных [6].

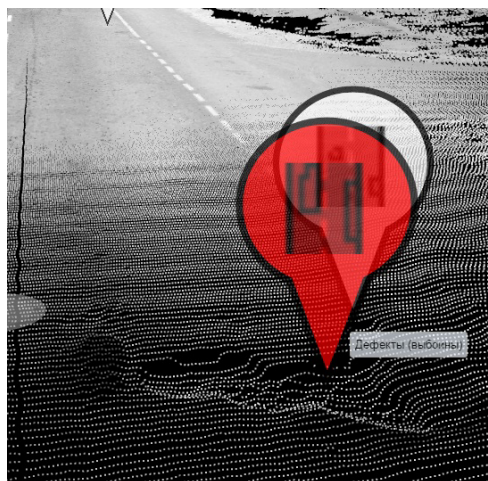


Рис. 4 - Детекция неровности дорожного полотна.

Выводы. Из всех рассмотренных аппаратных средств детекции состояния дорожного покрытия применение технического зрения наиболее актуально. Во-первых создается полная картина состояния дорожного покрытия по всей ширине дорожного полотна, что дает возможность маневра БТС для избежания наезда на дефектный участок. Во-вторых обработка изображения происходит с применением цифровых нейронных сетей в реальном времени.

#### Список литературы

1. Паспорт. Ультразвуковой датчик расстояния серии UDS.30 [Электронный ресурс]. URL: [https://ftp.totalkip.ru/report.local/pasp/Pasport\\_elhart\\_16281.pdf](https://ftp.totalkip.ru/report.local/pasp/Pasport_elhart_16281.pdf) (дата обращения: 20.01.2025)
2. Российские беспилотные автомобили от Cognitive Technologies [Электронный ресурс]. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/91992/> (дата обращения: 20.01.2025)
3. *Nikolay Evgenevich Kalenov, Irina Nikolaevna Sobolevskaya, Alexander Nikolaevich Sotnikov, Sergey Alexandrovich Kirillov*. The Use of 3D Visualization Technology Web-Collections for the Formation of Virtual Exhibitions [Электронный ресурс] //Conference on Scientific Services Internet - 2019. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:209778299> (дата обращения: 20.01.2025)
4. Мобильное лазерное сканирование [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intelnova.ru/mobile-scan> (дата обращения: 20.01.2025)
5. Система мобильного сканирования АГМ-МС7 [Электронный ресурс]. URL: <https://agmsys.ru/mscan/ms7-2100> (дата обращения: 20.01.2025)
6. Детекция дефектов дорожного покрытия без размеченных данных: Хакатон, LiDAR, RANSAC, ICP и 44 бессонных часов [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/765230/> (дата обращения: 20.01.2025)

## 2.3.1.

<sup>1</sup>А.В. Ганичева канд. физ.-мат. наук, <sup>2</sup>А.В. Ганичев<sup>1</sup>Тверская государственная сельскохозяйственная академия,  
кафедра физико-математических дисциплин и информационных технологий,<sup>2</sup>Тверской государственный технический университет,  
кафедра информатики и прикладной математики,  
Тверь, alexej.ganichev@yandex.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ**

*В статье разработаны новая математическая модель процесса ликвидации неудовлетворительных оценок в образовательной организации и метод определения эффективности этого процесса. Процесс ликвидации неудовлетворительных оценок рассматривается как система массового обслуживания.*

Ключевые слова: объект, признак, решение, класс, решение, иерархическая система, уровень.

**Введение**

Проблема повышения качества обучения является важной и актуальной, особенно в период коренной модернизации образовательного процесса. Повышение качества обучения может осуществляться комплексом учебно-воспитательных мероприятий, имеющих различную эффективность. Примерами таких мероприятий являются: выставление неудовлетворительных оценок, консультации, беседы, организация дополнительных занятий и т.д.

Причинами негативных явлений (факторов, влияющих на успеваемость учащихся) в образовательном процессе являются, например: слабое усвоение знаний, отсутствие навыков и умений, пропуски занятий, невыполнение аудиторных домашних заданий, плохое поведение на занятиях, болезнь, плохое влияние друзей, финансовое состояние и т.д. Негативные явления в учебе приводят в итоге к неудовлетворительным оценкам при проверке знаний. Поэтому будем называть все возможные мероприятия по устранению негативных явлений в учебе процессом ликвидации неудовлетворительных оценок («двоек»).

В работе авторов [3] разработан математический аппарат для исследования данного процесса. Он базируется на методах теории массового обслуживания. Предлагаемая статья является развитием разработанного в статье [3] метода.

**Материалы и методы**

Для описания процессов появления и ликвидации двоек у обучаемого (группы обучаемых) можно использовать модель марковского процесса с дискретными состояниями, называемого в теории массового обслуживания процессом «гибели и размножения» [1]. Граф, соответствующий данному процессу, показан на рис. 1.

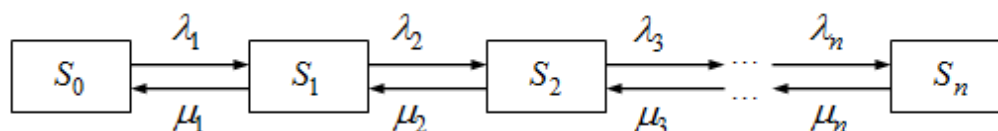


Рис. 1 - Схема процесса «гибели и размножения»

Состояния системы  $S_i$  ( $i = \overline{0, n}$ ) связаны с количеством двоек  $i$  у обучаемого (группы обучаемых). Так как осуществляется процесс ликвидации двоек, то  $S_n$  - начальное,  $S_0$  - конечное состояние системы.

Канал обслуживания ( $S_i$  ( $i = \overline{0, n}$ )) – это совокупность мероприятий по ликвидации двоек. Канал «канал занят» - мероприятия проводятся, канал «канал свободен» - мероприятия не проводятся. С каналами обслуживания связаны потоки полученных и ликвидированных двоек. Плотность первого потока (переводящего систему из состояния  $S_i$  в состояние  $S_{i-1}$ ) обозначим  $\lambda_i$ , плотность второго потока (переводящего систему из состояния  $S_{i-1}$  в состояние  $S_i$ ) обозначим  $\mu_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Будем считать, что плотности этих потоков не зависят от времени, т.е. потоки являются стационарными. Потоки можно считать ординарными, так как за достаточно малый промежуток времени в системе массового обслуживания заявок – двоек появляется и ликвидируется не более одной двойки. Для данных потоков характерно отсутствие последствия, так как для каждого из двух потоков можно считать, что количество полученных двоек (исправленных двоек) в будущий момент времени зависит только от их количества в настоящий момент и не зависит от того, каким образом система пришла в текущее состояние. Поэтому потоки 1 и 2 в рассматриваемой системе являются простейшими.

Для упрощения расчетов будем считать, что  $\lambda_i = \lambda_{i+1} = \lambda_i$  и  $\mu_i = \mu_{i+1} = \mu$  ( $i = \overline{1, n-1}$ ).

Данная модель ликвидации неудовлетворительных оценок является многоканальной системой массового обслуживания с отказами [1].

Основными характеристиками такой системы являются:

1) предельная интенсивность потока двоек  $\rho = \lambda/\mu$  (среднее число полученных двоек за среднее время ликвидации одной двойки);

2) вероятность отказа  $P_{отказа}$ , когда система находится в конечном состоянии  $P_n$  (получено предельное количество двоек, и новые двойки не могут быть исправлены, так как исчерпаны все учебно-воспитательные мероприятия):  $P_{отказа} = P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0$ ;

3) средняя доля двоек, ликвидируемых системой  $Q = 1 - P_{отказа} = 1 - \frac{\rho^n}{n!} P_0$ ;

4) среднее число двоек, которое может быть ликвидировано в системе за единицу времени:  $A = \lambda Q = \lambda \left( 1 - \frac{\rho^n}{n!} P_0 \right)$ ;

5) среднее количество ликвидированных двоек в результате проведенных мероприятий:  $\bar{k} = A/\mu$ .

Рассмотрим ситуацию, когда имеющихся в данный момент времени учебно-воспитательных мероприятий не достаточно на ликвидацию двоек и допускается задержка во времени в преодолении негативных явлений (имеется резерв незадействованных мероприятий). В этом случае образуется очередь двоек (длины  $m$ ). Тогда можно рассчитать характеристики системы массового обслуживания с очередью [1]: вероятности  $P_i$  ( $i = \overline{0, n+m}$ ),  $P_{отказа}$ ,  $q$ ,  $A$ , а также среднее число двоек в очереди.

### Результаты и их обсуждение

Переход системы из  $S_i$  в  $S_{i+1}$  происходит в результате осуществления ряда негативных факторов. Рассмотрим этот процесс при наличии четырех факторов: 1) самочувствие обучаемого ( $x_1$ ); 2) ситуация в семье ( $x_2$ ); 3) отрицательный пример друзей ( $x_3$ ); 4) способность самого обучаемого к изучению данной дисциплины ( $x_4$ ). В этом случае заявке - «двойке» можно поставить в соответствие вектор  $\beta_i = (x_{i_1}, x_{i_2}, x_{i_3}, x_{i_4})$ , имеющий длину

$$|\beta_i| = \sqrt{x_{i_1}^2 + x_{i_2}^2 + x_{i_3}^2 + x_{i_4}^2}. \quad (1)$$

В общем случае в переходный период из состояния  $S_i$  в состояние  $S_{i+1}$  плотность  $\lambda_i$  является функцией от  $|\overline{\beta}_i|$  и от  $|\overline{\beta}_i|^2$ , т.е.

$$\lambda_i = \phi_i(|\overline{\beta}_i|^2) \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что

$$\lambda_i = \varphi_i(x_{i_1}^2 + x_{i_2}^2 + x_{i_3}^2 + x_{i_4}^2). \quad (3)$$

Коэффициенты  $x_{i_1}, x_{i_2}, x_{i_3}, x_{i_4}$  вычисляются обычно на основе статистического материала.

Если для функции  $\phi_i (i = \overline{1, n})$  существует обратная функция  $\psi_i$ , причем  $|\overline{\beta}_i|^2 = \psi_i(\lambda_i)$ , то можно рассчитать  $x_{i_1}, x_{i_2}, x_{i_3}, x_{i_4}$  следующим образом.

Пусть имеется следующее соотношение факторов:

$$x_{i_1} : x_{i_2} : x_{i_3} : x_{i_4} = \alpha_{i_1} : \alpha_{i_2} : \alpha_{i_3} : \alpha_{i_4}, \quad (4)$$

Тогда из (4) получаем

$$\frac{x_{i_1}}{x_{i_2}} = \frac{\alpha_{i_1}}{\alpha_{i_2}}, \quad \frac{x_{i_1}}{x_{i_3}} = \frac{\alpha_{i_1}}{\alpha_{i_3}}, \quad \frac{x_{i_1}}{x_{i_4}} = \frac{\alpha_{i_1}}{\alpha_{i_4}}, \text{ т.е. } x_{i_2} = \frac{\alpha_{i_2} \cdot x_{i_1}}{\alpha_{i_1}}; \quad x_{i_3} = \frac{\alpha_{i_3} \cdot x_{i_1}}{\alpha_{i_1}}; \\ x_{i_4} = \frac{\alpha_{i_4} \cdot x_{i_1}}{\alpha_{i_1}}. \quad (5)$$

Из (3) и (5) находим  $\lambda_i = \phi_i \left[ \frac{x_{i_1}^2}{\alpha_{i_1}^2} (\alpha_{i_1}^2 + \alpha_{i_2}^2 + \alpha_{i_3}^2 + \alpha_{i_4}^2) \right]$ . Откуда

$$x_{i_1} = \frac{\psi_i^{\frac{1}{2}}(\lambda_i) \alpha_{i_1}}{\sqrt{\alpha_{i_1}^2 + \alpha_{i_2}^2 + \alpha_{i_3}^2 + \alpha_{i_4}^2}}; \quad x_{i_2} = \frac{\psi_i^{\frac{1}{2}}(\lambda_i) \alpha_{i_2}}{\sqrt{\alpha_{i_1}^2 + \alpha_{i_2}^2 + \alpha_{i_3}^2 + \alpha_{i_4}^2}}; \quad (6) \\ x_{i_3} = \frac{\psi_i^{\frac{1}{2}}(\lambda_i) \alpha_{i_3}}{\sqrt{\alpha_{i_1}^2 + \alpha_{i_2}^2 + \alpha_{i_3}^2 + \alpha_{i_4}^2}}; \quad x_{i_4} = \frac{\psi_i^{\frac{1}{2}}(\lambda_i) \alpha_{i_4}}{\sqrt{\alpha_{i_1}^2 + \alpha_{i_2}^2 + \alpha_{i_3}^2 + \alpha_{i_4}^2}}.$$

Вектор градиента  $\overline{\lambda}_i^0 = \text{grad} \lambda_i = \text{grad} \phi_i(x_{i_1}^2 + x_{i_2}^2 + x_{i_3}^2 + x_{i_4}^2)$  характеризует наискорейшее изменение проявлений рассматриваемых факторов 1) – 4).

Можно для данной задачи ввести и вектор ликвидации двоек:

$$\overline{\eta}_i = (y_{i_1}, y_{i_2}, y_{i_3}, y_{i_4}),$$

а также  $\overline{\eta}_i^0 = \text{grad} |\overline{\eta}_i| = \text{grad} \sqrt{y_{i_1}^2 + y_{i_2}^2 + y_{i_3}^2 + y_{i_4}^2}$ .

Угол между  $\overline{\lambda}_i^0$  и  $\overline{\eta}_i^0$  в оптимальном случае должен быть  $180^\circ$ .

### Заключение

Разработанный в статье метод можно использовать не только в учебном процессе, но и в других областях (производстве, сельском хозяйстве) для оптимальной ликвидации негативных факторов, а также оптимального решения организационных вопросов [2].

**Список литературы**

1. *Вентцель Е.С.* Исследование операций : задачи, принципы, методология. - Москва : КноРус, 2010. - 191 с.
2. *Ганичев А.В.* Оптимальное решение и оценка полезности организационных вопросов // Ярославский педагогический вестник, 2011. - Т. 3. - № 2. - С. 53.
3. *Ганичева А.В.* Оценка эффективности процесса обучения // Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2011. - № 2. - С. 134-137.

## 2.3.1.

**О.И. Гурьянова, И.А. Чупахин, И.В. Гурьянова**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
институт инженерных и цифровых технологий,  
кафедра прикладной информатики и информационных технологий,  
Белгород, 681476@bsuedu.ru

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОТРУДНИКОВ ДЛЯ УЧАСТИЯ  
В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УНИВЕРСИТЕТА**

*В данной статье предлагается методика оценки сотрудников для участия в проектной деятельности университета, состоящая из трех шагов: оценка общих навыков для участия в проектной деятельности, для конкретных направлений проектной деятельности и для конкретных проектов. Данная методика поможет университету эффективно оценивать навыки сотрудников и направлять их на проекты, где они могут наилучшим образом внести свой вклад в достижение целей проекта и университета в целом.*

Ключевые слова: *проектная деятельность, оценка сотрудников, компетенции, навыки, университет, стратегический проект.*

В современном мире учебные заведения все чаще вовлекаются в проектную деятельность, направленную на решение актуальных задач в различных областях знаний. Для успешной реализации проектов образовательным организациям необходимо иметь возможность подбирать сотрудников, обладающих необходимыми навыками, знаниями и опытом. В то же время, многие учебные заведения сталкиваются с трудностями при оценке сотрудников, в том числе из числа инженерно-технического, административно-хозяйственного или учебно-вспомогательного персонала, для участия в проектах, что может приводить к неэффективному использованию ресурсов и снижению качества проектов. Таким образом, разработка методологии оценки сотрудников для участия в проектной деятельности образовательной организации является актуальной задачей.

Вопрос оценки навыков сотрудников и их участия в проектной деятельности является актуальным и изучается многими учеными в различных областях, таких как управление персоналом, организация бизнеса, образование и другие. Существует ряд исследований и разработок, посвященных оценке сотрудников для участия в проектах в различных организациях. Так в работе Махмудовой И.Н. приведена подробная классификация методов оценки персонала и представлена оценка компетенций сотрудника через построение модели оценки его компетенций [1]. А Кулькова И.А. и Николаев Н.А. в своей работе обосновывают актуальность проблемы повышения вовлеченности персонала организации в его деятельность [2]. В статье Латышева А.С. представлены результаты исследования в контексте реализации стратегических программ развития персонала, проводимых на базе Тюменского государственного университета [3]. Эти работы отражают современные подходы к оценке навыков сотрудников в организациях, и могут служить полезным источником информации для разработки методики оценки сотрудников для участия в проектной деятельности.

Несмотря на наличие различных подходов и методологий оценки сотрудников для участия в проектах, нет единого решения, которое бы идеально подходило для всех организаций, в том числе и вузам. Это связано с тем, что каждый университет имеет свои уникальные особенности, такие как специфика проектной деятельности, культура и традиции, а также требования к сотрудникам, участвующим в проектах. Кроме того, многие университеты сталкиваются с ограниченными ресурсами и бюджетами, что может затруднять внедрение новых методологий оценки сотрудников.

В настоящее время Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ») участвует в реализации проекта «Приоритет 2030». В НИУ «БелГУ» определены следующие стратегические проекты [5]: «Наука XXI века», «Лидеры будущего», «Университет без границ».

Каждый стратегический проект уникален своими целями и содержит несколько кластеров (групп проектов). Для реализации проектов требуются специалисты, обладающие определёнными компетенциями, при этом компетенции сотрудника должны соответствовать не только стратегическому проекту, но и определённому его кластеру, и конкретному проекту. Перед НИУ «БелГУ» стоит вопрос правильного использования кадрового ресурса для участия в реализации проектов.

Предлагается авторская методика оценки сотрудников для участия в проектной деятельности университета состоящая из трех шагов.

Шаг 1: Оценка общих навыков для участия в проектной деятельности. Для участия в проектной деятельности университета сотрудники должны обладать следующими общими навыками:

- 1) Коммуникативные навыки: способность эффективно общаться и сотрудничать с другими членами команды, а также с внешними заинтересованными сторонами.
- 2) Навыки планирования и организации: способность спланировать и организовать свою работу и работу команды, чтобы достичь поставленных целей.
- 3) Навыки решения проблем: способность находить творческие решения для преодоления возникающих проблем и трудностей.
- 4) Навыки работы в команде: способность эффективно работать в команде, сотрудничать и поддерживать других членов команды.
- 5) Навыки управления временем: способность эффективно управлять своим временем и приоритетами, чтобы завершить проекты в установленные сроки.
- 6) Образование: наличие соответствующей степени или квалификации в области, связанной с проектной деятельностью.
- 7) Владение иностранными языками: способность общаться на иностранном языке, если это требуется для участия в проекте и другие.

Шаг 2: Оценка навыков для конкретных направлений проектной деятельности. После прохождения первого шага сотрудники могут быть направлены на одно из трех направлений проектной деятельности, связанных со стратегическими проектами. Для каждого направления требуются специфические навыки, так, например, для стратегического проекта «Лидеры будущего» необходимы следующие навыки.

- 1) Навыки преподавания: способность эффективно преподавать и обучать других.
- 2) Навыки разработки образовательных программ: способность разрабатывать и адаптировать образовательные программы.
- 3) Навыки работы с детьми и молодежью: способность эффективно работать с детьми и молодежью в различных образовательных и воспитательных контекстах.

Для стратегического проекта «Наука XXI века» нужны другие компетенции.

- 1) Научные навыки: способность проводить научные исследования и анализировать полученные данные.
- 2) Навыки написания научных статей: способность писать и публиковать научные статьи в рецензируемых журналах.
- 3) Навыки презентации: способность эффективно представлять научные результаты на конференциях и других научных форумах.

Шаг 3: Оценка навыков для конкретных проектов. После прохождения первых двух шагов сотрудники могут быть направлены на конкретные проекты внутри выбранного направления проектной деятельности. Для каждого проекта требуются специфические навыки, которые могут варьироваться в зависимости от целей и задач проекта. Например, проект по разработке нового образовательного курса может требовать навыков разработки образовательных программ и преподавания, а также навыков сотрудничества с другими

членами команды и внешними экспертами. Проект по проведению научного исследования может требовать научных навыков, навыков презентации и навыков сотрудничества с внешними партнерами, такими как другие университеты или организации. Проект по организации социального мероприятия может требовать навыков работы с сообществами, навыков организации мероприятий и навыков сотрудничества с внешними партнерами.

Данная методика позволяет не только определить сотрудников, наиболее подходящих для выполнения конкретного проекта, но и организовать работу по перенаправлению на другой проект в рамках стратегического проекта, на другой стратегический проект или отправить на обучение (переквалификацию). Рассмотрим возможные ситуации:

1) Если сотрудник не проходит по минимальным значениям по общим навыкам на первом шаге, он может быть направлен на обучение или развитие этих навыков перед участием в проектной деятельности.

2) Если сотрудник не проходит по минимальным значениям по специфическим навыкам для выбранного направления проектной деятельности на втором шаге, он может быть перенаправлен на другое направление, где его навыки будут более востребованы.

3) Если сотрудник не проходит минимальные значения по навыкам для проекта на третьем шаге, он может быть перенаправлен на другой проект внутри того же направления проектной деятельности, где его навыки будут востребованы. Также сотрудника можно направить на обучение или развитие этих навыков перед участием в проекте.

Предлагаемая методика поможет НИУ «БелГУ» эффективно оценивать навыки сотрудников и направлять их на проекты, где они могут наилучшим образом внести свой вклад в достижение целей стратегического проекта и университета в целом.

#### ***Список литературы***

1. *Махмудова И.Н.* Оценка персонала: учебное пособие / И.Н. Махмудова. – Самара: Издательство Самарского университета, 2024. – 80 с
2. *Кулькова И.А.* Методические положения по оценке и развитию факторов формирования вовлеченности персонала в деятельность предприятия / И.А. Кулькова, Н.А. Николаев // Известия УГГУ. 2016. Вып. 4(44). С. 88–93. DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-88-93
3. *Латышев А.С.* Новый подход к развитию профессиональных компетенций для повышения вовлеченности персонала университета в проекты стратегического развития / А.С. Латышев // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. 2020. №2 (65). С.65-79.
4. Программа развития университета на 2021–2030 годы в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030». - URL: <https://bsuedu.ru/bsu/2030/proj-str/> (дата обращения: 22.12.2024)

## 2.3.1.

**Ю.Г. Кабалдин, М.С. Аносов, С.В. Иванов, А.А. Акулова**

Нижегородский технический университет имени Р.Е. Алексеева,  
институт промышленных технологий машиностроения,  
кафедра технология и оборудование машиностроения,  
Нижний Новгород, uru.40@mail.ru, anosov-maksim@list.ru,  
ivanov.serega.2016@mail.ru, akulova.anna98@mail.ru

**ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С ПОКРЫТИЕМ  
НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ  
ЭМИССИИ АЛГОРИТМАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ И ФРАКТАЛОВ**

*На основе нейронной сети дана классификация сигналов АЭ и проведен их анализ алгоритмами теории фракталов и нелинейной динамики, для оценки трещиностойкости твердых сплавов с покрытием.*

Ключевые слова: *твердые сплавы, износостойкие покрытия, трещиностойкость, акустическая эмиссия, нейронные сети, фрактальный анализ, нелинейная динамика, вязкость разрушения.*

**Введение**

Твердые сплавы с покрытием широко применяются [1-4] при обработке резанием. Выбор состава покрытия определяется маркой твердого сплава, видом обрабатываемого материала, режимом резания и др. [3].

Одним из основных эксплуатационных характеристик покрытий, является их трещиностойкость. Имеются методы оценки трещиностойкости покрытий и твердых сплавов. При экспериментальном проведении исследований широко используется метод, основанный на внедрении алмазной пирамидки в покрытие [1], с регистрацией акустической эмиссии (АЭ). Однако широкому применению второго метода, препятствует отсутствие ПО, которое бы обеспечивало оценку трещиностойкости на основе анализа АЭ алгоритмами, основанными на подходах фрактального анализа и нелинейной динамики [5].

Целью работы является разработка структуры нейронной сети для проведения классификации сигналов АЭ и алгоритмы для их анализа при оценке трещиностойкости покрытий и прочности их сцепления с основой.

**Оборудование при проведении исследований**

Для проведения испытаний был изготовлен стенд (см. на рис.1).

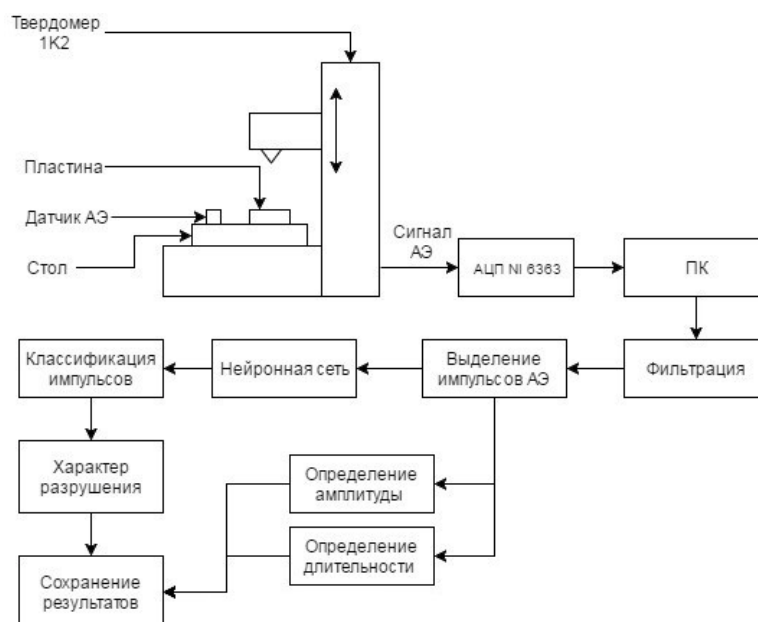


Рис. 1 - Принципиальная схема метода

В ходе каждого эксперимента, синхронно с процессом вдавливания алмазной пирамидки, регистрировались сигналы АЭ.

В процессе исследований, использовался твердый сплав ВК8 с покрытием: (AlSiTi)N, (AlTi)N + TiAl, (TiCr)N + TiCr.

#### Разработка программного обеспечения для расчета вязкой и хрупкой составляющей сигналов АЭ

При нагружении образца происходит динамическая локальная перестройка структуры материала покрытия, вызывающая испускания акустических волн. Данные упругие волны формируют сигнал АЭ, который представляет собой последовательность импульсов различной энергии, длины, амплитуды и частоты, которые несут информацию о структурном состоянии материала. Пример сигнала АЭ показан на рис.2.

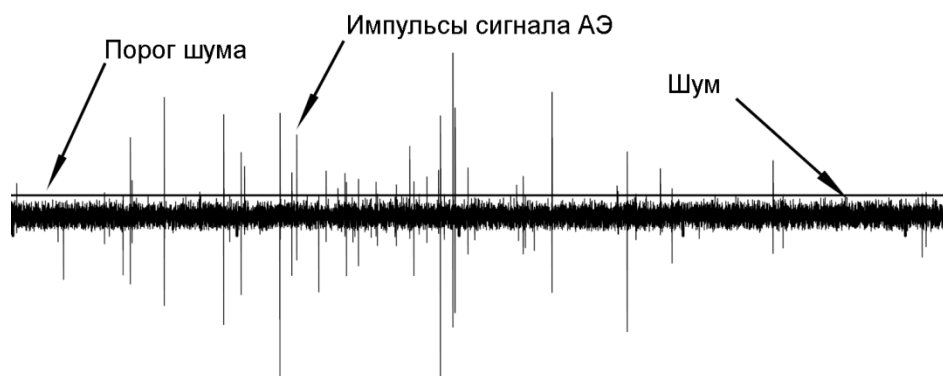


Рис. 2 - Типичный сигнал АЭ

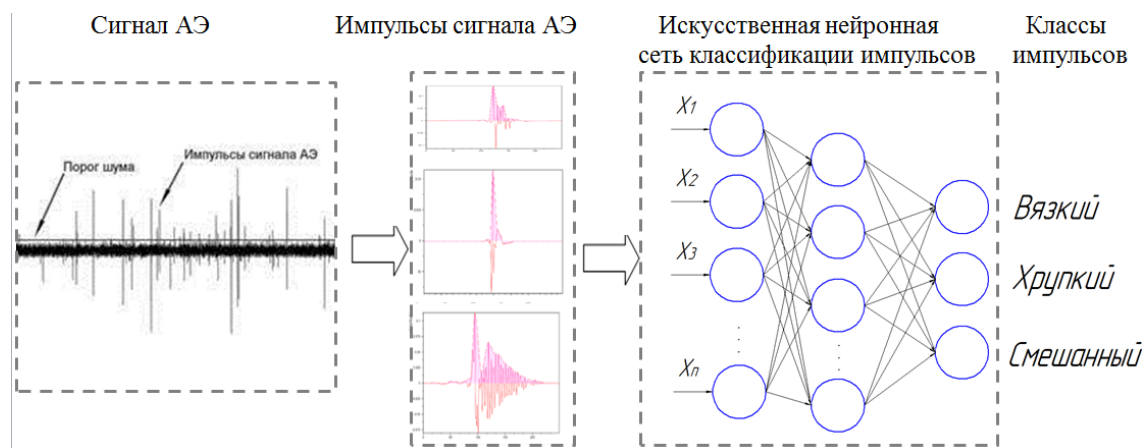


Рис. 3 - Структурная схема распознавания механизма разрушения материала по сигналу АЭ

Для обработки сигналов АЭ, было разработано ПО, позволяющее выявлять и классифицировать импульсы в сигнале АЭ на основе нейронной сети [6]. Структурная схема распознавания механизма разрушения (хрупкий или вязкий) материала по сигналу АЭ представлена на рис.3.

На вход ИНС подаются параметры импульса  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (амплитудное распределение), на выходе определяется класс импульса (хрупкий, вязкий, смешанный).

#### Результаты исследований

Данные, полученные с датчиков акустической эмиссии, обрабатывались в LabView при помощи компонента DAQ Assistant.

Результаты экспериментальных исследований для образцов, участвующих в эксперименте, представлены на рис. 4, 5.

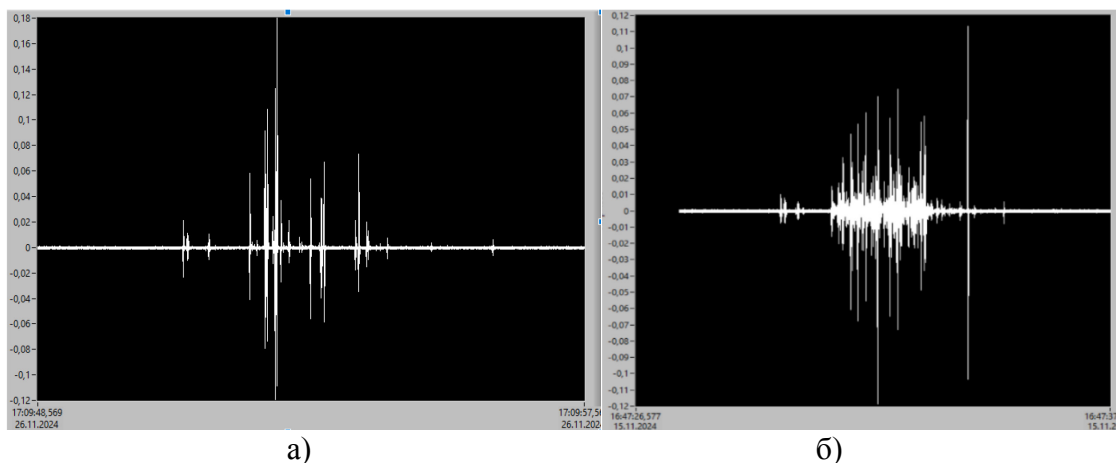


Рис. 4 - Сигнал АЭ для образца с покрытием а) (AlSiTi)N; б) (AlTi)N + TiAl

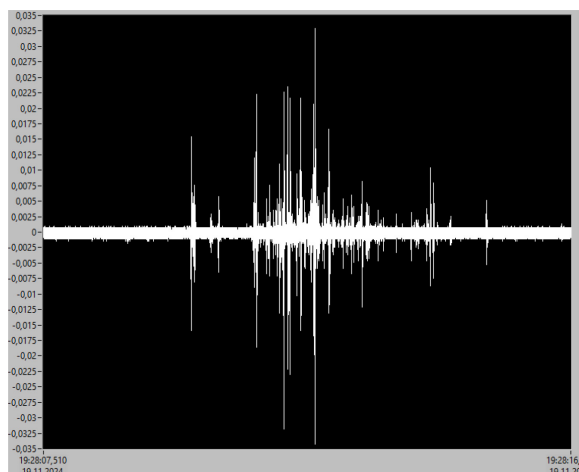


Рис. 5 - Сигнал АЭ для образца с покрытием (TiCr)N + TiCr

Из рис. 4 и 5 следует, что сигналы АЭ характеризуются постоянной составляющей сигнала и всплесками импульсов АЭ.

Анализ полученных классов импульсов в сигнале АЭ показал, что в общем случае можно выделить 3 основных класса:

1 - Импульсы малой амплитуды и относительно большой длительности, которые возникают в результате микропластической деформации и ответственны за вязкое разрушение;

2 - Импульсы большой амплитуды и относительно малой длительности, которые возникают в результате страгивания и развития трещин, которые характерны для хрупкого разрушения;

3 - Импульсы, для которых характерны признаки указанных обоих типов разрушения или их чередование.

С применением разработанного ПО [6], было рассчитано отношение хрупкой и вязкой составляющих. Данные представлены на рисунке 6.

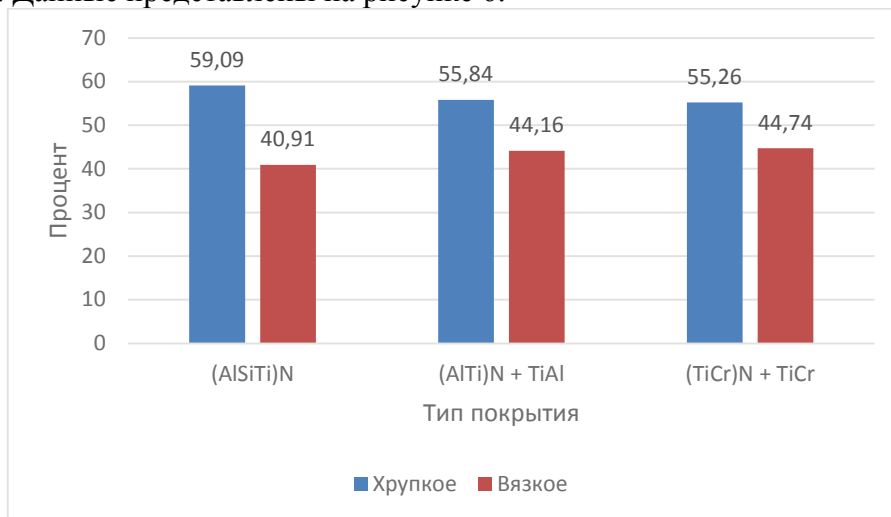


Рис. 6 - Гистограмма хрупкой и вязкой составляющих

Выводы:

1. Разработана структура нейронной сети и ПО для классификации сигналов АЭ;  
 2. Разработано ПО для оценки трещиностойкости твердых сплавов с покрытием. Показано, что наиболее высокой трещиностойкостью обладает твердый сплав с покрытием (AlTi)N + TiAl.

3. Проведена регистрация разработанного ПО. По результатам исследований даны рекомендации заводу ОКБМ (г. Н.Новгород) при выборе состава покрытий для твердого сплава.

**Список литературы**

1. Кабалдин Ю.Г. Структура, прочность и износостойкость композиционных инструментальных материалов. - Владивосток: Дальнаука, 1996. - 183 с
2. Твердосплавные инструменты и процессы механообработки. Под ред. Н.В.Новикова, Киев, Институт сверхтвердых материалов им. В.И.Бакуля, 2015. 368 с.
3. Кабалдин Ю.Г., Кретинин О.В., Шатагин Д.А. и др. Выбор состава и структуры износостойких наноструктурных покрытий для твердосплавного режущего инструмента на основе квантово-механического моделирования. М.: Москва, Инновационное машиностроение, 2017. 127 с.
4. Верещак А.С. Третьяков Ц.П. Режущий инструмент с износостойким покрытием. М.:Машиностроение. 1986, с.192.
5. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: УРСС, 2000. – 336 с.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023666461. Российская Федерация. Программа для расчета количественных показателей сигнала акустической эмиссии: № 2023665753: заявл. 26.07.2023: опубл. 01.08.2023 / Ю. Г. Кабалдин, Д. А. Шатагин, М. С. Аносов, С. В. Иванов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева". – EDN CNWLIP.

2.3.1.

<sup>1</sup>Д.Ю. Карандеев, <sup>2</sup>Р.И. Баженов

<sup>1</sup>Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,  
Инженерно-технологический институт, кафедра цифровых технологий и дизайна,  
Абакан, DenisKhsu@bk.ru,

<sup>2</sup>Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема,  
факультет математики, информационных технологий и техники,  
Биробиджан

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ**

*В статье рассматривается проблема оптимизации распределительных сетей. Выявляются возможности применения методов глубокого обучения для оптимизации распределительных сетей с учетом критерия структурной надежности. Проводится анализ и выбор оптимального вида нейронной сети для решения поставленной задачи. Предлагается разработка новой нейросетевой архитектуры на базе алгоритмов глубокого обучения, при этом особое внимание уделяется вопросу учета критерия структурной надежности.*

Ключевые слова: *методы глубокого обучения, оптимизация, распределительные сети, надежность, графовые нейронные сети.*

Современные энергетические системы сталкиваются с возрастающими требованиями к надежности и устойчивости функционирования. Топология распределительных сетей играет ключевую роль в обеспечении бесперебойного электроснабжения потребителей. Задача анализа топологий распределительных сетей заключается в оценке надежности и устойчивости системы электроснабжения, а также в определении критически важных участков сети, подверженных риску отказов [1]. Традиционные методы анализа топологий распределительных сетей основываются на использовании математического моделирования, статистических методов и линейном программировании, однако они не всегда способны адекватно отражать динамические процессы, происходящие в сетях, и учитывать все факторы, влияющие на надежность и устойчивость системы [2].

В последние годы значительное развитие получили методы машинного обучения, включая нейросетевые технологии глубокого обучения, которые позволяют обрабатывать большие объемы данных и находить скрытые закономерности, недоступные традиционным аналитическим подходам. Глубокое обучение – это подход к обучению нейронных сетей, который позволяет им решать сложные задачи, такие как распознавание изображений, речи или текста. Целью настоящей работы является исследование возможностей применения методов глубокого обучения для оптимизации распределительных сетей. В начале необходимо определиться с классом нейронных сетей [3], архитектура которой будет разрабатываться в рамках дальнейших исследований. В целом можно выделить такие классы нейронных сетей как:

1. Полносвязные сети – это простейший вид нейронной сети, в которой каждый узел одного слоя соединен со всеми узлами следующего слоя. Такие сети подходят для задач, где данные имеют простую структуру.

2. Свёрточные нейронные сети (CNN) – эти сети чаще всего применяются для обработки изображений, в них применяются фильтры (свёртки), которые позволяют находить важные особенности на изображении, такие как края объектов или их формы.

3. Рекуррентные нейронные сети (RNN) – данные сети в основном используются для работы с последовательными данными, такими как тексты или временные ряды, они обладают памятью, что позволяет учитывать контекст.

4. Долгая краткосрочная память (LSTM) – это особый вид рекуррентных сетей, разработанный для решения проблемы забывания информации в длинных последовательностях. Используется для машинного перевода и прогнозирования временных рядов.

5. Генеративно-состязательные сети (GAN) – это нейронные сети, состоящие из генератора и дискриминатора. Генератор создаёт новые данные, а дискриминатор пытается отличить настоящие данные от поддельных. Применяются для создания изображений, музыки и текстов.

6. Трансформеры – современные нейросетевые архитектуры для обработки естественного языка. Используют внимание для одновременной обработки различных частей ввода, лежат в основе моделей типа GPT.

7. Резидуальные сети (ResNet) – сети, решающие проблемы потери сигнала в глубоких сетях за счёт добавления прямых связей между слоями, тем самым улучшают точность и стабильность обучения.

8. Капсульные сети (Capsule Networks) – улучшают понимание пространственных отношений между объектами, объединяя разные признаки объекта в одно представление (форму, размер и т.д.).

9. Графовые нейронные сети (GNN) – это нейронные сети для работы с графовыми структурами данных. Данный класс можно назвать одним из перспективных направлений развития методов анализа сетевых топологий, т.к. они обладают уникальными возможностями для обработки графовых структур данных.

Как видно для оптимизации распределительных сетей и предсказания возможных мест отказов с использованием нейронных сетей наиболее подходящими являются графовые нейронные сети [4]. Связано это с тем, что они разработаны для работы с графовыми структурами, такими как социальные сети и т.д., и позволяют учитывать не только физические характеристики элементов сети, но и их взаимозависимости, что существенно повышает точность анализа и прогнозирования поведения сети. Также они обладают такими преимуществами как:

1. Графовая природа данных. В силу того, что распределительные сети можно представить в виде графов, то графовые нейронные сети лучше всех остальных могут позволить эффективно обработать такие структуры, учитывая взаимосвязь узлов и их характеристики.

2. Интеграция топологических характеристик. GNN способны учитывать топологические свойства графа, такие как степень узла, центральность, кластеризация и другие метрики, которые важны для анализа надежности сети. Это позволяет моделировать влияние отказов на соседние компоненты и оценивать вероятность каскадных сбоев [5].

3. Обработка разнородных данных. Электрические сети могут содержать различные типы компонентов (например, трансформаторы) с разными характеристиками. GNN поддерживают работу с гетерогенными графами, где разные типы узлов и ребер могут иметь свои свойства.

4. Предсказание отказов. GNN могут быть обучены на исторических данных об отказах и текущих показателях работы сети (нагрузка, температура и т.д.) для прогнозирования возможных отказов. Модели могут учитывать как локальную информацию о компонентах, так и глобальные характеристики сети.

В рамках исследования рассматривались различные архитектуры GNN, включая Graph Convolutional Networks (GCN), Graph Attention Networks (GAT) и GraphSAGE, и был проведен сравнительный анализ их эффективности в контексте задачи анализа топологий распределительных сетей. Особое внимание уделялось вопросам интеграции исторических данных об отказах и текущих показателей работы сети для предсказания вероятных мест будущих отказов.

В качестве инструментария был выбран язык программирования Python с библиотеками PyTorch и PyTorch Geometric, а также среда PyCharm, в которой были реализованы все три архитектуры GNN, при этом каждая модель была обучена на исторических данных и протестирована на независимых тестовых данных. Для проведения эксперимента использовались реальные данные одной из распределительных сетей Республики Хакасия. Данные включали информацию о топологии сети, технических характеристиках элементов сети, а также исторические данные об отказах за последние пять лет.

Результаты экспериментов показали, что каждая из архитектур имеет свои достоинства и недостатки:

- GCN: показала хорошую точность и быстроту обучения, но она подходит лишь для небольших и средних сетей;
- GAT: продемонстрировала высокую точность предсказаний благодаря использованию механизма внимания, но требует большее количество ресурсов и времени для обучения;
- GraphSAGE: эффективна для работы с большими графами, позволяет масштабировать решение на крупные сети, но менее точная.

Анализ показал, что все модели смогли идентифицировать критически важные участки сети, хотя распределение предсказанных отказов различалось. GAT продемонстрировала наиболее плотное скопление предсказаний в зонах с историческими отказами, что подтверждает её высокую точность и эффективность.

Проведенное исследование показало, что графовые нейронные сети являются эффективным инструментом для оптимизации распределительных сетей, т.к. позволяют учитывать сложную динамику взаимодействий между элементами сети и более точно предсказывать места возможных отказов. На основании проведенного анализа предлагается разработка новой архитектуры GNN (в частности, на основе GAT) для оптимизации процессов мониторинга и управления распределительными сетями, что должно способствовать снижению риска аварийных ситуаций и повышению надежности энергосистем. Результаты данного исследования могут быть востребованы в практической деятельности компаний, занимающихся эксплуатацией и обслуживанием распределительных сетей.

#### **Список литературы**

1. Farag Reda, Achintya Haldar A novel reliability evaluation method for large engineering systems // Ain Shams Engineering Journal. – 2016. – P. 1-13.
2. Дулесов А.С., Карандеев Д.Ю. Построение оптимальной структуры технической системы методом "ветвей и границ" с учетом критериев экономичности и надежности // Надежность и безопасность энергетики. – 2016. – № 2(33). – С. 56-59.
3. Созыкин А.В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. Т. 6, № 3. С. 28–59. DOI: 10.14529/cmse170303.
4. Khemani B., Patil S. A review of graph neural networks: concepts, architectures, techniques, challenges, datasets, applications, and future directions // J Big Data, № 11, 2024.
5. Тимофеева О.П., Гордеев М.М., Санников А.Н. Графовые нейронные сети в решении задач с сетевой структурой // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2023. №3 (142).

## 2.3.1.

**С.А. Ращепкина канд. техн. наук, В.Н. Попова**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал),  
кафедра промышленного и гражданского строительства,  
Балаково, rashh2008@mail.ru, bblackcoffee@yandex.ru

**К РАСЧЕТУ ШАРОВОЙ ЕМКОСТИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИРА**

*В статье на основе приведенного сравнения усилий аналитического и компьютерного расчетов шаровой емкости выявлено, что значение усилий, рассчитанные аналитическим путем имеют близкие значения, с данными полученные в программном комплексе. Это позволит использовать программный комплекс Лира для расчета и анализа работы шаровой емкости на разные нагрузки и воздействия, что существенно сократит время на выполнение численных расчетов в процессе проектирования важной конструкции.*

Ключевые слова: металл, шаровая емкость, аналитический и компьютерный расчет, усилия, анализ.

В настоящее время в нашей стране наблюдается интенсивное развитие нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей отраслей, увеличивается парк емкостей различного назначения. Для хранения сжиженных газов, жидкого аммиака, углеводородов и нефтяных и газовых веществ очень востребованы шаровые емкости. При проектировании шаровых емкостей требуется учитывать тонкостенность оболочки при расчете на прочность и устойчивость, как в заполненном, так и опорожненном состоянии в соответствии с обновленными нормативными документами [1-2].

Шаровые емкости должны быть экономичными и надежными при различных воздействиях и нагрузках, что отражается в статье [3], которая посвящена формализации процесса технического диагностирования опасных производственных объектов – шаровых емкостей, как составной части контроля качества изделия при его эксплуатации.

При расчете сложных конструкций в процессе их исследования применяются различные программные комплексы. В работе [4] при расчете шаровой емкости использовалась программа SCAD, где численное моделирование позволило определить параметры напряженно-деформированного состояния конструкции с погрешностью не более 5 %, а в статье [5] использована программа STAR-CD. В работе [6] предлагается расчет и анализ тонкостенных оболочечных конструкций «методом жесткости» с использованием программы C++. Все указанные программы используются в практике проектирования строительных конструкций, имеют свои преимущества. В данной статье применялся программный комплекс Лира [7].

Целью данной работы является – выявить сходимости результатов расчёта шаровой емкости аналитическим методом и с помощью программного комплекса Лира; оценить влияние разных нагрузок на усилия в шаровой емкости.

Расчет велся при следующих исходных данных: объем  $V=2500\text{ м}^3$ , диаметр  $D=18\text{ м}$ , толщина оболочки  $t=12\text{ мм}$ , избыточное давление  $P_{\text{изб.}}=320\text{ кН/см}^2$ , удельный вес  $\gamma=0,95\text{ т/м}^3$ , снеговая нагрузка для IV района, ветровая нагрузка для III района. Емкость опирается на трубчатые стойки расположенные по периметру. Материал – сталь С345.

*Аналитический расчет.* Схемы действия нагрузок приняты согласно СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Расчет велся по безмоментной теории на следующие нагрузки: постоянную (собственный вес), снеговую, ветровую, гидростатическую (вес содержимого), избыточное давление. Аналитические расчеты (табл.) выполнялись согласно алгоритму, приведенному в работе [1].

Анализ результатов аналитического расчета стальной шаровой емкости (табл.1) позволил выявить:

- наибольшие усилия возникают от гидростатического давления, как верхнем полушарии, так и нижнем;
- от ветровой нагрузки в точке  $45^0$  кольцевые усилия превышают меридиональные в 3,5 раза; при этом в точке  $90^0$  они максимальные;
- усилия от собственного веса в сравнении с гидростатическим давлением меньше в несколько раз (24-150).

Таблица – Погонные усилия в шаровой емкости

$\varphi^0$	Верхнее полушарие			Нижнее полушарие		
	$0^0$	$45^0$	$90^0$	$90^0$	$45^0$	$0^0$
усилия от собственного веса						
$T_1^{Pd}, \text{кН/м}$	-5,49	-6,43	-10,98	10,98	6,43	5,49
$T_2^{Pd}, \text{кН/м}$	-5,49	-1,33	10,98	-10,98	1,33	5,49
усилия от снеговой нагрузки						
$T_1^{Sg}, \text{кН/м}$	-9	-9	-9	0	0	0
$T_2^{Sg}, \text{кН/м}$	-9	0	9	0	0	0
усилия от ветровой нагрузки						
$T_1^w, \text{кН/м}$	0	0,64	0	0	0,64	0
$T_2^w, \text{кН/м}$	0	2,27	4,104	4,104	2,27	0
усилия от гидростатического давления						
$T_1^{Pz}, \text{кН/м}$	-135	-167,76	405	405	977,76	945
$T_2^{Pz}, \text{кН/м}$	135	405	405	405	405	675

Таким образом, при порожней шаровой емкости основной нагрузкой является собственный вес, а при заполненной – гидростатическое давление.

Расчет емкости в ПК Лира. Сравнительный анализ аналитического и компьютерного расчетов. В программном комплексе Лира в основе заложен метод конечных элементов, реализованный в виде перемещений, обладающий простотой алгоритмизации и доступности его использования. Программный комплекс автоматически присваивает пространственной модели емкости, следующие универсальные конечные элементы: тип 44 – четырёхугольный КЭ оболочки; тип 42 – треугольный КЭ оболочки [7]. В качестве примера на рис. 1 показаны результаты расчета в верхнем полушарии в точке  $90^0$ , где напряжения составляют  $\sigma_y = -839,26 \text{ кН/м}^2$ . Напряжения во всех интересующих точках представляются в табличной форме (рис.1,г). Значение погонного меридионального усилия в рассматриваемой точке вычисляется по выражению:

$$T_y = T_1^{Pd}(45^0) = \sigma_y \cdot t_{ст} = -839,26 \cdot 0,012 = -10,07 \text{ кН/м}.$$

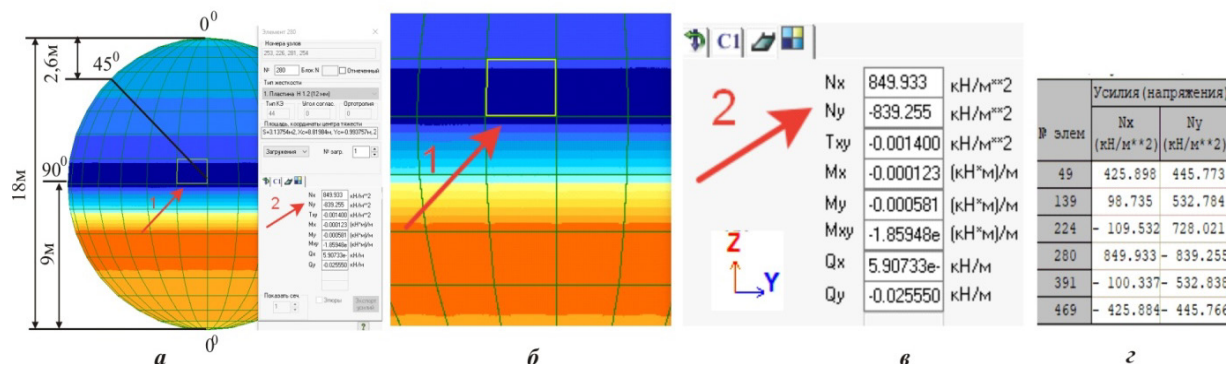


Рис. 1 – К расчету стальной шаровой емкости

На рис.1 обозначено: а – градуировка емкости в конечно элементном виде и мозаика напряжений от постоянной нагрузки (собственного веса); б – фрагмент мозаики напряжений; в – напряжения в точке  $90^\circ$  (в элементе №280); г – фрагмент таблицы напряжений; 1 – рассматриваемый элемент 280; 2 – напряжение по  $N_y$  в точке  $90^\circ$ .

Для исследования сходимости аналитического и компьютерного расчетов усилий в стальной шаровой емкости от действия собственного веса были построены номмограммы (рис.2). Сравнение аналитического и компьютерного расчетов стальной шаровой емкости выявил следующее:

– в точках  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  верхнего полушария имеется хорошая сходимость усилий, как меридиональных, так и кольцевых; погрешность составляет 0,62% – 8,29%;

– большое расхождение имеется в нижнем полушарии (в точке  $90^\circ$ ), которое составляет более 20%; по всей видимости, большая погрешность вызвана не учетом опор (стоек) в аналитическом расчете.

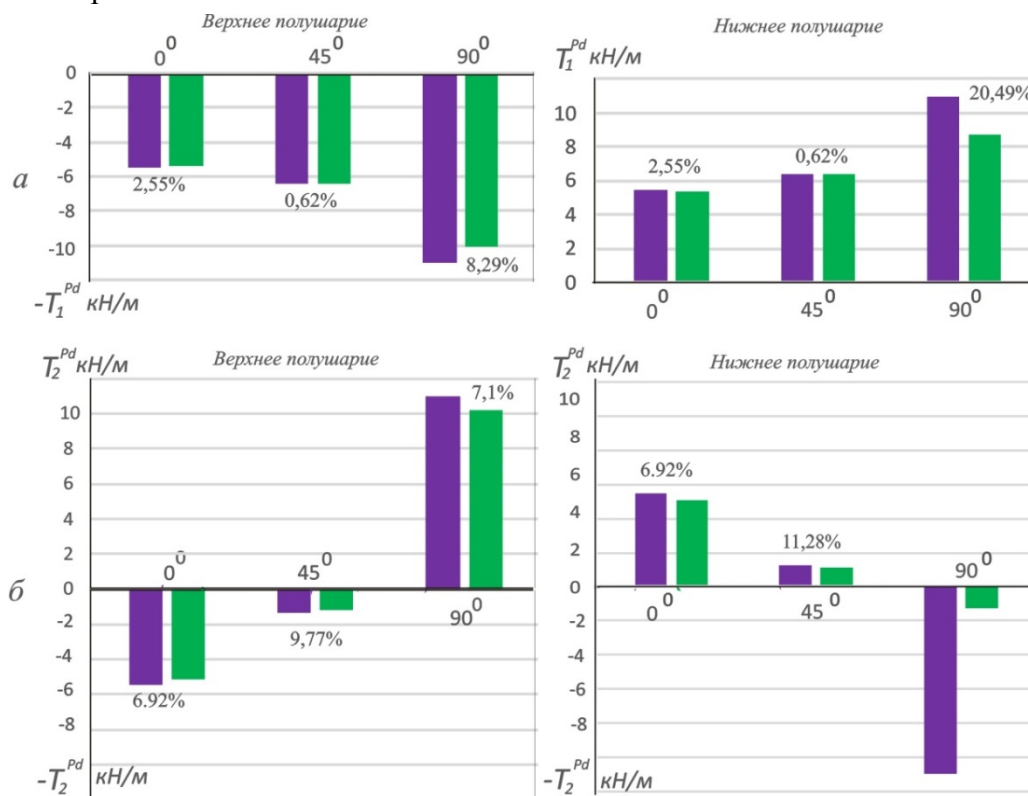


Рис. 2 – Усилия в полушариях: а – меридиональные; б – кольцевые

Исследования по распределению напряжений (усилий) в шаровой оболочке. Представлены изополя напряжений от различных нагрузок: постоянной, снеговой, ветровой нагрузок и гидростатического давления жидкости (рис.3).

Анализ изополей напряжений в шаровой емкости (рис.3) выявил:

– от действия постоянной нагрузки наблюдаются большие значения напряжения по всей оболочке; при этом максимальные напряжения у экватора в направлении  $N_x$  и в нижней части оболочки по направлению  $N_y$  (меридиональном). Разница по максимальным напряжениям по  $N_x$  и по  $N_y$  составляет 2,8%, а по минимальным – 5,4 %;

– при действии снеговой нагрузки максимальные усилия возникают практически по всей оболочке по направлению  $N_x$ ; в то время как в верхней части по направлению  $N_y$  они практически нулевые;

– при действии ветровой нагрузки наблюдаются максимальные напряжения как положительные, так и отрицательные по направлению  $N_x$ , однако они заметно меньше по направлению  $N_y$ ;

– в верхнем и нижнем полушариях емкости при действии гидростатической нагрузки имеется очень большая разница по напряжениям в кольцевом направлении.

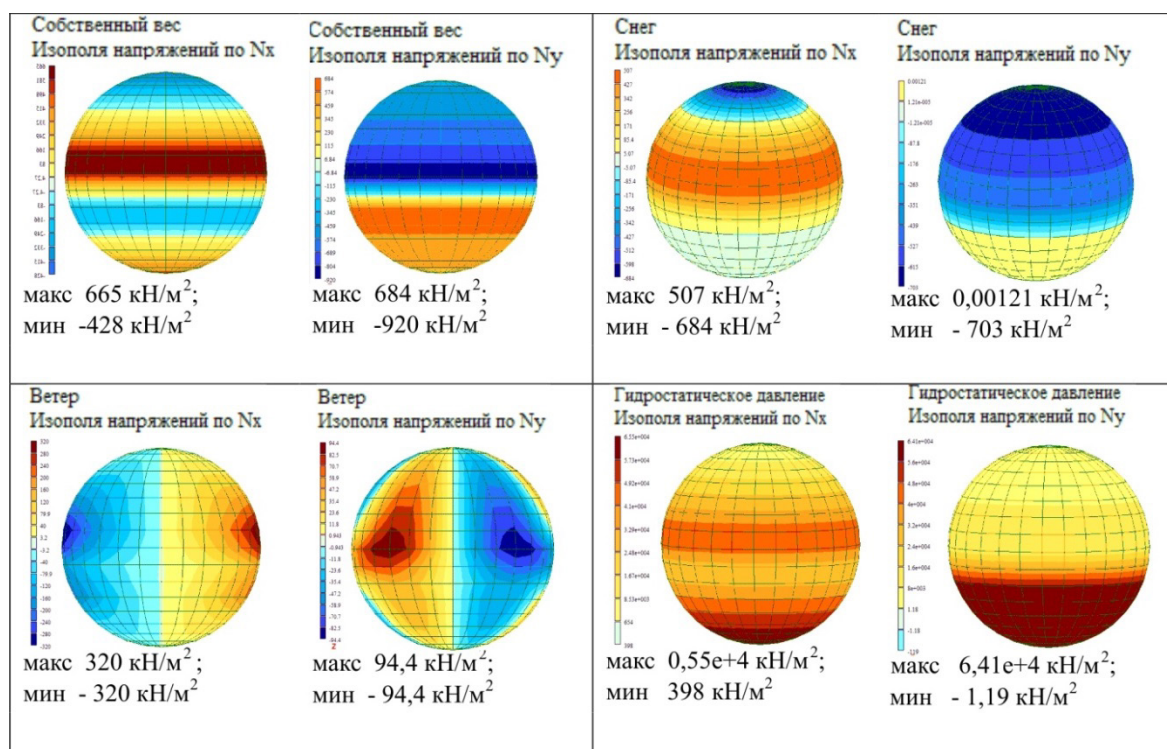


Рис. 3 - Изополюс напряжений в шаровой емкости от различных нагрузок

Таким образом, компьютерные расчеты показали сложное напряженное состояние шаровой емкости при действии разных нагрузок; имеется большой разброс напряжений по поверхности полушарий.

**Выводы.** Шаровая емкость широко применяются в различных отраслях промышленности. Показано, что значение усилий, рассчитанные аналитически и в программном комплексе Лира имеют близкие значения. Это позволяет рекомендовать программный комплекс Лира в процессе проектирования стальных шаровых емкостей. Применение программного комплекса Лира заметно сократит время на выполнения численных расчетов. Особенно это важно при вариантном проектировании. Анализ напряжений показал сложное напряженное состояние шаровой оболочки.

### Список литературы

1. Ращепкина С.А. Проектирование шаровых емкостей для углеводородов / С.А. Ращепкина, А.А. Землянский, И.В. Захарченко / Саратов: СГТУ. 2010. – 80 с.
2. Марюшко Ю.С. Необходимость актуализации нормативно-технической базы по шаровым резервуарам // Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ / Ю.С. Марюшко, М. Э. Дусалимов, А. С. Глазков, Т.Р. Насибуллин. – 2018, №5-6. – С. 23-27.
3. Бирюкова Е.В. Шаровые резервуары для хранения сжиженных газов. Разработка технологических карт визуально-измерительного и акустико-эмиссионного контроля // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов / Е.В. Бирюкова, Н.П. Калиниченко. – 2008. – С. 388-390.
4. Каравайченко М.Г. Численное моделирование двустенного шарового резервуара // Записки Горного института / М.Г. Каравайченко, Л.И. Газалеев. – 2020, Т.245. – С. 561-568.
5. Атаманчук А.В. Ветровые нагрузки на элементы трехгранных башен и пакеты вытяжных труб // Металлические конструкции / А.В. Атаманчук, И.С. Холопов, Д.Д. Чернышев. – 2007, Т.13, №1. – С. 17-24.
6. Григорьев И.В. Деформирование, устойчивость и колебания оболочечных конструкций / И.В. Григорьев, В.И. Прокопьев, Ю.В. Твердый / М.: АСВ, 2007. – 208 с.
7. Городецкий А.С. Программный комплекс ЛИРА-САПР // А.С., Городецкий, М.А. Ромашкина, В.П. Титок [Электронный ресурс] URL: [https://rflira.ru/files/lirasapr/Book\\_LIRA\\_SAPR\\_2018](https://rflira.ru/files/lirasapr/Book_LIRA_SAPR_2018) (дата обращения: 10.12.2024).

## 2.3.1.

**В.Н. Фиошина, К.И. Сенникова, А.А. Городов**

Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева,  
Красноярск, skristina\_0512@mail.ru

**КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА**

*В данной работе предлагается обобщённая классификация задач, связанных со статистическим анализом текста. Описываются некоторые формулировки этих задач, а также рассматриваются их особенности. Особое внимание уделяется аспектам эффективного их применения.*

Ключевые слова: *статистика, методы, решение задач, текстовые данные, анализ.*

В современном мире при наличии большого количества информации, в том числе текстовой, возникает потребность в правильном хранении и размещении ее в соответствующих системах [1].

Задачи статистического анализа текстов широко используются в самых разных областях науки и практики, включая лингвистику, информатику, социологию, маркетинг и многие другие. Также, они включают различные методы и подходы для обработки текстовой информации с целью извлечения полезных данных, выявления закономерностей и принятия решений на основе этих данных.

Для решения задач статистического анализа текстов формируются разные результаты. В работах А. Хрулева «Определение автора по тексту на естественном языке [2] и А.С. Романова «Методика и программный комплекс для идентификации автора неизвестного текста» [3], основной акцент сделан на выявление авторства. Другие исследования направлены на классификацию текстов [4, 5], причем с позиции антиплагиата.

В работах James Pennebaker [6] рассматривает использование местоимений в речи и письме, а также то, как они отражают психологические особенности человека. Этот подход известен как лингвистический инквизири. Аналогичный подход для изучения тональности текста и настроений социума применяется в [7] и [8].

Довольно часто, статистический анализ текста используется в коммерческих целях таких, как продвижение продукции [9 - 11], изменения финансовых котировок [12], продвижение контента и сопутствующей рекламы [13 - 14]. По мимо этого анализ текста может служить помощником при поиске информации или обучении нейронных сетей в лингвистическом анализе [15 - 17].

Это лишь некоторые примеры исследований, в которых применяются задачи статистического анализа текстов. В каждой области существуют свои специфичные подходы и инструменты, но все они направлены на извлечение полезной информации из текстовых данных.

Для выявления недостающих типов задач и формулировок требуется систематизировать существующие подходы и терминологию, определить пробелы и дополнить их.

В целом можно выделить три основных вида классификационных признаков:

- 1) по типу решения задач;
- 2) по методологическому аппарату решения задачи;
- 3) по предметной области.

Рассмотрим классификацию по типу решения задач (рисунок 1).

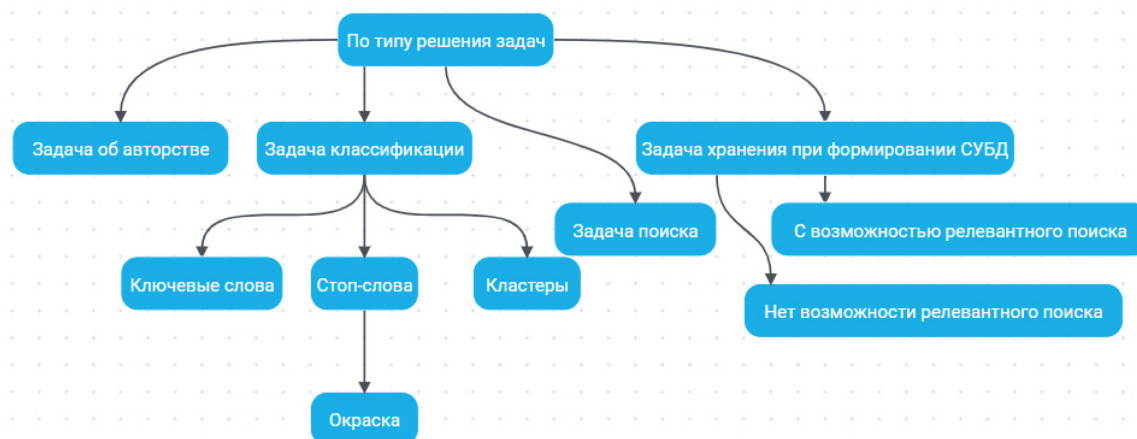


Рис. 1 – Классификация задач по типу решаемой задачи

По методологическому аппарату классифицировать задачи можно следующим образом:

1. Частотный анализ: определение частоты встречаемости слов (словоупотребление), построение частотных словарей, выявление наиболее часто используемых терминов.

2. Анализ ключевых слов: идентификация ключевых слов, которые характеризуют содержание текста, оценка важности отдельных слов или фраз для понимания смысла текста, тематическое моделирование.

3. Кластеризация текстов: группировка схожих текстов на основании их содержания, применение алгоритмов кластеризации для разделения больших наборов текстов на группы.

4. Сегментация текста: разбиение длинных текстов на более мелкие части (абзацы, предложения) для дальнейшего анализа, обнаружение границ предложений, абзацев и других структурных элементов текста.

5. Лемматизация и стемминг: приведение слов к базовой форме (лемма), что позволяет сгладить различия между формами одного слова, снижение размерности пространства признаков за счет объединения различных форм слов.

6. Коллокационный анализ: изучение устойчивых сочетаний слов (коллокаций), которые часто встречаются вместе, анализ контекста использования слов и выявление связей между ними.

7. Оценка тональности и эмоциональной окраски: определение эмоциональной нагрузки текста (позитивная, негативная, нейтральная), автоматическая классификация отзывов, комментариев и других видов пользовательского контента по эмоциональному содержанию.

8. Извлечение сущностей: поиск именованных сущностей (имена людей, названия мест, организаций и т.д.) в тексте, создание базы знаний на основе извлеченных сущностей.

9. Классификация текстов: назначение меток категориям текстов (например, спам/не-спам, новости/соцсети и т.п.), применение классификационных моделей для автоматической разметки новых текстов.

10. Предсказание следующего слова: моделирование вероятностных распределений для предсказания следующего слова в предложении, использование языковых моделей для генерации текста.

11. Генерация текста: создание нового текста на основе существующих данных, использование нейросетевых моделей для создания реалистичных текстов.

Эти задачи могут быть решены как вручную, так и с использованием специализированных программных инструментов и библиотек, таких как NLTK, spaCy, gensim, scikit-learn и другие [18].

В рамках лингвистики задачи классифицируются по предметной области, определяющей их специфику. Лингвистические задачи включают определение языковых связей, отношений и зависимостей. В основе методов статистического анализа текстов лежат следующие задачи:

- Определение ключевых тем и топигов в тексте, что важно для анализа новостей и литературы.
- Анализ частотности использования слов и фраз, позволяющий выявлять наиболее распространенные лексемы.
- Выявление закономерностей и паттернов в тексте для обнаружения его структурных особенностей.
- Оценка тональности и эмоциональной окраски текста, направленная на выявление положительного, отрицательного или нейтрального настроения.
- Идентификация авторства текста на основе стилистических и лингвистических признаков.
- Классификация текстов по заданным критериям, например, по категориям или видам.
- Прогнозирование будущих событий на основе текстовой информации.
- Извлечение информации и создание сводок/резюме для краткого представления содержания.
- Создание кластеров текстов по их схожести для группировки по тематическим признакам.
- Оценка качества и достоверности текста на основе лингвистических и структурных характеристик.

Эти задачи находят применение в различных сферах, таких как социальные сети, сервисы подбора литературы, экономика и маркетинг.

В качестве применения решения задач текстов на основе статистического анализа приведена таблица с видами задачи и примерами для пользователя.

Таблица 1 – Примеры применения решения задач на основе статического анализа

№	Вид	Пример применения
1	2	3
1	Определение ключевых тем и топигов	Платформы: Google Академия, КиберЛенинка, Яндекс
2	Анализ частотности слов и фраз	Маркетплейсы: Wildberries, Ozon
3	Выявление закономерностей	Анализ художественных текстов
4	Оценка тональности	Социальные сети: VK, Telegram, YouTube (устранение оскорбительного контента)
5	Идентификация авторства	Системы: ЛингвоАнализатор, Атрибутор
6	Классификация текстов	Соцсети и видеохостинги для поиска контента
7	Прогнозирование будущих событий	Финансовый и биржевой анализ на основе статей
8	Извлечение информации и резюме	Поиск аннотаций в научных статьях
9	Создание кластеров текстов	Реклама продуктов и услуг для привлечения аудитории
10	Оценка качества и достоверности	Отслеживание информации на новостных каналах

Таким образом, предложенная классификация задач, связанных со статистическим анализом текста, демонстрирует широкий спектр возможностей применения данных методов в различных областях. Рассмотренные задачи охватывают ключевые аспекты обработки текстовой информации, включая определение тем, анализ частотности слов, оценку тональности и идентификацию авторства. Эффективное использование статистических подходов открывает новые перспективы для автоматизации процессов анализа текстов, что особенно актуально в условиях растущего объема цифровой информации. Дальнейшее развитие и совершенствование этих методов позволит повысить точность и скорость

обработки текстового материала, что будет способствовать улучшению качества исследований и прикладных решений в различных сферах деятельности.

### **Список литературы**

1. *Логинова С.Л.* Общая теория статистики / С. Л. Логинова. — Екатеринбург: Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета, 2011. 6 с.
2. *Хрулев О.А.* Определение автора по тексту на естественном языке / О.А.Хрулев // Соционика, ментология и психология личности, 2005. С. 3 — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskii-analiz-v-zadache-identifikatsii-avtora-teksta-napisannogo-na-estestvennom-yazyke> (дата обращения: 04.01.2025).
3. *Романов А.С.* Методика и программный комплекс для идентификации автора неизвестного текста / А.С. романов // Библиотека ТУСУРа, 2010. С. 9.
4. *Rosenfeld R., & Roth D.* Sequence Alignment Methods for Statistical Language Modeling. ISCA Tutorial and Research Workshop (ITRW) on Speech Recognition and Intrinsic Variation, 1999.
5. *Аёшин И.Т.* Методики сравнительного анализа текстовых документов на близость / Аёшин И.Т., Федоров В.А., Городов А.А., Абдулаев Н.А. // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 6. С. 46-50.
6. *Pennebaker J.* The Secret Life of Pronouns: What Our Words Say About Us. New York: Bloomsbury Press, 2011.
7. *Howard P.N.* Pax Technica: How the Internet of Things May Set Us Free or Lock Us Up. New Haven: Yale University Press, 2015.
8. *McAfee A., & Brynjolfsson E.* Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future. New York: W.W. Norton & Company, 2017.
9. *Deerwester S., Dumais S.T., Furnas G.W., Landauer T.K., & Harshman R.* Indexing by latent semantic analysis. Journal of the American Society for Information Science, 1990, vol. 41, no. 6, pp. 391-407.
10. *Bengio Y., Ducharme R., Vincent P., & Jauvin C.A* Neural Probabilistic Language Model. Journal of Machine Learning Research, 2003, vol. 3, pp. 1137-1155.
11. *Manning C.D., et al.* Computational Social Science. Annual Review of Sociology, 2019, vol. 45, pp. 61-83.
12. *Hyndman, R., & Athanasopoulos G.* Forecasting: Principles and Practice. OTexts, 2018.
13. *Blei D.M., Ng A.Y., & Jordan M.I.* Latent Dirichlet Allocation. Journal of Machine Learning Research, 2003, vol. 3, pp. 993-1022.
14. *Joachims T.* Text Categorization with Support Vector Machines: Learning with Many Relevant Features. Proceedings of the European Conference on Machine Learning (ECML), 1998, pp. 137-142.
15. *Gambäck B., & Kruschwitz U.* Multilingual Sentiment and Subjectivity Analysis. Journal of Natural Language Engineering, 2020, vol. 26, no. 1, pp. 57-82.
16. *Schulz S., Santus E., Li L., & Nakov P.* Multi-Domain Authorship Attribution: Domain Adaptation with Multiple Dense Vectors. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2020, pp. 345-354.
17. *Доронина С.В.* Методы оценки качества текстов. Вестник Московского университета. Серия 19: Лингвистика и межкультурная коммуникация, 2018, № 3. С. 31-40.
18. *Большакова Е.И.* Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных / Е. И. Большакова, К. В. Воронцов, Н. Э. Ефремова, Э. С. Клышинский, Н. В. Лукашевич, А. С. Сапин. — Москва : Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2017. С. 16–50.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ — 2.3.3.**

2.3.3.

**К.А. Агафонов, А.А. Силаев**

Волжский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
"Волгоградский государственный технический университет",  
Автомеханический факультет, кафедра ВАЭиВТ  
Волжский, kirill-agafonov@list.ru

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СТАНА ГОРЯЧЕГО ПРОКАТА БЕСШОВНЫХ ТРУБ**

*Статья написана по теме: «Автоматизация стана горячего проката бесшовных труб». В ней рассмотрены основные контуры управления процессом, подобраны необходимые средства измерений. Кроме того, описан режим работы производственных мощностей, используемых для производства труб. Опубликованы данные, необходимые для дальнейшей разработки автоматизированной системы управления технологическим процессом проката труб.*

Ключевые слова: горячая прокатка труб, бесшовные трубы, непрерывный стан, средства автоматизации, контролируемые параметры, датчики.

В настоящее время бесшовные трубы являются основным элементом логистики нефтяной и газовой промышленности России. Кроме того, рост спроса на трубы в последние годы увеличился вследствие высокого темпа роста строительства и инфраструктуры страны [1]. Стоит отметить, что автоматизация трубопрокатного стана является ключевым фактором для обеспечения высокого качества продукции и повышения эффективности производства. Кроме того, автоматизация трубопрокатных станов является перспективным направлением развития металлургической отрасли, которое позволяет предприятиям оставаться конкурентоспособными и удовлетворять растущие потребности рынка. В данной статье рассматриваются контуры управления станом горячего проката труб и средства его автоматизации.

Целью данной статьи является анализ технологического процесса проката бесшовных труб, а также его контуры управления и средства автоматизации.

Для достижения поставленной цели необходимо:

Изучить принцип работы стана;

Выделить основные элементы оборудования;

Определить контуры управления;

Провести обзор технических средств автоматизации.

Рассмотрим технологический процесс производства бесшовных труб. В качестве основного оборудования используется непрерывный трубопрокатный стан. Он имеет 7 двухвалковых клетей, повернутых относительно горизонта на  $45^{\circ}$  (рисунок -1). Перед станом установлена секция гидросбива. Основной ее задачей является удалить окалину с заготовки (гильзы) перед тем, как ее начнут раскатывать. Данная секция состоит из расположенных по периметру форсунок, на которые подается вода под давлением, и клапана подачи жидкости [2, 3].

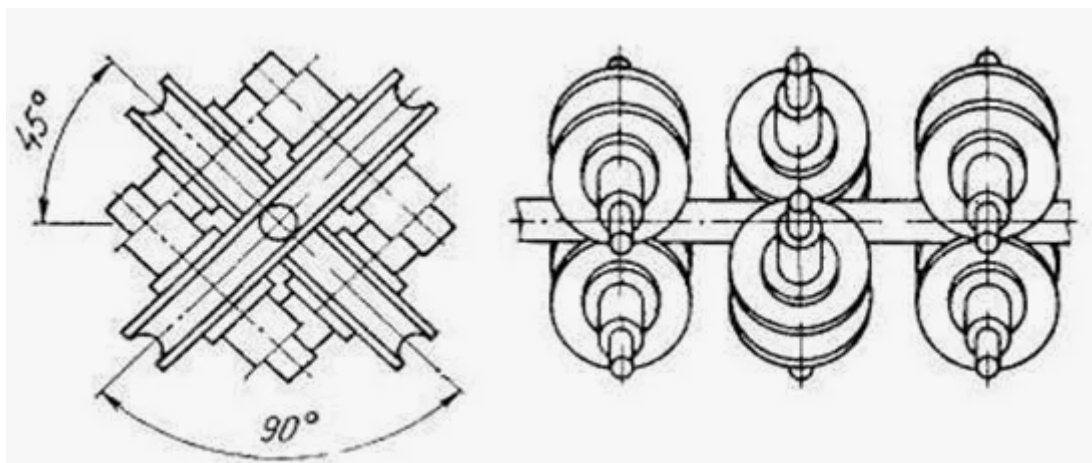


Рис. 1 – Вид клетей непрерывного стана

Для производства трубы на данном оборудовании необходимо ввести в гильзу специальную оправку, которая будет способствовать равномерному растягиванию металла в стане. Перед тем как выполнить эту процедуру, необходимо смазать поверхность оправки технологической жидкостью (водный раствор тринатрийфосфата (17-18%)). Смазка должна помочь снизить коэффициент трения при контакте металла с оправкой и защитить её от теплового удара. После того как конец гильзы выходит на расстоянии 1-1,5 м из стана, оправка отправляется в зону охлаждения, а раскатанная гильза движется дальше в соответствии со схемой производства. Сама процедура прокатки представляет собой сложный процесс взаимодействия центров деформации. Клетки и автоматизированные электроприводы представляют собой системы, между которыми возникают естественные перекрестные соединения, основным соединением которых является силовое соединение клеток через обрабатываемый материал (гильзу) [4, 5].

Последнее время применяется процесс прокатки на контролируемо-перемещаемой (удерживаемой) оправке. При таком режиме скорость движения оправки по направлению проката равна или меньше скорости вращения первой клетки [6].

В результате анализа технологического процесса был составлен список основных параметров. В него входят:

- Скорость вращения двигателей рейки, которая приводит в движение оправку;
- Скорость вращения двигателей, вращающих валки непрерывного стана;
- Начальные, конечные и аварийные позиции оправки и гильзы;
- Температура гильзы и оправки;
- Вибрация на клетях стана;
- Температура подшипников редукторов;
- Поток воздушной смеси, для охлаждения двигателей;
- Расход охлаждающей жидкости валков стана;
- Давление на поддерживающих оправку роликах;
- Расход воды в секции гидросбива [7,8].

Для измерения скорости вращения валков используется оптический энкодер. Работа такого прибора основана на просвечивании специального диска с насечками, который вращается синхронно со скоростью вращения измеряемого элемента. Фотодетектор, установленный непосредственно за диском, воспринимает проходящий сквозь него поток света и передает сигнал на плату, где непосредственно и формируются импульсы, соответствующие определенному значению скорости. Главным достоинством таких датчиков является высокая надежность. В качестве измерительного прибора выбран инкрементальный энкодер фирмы RusAutomation серии EIP 50 BO 10630V3000-R2 [9].

Технические характеристики измерителя указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные датчика скорости EIP 50 BO 10630V3000-R2

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания, В	От 5 до 30
Максимальная скорость, об/мин	3000
Защитное исполнение	IP54
Рабочая температура, °C	От минус 20 до плюс 85
Точность, и/о	1024
Диаметр вала, мм	8

Для осуществления позиционирования гильзы и каретки оправки используются фотоэлектрические датчики. Принцип действия такого устройства основан на приеме отраженного от объекта света. Они имеют ряд преимуществ: это бесконтактный датчик с высокой скоростью отклика, расположенный в нижнем ценовом сегменте. Выбраны фотоэлектрические датчики KIPPRIBOR OK50-R фирмы OVEN [10].

Технические характеристики прибора указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Технические данные датчика позиционирования KIPPRIBOR OK50-R.

Наименование параметра	Значение
Питающее напряжение, В	24
Дальность действия, м	6...10
Степень защиты корпуса	IP65
Коммутационная функция	НО/НЗ
Максимальный ток релейного выхода, А	2

Для измерения температуры гильзы и оправки используется стационарный пирометр. Он способен воспринимать инфракрасное излучение измеряемого объекта и на основе полученных данных выдавать результат. Таким средством измерения не требуется контактировать с измеряемой поверхностью, что является преимуществом для движущихся объектов высокой температуры. Выбраны инфракрасные датчики температуры фирмы «Инфратест» серии Термоскоп-600-1С-BT0(CT0) с фиксированной фокусировкой [11].

Технические характеристики измерителя указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Технические данные датчика температуры Термоскоп-600-1С-BT0(CT0)

Наименование параметра	Значение
Питающее напряжение, В	24
Выходной сигнал, мА	от 4 до 20
Степень защиты корпуса	IP65
Температура измеряемой среды, °C	От плюс 60 до плюс 1500
Измеряемая среда	Газ, Жидкость, Пар

Для измерения расхода технологической смазки и расхода воды в общем трубопроводе используется ультразвуковой расходомер. Принцип его действия основан на использовании ультразвуковых волн, которые проходят через поток среды и отражаются от стенок трубы или другого измерительного устройства. Достоинствами таких датчиков являются: высокая точность; отсутствие движущихся частей, что обеспечивает долговечность и надёжность работы; простота установки и обслуживания. Выбраны ультразвуковые расходомеры фирмы ULTRASONIC US800 Энконт [12].

Технические характеристики измерителя указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Технические данные датчика расхода

Наименование параметра	Значение
Погрешность измерения, %	до $\pm 1\%$
Выходной сигнал, мА	от 4 до 20
Давление измеряемой среды, МПа	до 25
Температура измеряемой среды, °C	от минус 60 до плюс 450
Измеряемая среда	Жидкость
Тип расхода	Масса, Объём

Для измерения давления в контуре гидросистемы, ответственной за подъем и опускание поддерживающих оправку роликов используется тензометрический датчик. Принцип работы такого устройства основан на изменении сопротивления деформирующегося чувствительного элемента. Это удобные для монтажа, дешевые и надежные приборы. Выбран датчик избыточного давления ПД100ДИ модели ПД100-ДИ1,0-111-1,0 [13].

Технические характеристики измерителя указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Технические данные датчика давления ПД100-ДИ1,0-111-1,0

Наименование параметра	Значение
Погрешность измерения, %	до $\pm 1\%$
Выходной сигнал, мА	от 4 до 20
Давление измеряемой среды, МПа	от 16 до 40
Температура измеряемой среды, °С	минус 90...плюс 700
Измеряемая среда	Газ, Жидкость, Пар
Степень защиты корпуса	IP65

Таким образом, был рассмотрен процесс производства бесшовной трубы, основные элементы оборудования, а также рассмотрены контуры управления процессом непосредственно к которым были подобраны средства автоматизации, которые можно использовать при проектировании системы управления технологическим процессом прокатки труб.

#### **Список литературы**

1. Строительство в российских регионах: итоги 2023 года Подробнее: <https://sherpagroup.ru/analytics/gkvp45> © Sherpa Group // sherpagroup URL: <https://sherpagroup.ru/analytics/gkvp45> (дата обращения: 19.10.2024).
2. Гидросбив окалины в прокатных цехах / В. А. Михеев, А. М. Павлов. - Москва : Металлургия, 1964. - 107 с.,
3. Беляев Ю.Б., Грабовский Г.Г., Корбут В.Б., Ушаков А.В. Пути усовершенствования гидравлической части системы автоматизированной очистки слябов от окалины. Труды КНТУ, 2004. - №15.
4. Трубное производство: учебник / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Н.М. Вавилкин, С.В. Самусев. - М.: Издательский Дом МИСИС, 2011. - 970 с.
5. Совершенствование производства стальных труб / В.Г. Зимовец, В.Ю. Кузнецов. - М.: МИСиС, 1996. - 480 с.
6. Технология трубного производства / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. - М.: Интермет Инжиниринг, 2002. - 640 с.
7. Салганик В.М., Чигинцев Л.С. «Автоматизация и механизация трубопрокатного производства». М.: Металлургия, 1990.
8. Адамия Р.И. «Непрерывные станы как объект автоматизации». М.: Металлургия, 1974.
9. Оптический энкодер IPD373P43B. – Текст : электронный // rusautomation.ru. – 2025. URL:(дата обращения 20.01.2025) <https://rusautomation.ru/catalog/preobrazovatel/>
10. Датчик позиции KIPPRIBOR OK50-R. – Текст : электронный // owen.ru. – 2025. – URL: (дата обращения 20.01.2025) <https://owen.ru/product/ok50>
11. Датчик температуры Термоскоп-600-1С-ВТ0. – Текст : электронный // infratest.ru. – 2025. – URL: (дата обращения 20.01.2025) <https://www.infratest.ru/product/fixed/15.html>
12. Расходомер Энконт ULTRASONIC US800. – Текст : электронный // encont.ru. – 2025. – URL: (дата обращения 20.01.2025) <https://encont.ru/rashodomer.html>
13. Датчик давления ОВЕН ПД100-И. – Текст : электронный // owen-prom.ru. – 2025. – URL: (дата обращения 20.01.2025) [https://owen.ru/product/datchik\\_preobrazovatel\\_izbitochnogo\\_davleniya\\_PD100\\_dlya\\_nasosov\\_kotelnykh\\_vodosnabzheniya](https://owen.ru/product/datchik_preobrazovatel_izbitochnogo_davleniya_PD100_dlya_nasosov_kotelnykh_vodosnabzheniya)

2.3.3.

**А.К. Зайцев, Л.И. Медведева**

Волжский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»,  
Волжский, artemiy.zaytsev@bk.ru

### **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ ГАЗА И ВОЗДУХА В ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМИ БАЛКАМИ**

*В статье раскрываются способы достижения эффективной работы печи с шагающими балками за счёт корректного выбора приборов. Даются примеры отечественных датчиков и исполнительных механизмов. Особое внимание уделено системе автоматического регулирования соотношения расходов газ-воздух.*

Ключевые слова: печь, автоматизация, приборы.

Автоматизированная система управления процессом подогрева и выравнивания температуры труб в печи с шагающими балками представляет собой очень важную и актуальную часть в современной металлургии. Только за день в данной печи нагревается несколько сотен труб. Автоматизация данного процесса позволяет в разы ускорить нагрев труб и их производство, за счет установки современного оборудования, таких как датчики и исполнительные механизмы.

Для корректной работы печи, а также для её горения, требуется своевременная подача смеси газа и воздуха. Воздух всасывается вентилятором 33 кВт и проходит теплообменник, нагреваясь и попадая в печь. На линии подачи воздуха стоит отсечной клапан, который управляется датчиком давления, установленном в самой печи. Газ же подается из газопровода, подачу регулирует вихревой расходомер и исполнительный механизм. В печи есть три зоны нагрева, в каждой установлен датчик температуры. Нормы удельного расхода энергии установлены для температуры нагрева металла от 1200 °С до 1220 °С. Для правильного протекания горения, а также и для постоянства отдаваемого тепла в результате сгорания природного газа, необходимо поддерживать нужное соотношение газа и воздуха, подаваемого в горелку. В результате различных долей газа, подаваемого в печь, может произойти реакция с меньшим выделением тепла, что уменьшит показатель качества, либо наоборот, газа будет настолько много, что он не успеет сгореть, из-за чего образуется сажа, что тоже недопустимо. Поэтому соотношение газа и воздуха, подаваемого в печь, необходимо регулировать, чтобы энергетические затраты были в норме.

Проиллюстрируем данную систему регулирования на рис. 1.

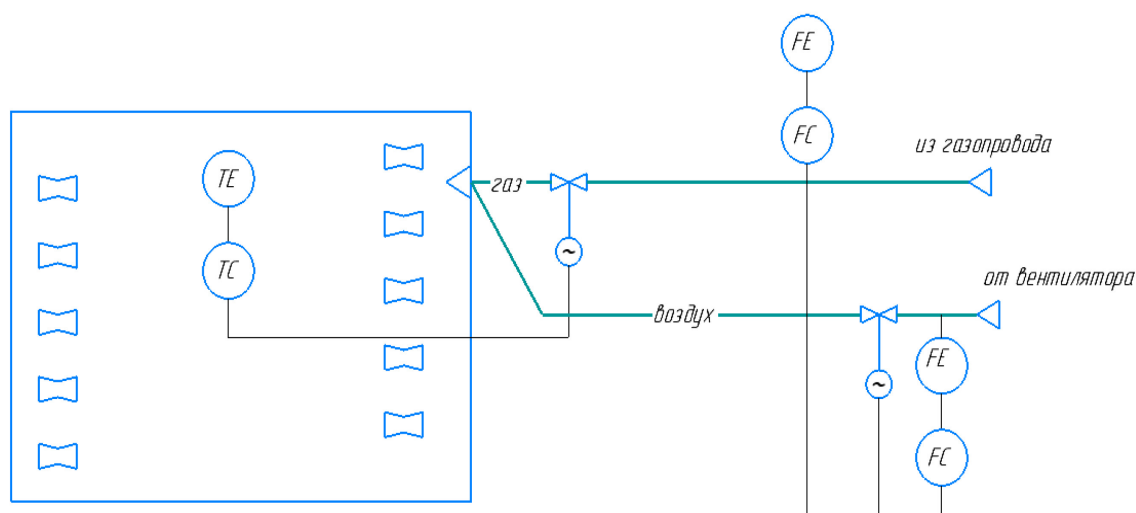


Рис. 1 – Система автоматического регулирования соотношения расходов

Управление балками происходит при помощи гидравлики. Этот тип печи часто используется в металлургии и керамической промышленности. Основные этапы цикла включают загрузку материала на шаговые балки, его перемещение через зону нагрева, где происходит термическая обработка, и последующую выгрузку готовой продукции. Шаговые балки обеспечивают стабильное и контролируемое движение, что позволяет достичь высокой эффективности и качества обработки. Следовательно, в процессе шагания, подвижные балки движутся по следующей траектории: вверх, вперед, вниз, назад. Эта траектория называется циклом. Следующая труба, заходя в печь, повторяет тот же цикл.

Подбор приборов осуществляется исходя из главных технологических характеристик: температура в печи, расход газа и воздуха, положение труб в печи.

Регулирование температуры в трёх зонах нагрева обеспечивает термопара «ОВЕН» ДТПН285Е-0918.500.1.0.И.ЕХІ-Т6 [18Н], при поставке заготовок в печь поднимается пыль, что мешает работе бесконтактных датчиков температуры, поэтому были выбраны контактные датчики. Термопара имеет высокий уровень точности, большой диапазон измерения, а также довольно низкую цену, в отличие от бесконтактных датчиков температуры. Помимо этого, по сравнению с термосопротивлением, термопара имеет более высокую скорость реакции и диапазон измеряемых температур [1].

Регулирование подачи газа и дымовых газов производится при помощи расходомеров. Ультразвуковые и электромагнитные датчики расхода применяются исключительно к жидкости, расходомеры перепада давления чувствительны к любым осадкам на сужающем устройстве, тахометрические расходомеры имеют малую надежность и неустойчивость измерений, а кориолисовые расходомеры слишком дорогие, чтобы использовать их в этом процессе. Вихревые расходомеры в печах с шагающими балками предлагают несколько преимуществ. Во-первых, они обеспечивают высокую точность измерения расхода газа или воздуха, что критично для поддержания оптимальных условий сжигания и повышения энергоэффективности. Во-вторых, вихревые расходомеры имеют простую конструкцию и не требуют сложного обслуживания, что снижает эксплуатационные затраты. Кроме того, они могут работать в широком диапазоне температур и давлений, что делает их универсальными для различных технологических процессов в печах. Наконец, их высокая устойчивость к загрязнениям позволяет поддерживать стабильную работу даже в сложных условиях. Поэтому, был выбран вихревой расходомер «ЭМИС» ВИХРЬ 200, так как он обеспечивает низкие потери давления на сужающем устройстве, а также может работать при повышенных температурах [2].

Для регулирования положения трубы в печи используются датчики с оптическим принципом действия. Индуктивные датчики могут быть подвержены влиянию внешних электромагнитных полей, поэтому они не подходят. Емкостные датчики могут обнаруживать объекты на основе их электрической проводимости и относительной диэлектрической

проницаемости, но они хуже работают с металлами и станут неэффективными в присутствии воды или других жидкостей. Ультразвуковые датчики могут страдать от воздействия фонового шума, чем оптические датчики менее подвержены. Поэтому выбираются оптические датчики А3R-2MX «Fotek», принцип действия которых основан на улавливании изменения оптического излучения [3].

Для приёма сигналов от датчиков и выдачи сигналов для исполнительных механизмов выбирается Программируемый логический контроллер (ПЛК). Вот некоторые преимущества ПЛК относительно персональных компьютеров (ПК):

- устойчивость к воздействиям производственной среды;**
- простота программирования и устранения неисправностей;**
- защита от вирусов и кибератак;**
- возможность расширения.**

Под данные условия подходит «ОВЕН» ПЛК210-03-CS [4]. ПЛК210-03-CS от компании «ОВЕН» обладает высокой производительностью и надежностью, что делает его идеальным для автоматизации различных процессов. Он поддерживает множество интерфейсов связи, что обеспечивает гибкость в интеграции с другими системами. Компактные размеры и простота программирования позволяют легко внедрять его в существующие системы управления. Кроме того, наличие расширяемой архитектуры позволяет адаптировать контроллер под специфические требования пользователя.

Таким образом, в статье был исследован процесс подогрева и выравнивания температуры труб в печи с шагающими балками. Были произведены обзор и выбор средств автоматизации. В ходе обзора было выяснено, что для печи с шагающими балками важны три главные характеристики – это расход, температура и положение, для их измерения и регулирования были выбраны отечественные средства автоматизации.

#### **Список литературы**

1. Термопара ДТПН285Е-0918.500.1,0.И.ЕХІ-Т6 «ОВЕН» [Электронный ресурс] // ОВЕН. Оборудование для автоматизации. URL: [https://owen.ru/product/dtphhh5\\_termopari\\_s\\_kommutacionnoj\\_golovkoj\\_na\\_osnove\\_ktms\\_exia/modifications](https://owen.ru/product/dtphhh5_termopari_s_kommutacionnoj_golovkoj_na_osnove_ktms_exia/modifications). (Дата обращения: 05.01.2025г.).
2. Датчик расхода ВИХРЬ 200 «ЭМИС» [Электронный ресурс] // АО «ЭМИС». URL: [https://emis-kip.ru/prod/vihrevoj\\_rashodomer/?utm\\_source=yandex&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=vihr|79827037|7.%20ЕПК%20-%20Вихревые%20расходомеры](https://emis-kip.ru/prod/vihrevoj_rashodomer/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=vihr|79827037|7.%20ЕПК%20-%20Вихревые%20расходомеры). (Дата обращения: 15.01.2025г.).
3. Датчик положения А3R-2MX «РусАвтоматизация». [Электронный ресурс] // ООО «РусАвтоматизация. URL: <https://rusautomation.kz/promavtomatika/a3r-2mx>. (Дата обращения: 15.01.2025г.).
4. Промышленный контроллер ПЛК210-03-CS «ОВЕН». [Электронный ресурс] // ОВЕН. Оборудование для автоматизации. URL: <https://owen.ru/product/plk210?ysclid=m4zlorlxy1525303552>. (Дата обращения: 17.01.2025г.).

2.3.3.

<sup>1</sup>В.В. Земцов, <sup>1</sup>Д.Ф. Буканов, <sup>2</sup>А.В. Иващенко<sup>1</sup>Самарский государственный технический университет,<sup>2</sup>Самарский государственный медицинский университет,  
Самара, zemtsov.fond@gmail.com

### **СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ПИТАНИЯ БЕСПРОВОДНОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО КОМБИНИРОВАННОГО ДАТЧИКА**

*В работе представлена архитектура программно-аппаратного комплекса мониторинга инфраструктурных объектов на основе беспроводных оптико-электронных спектрометрических комбинированных датчиков. Для обеспечения автономной работы датчиков предложено использовать бетавольтаические источники питания.*

Ключевые слова: *Интернет вещей, бетавольтаический источник питания, бетавольтаический комплекс.*

Для обеспечения должного уровня безопасности и эффективного управления внутренними инженерными системами зданий и сооружений необходимо организовать непрерывный мониторинг ключевых показателей функционирования с возможностью оперативного управления и передачи управляющих воздействий в онлайн режиме в рамках единого информационного пространства [1 - 3]. Современные датчики позволяют обеспечивать построение достаточно эффективных систем пожарной и охранной сигнализации, охранного телевидения, контроля и управления доступом и т.п.

Вместе с тем, комплексное решение задачи мониторинга инфраструктурного объекта требует размещения элементов систем мониторинга в труднодоступных местах, в том числе в беспроводном исполнении [4], что затрудняет процесс технического обслуживания и ремонта. В частности, необходимо предусмотреть оснащение датчиков основными и резервными автономными источниками электропитания, обеспечивающими работоспособность изделия длительное время. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование бетавольтаических источников питания [5, 6].

Для решения задачи мониторинга инфраструктурных объектов был разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК), представленный на Рис. 1. ПАК обеспечивает сбор, обработку и анализ информации, поступающей из различных источников мониторинга; оповещение о достижении критических значений состояния; поддержку принятия решений для разрешения проблемных ситуаций; анализ и оценку принятых решений. ПАК позволяет применительно к индивидуальным особенностям конкретного объекта создавать необходимую конфигурацию средств мониторинга для обеспечения надежной, эффективной и безопасной эксплуатации объектов различного назначения за счёт модульности и многокомпонентности, интеграции в единую информационную систему мониторинга отдельных подсистем согласованности и повышения эффективности работы разрозненных систем, предотвращения аварийных ситуаций и выхода из строя оборудования, обеспечения интеллектуальной поддержки принятия решений для разрешения проблемных ситуаций и повышения качества и оперативности технического обслуживания.

Разработанный ПАК включает в себя следующие основные компоненты:

беспроводной оптико-электронный спектрометрический комбинированный датчик (БОЭСКД), для использования в системах пожарной сигнализации (ПС), в качестве мультикритериального пожарного извещателя;

магистрально-модульный контроллер (ММК) с модульной структурой, который предназначен для использования как в системах ПС, в качестве прибора приемно-

контрольного и управления пожарного (ППКУП), так и для автоматизации инженерных систем, таких как вентиляция, отопление, водоподготовка и т.д.;

автоматизированное рабочее место (АРМ) пользователя;

серверное оборудование (сервер приложений, базы данных);

программное обеспечение верхнего уровня – система мониторинга инфраструктурных и протяженных объектов с компонентами поддержки принятия решений.

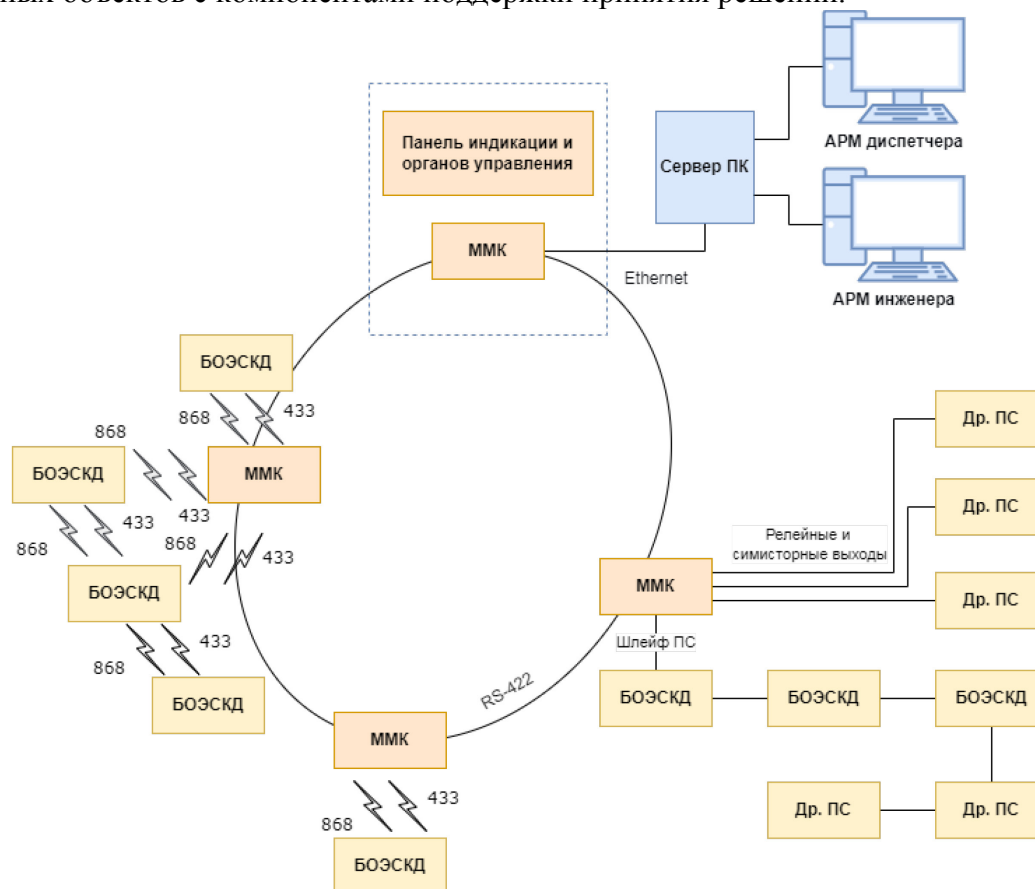


Рис. 1 – Архитектура ПАК мониторинга инфраструктурного объекта для пожарной сигнализации

БОЭСҚД, который является одним из ключевых аппаратных компонентов предлагаемой системы, соответствует ГОСТ 34698-2020 «Извещатели пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний». БОЭСҚД представляет собой устройство, размещённое в корпусе с радиальной симметрией и имеющее возможность крепления на стене или потолке помещения посредством стандартных крепёжных приспособлений. БОЭСҚД имеет следующие характеристики:

комбинированный способ определения пожара на основе мониторинга и снятия параметров: газы CO (20-100ppm) и CO<sub>2</sub> (1000-1500ppm), температура (порог 54°C), градиент температур (10-30°C), задымлённость (0,4-5,2 Дб);

беспроводной интерфейс передачи данных LoRaWAN с резервированием канала (915/433 МГц);

адресность, возможность идентификации и локализации конкретного датчика по радиоканалу;

возможность удаленной настройки, конфигурирования, диагностики датчиков, передача в интеллектуальную систему данных о своем состоянии (сигналов тревоги, подтверждения работоспособности и снижения уровня батарей датчиков) по радиоканалу;

возможность подключения через проводной интерфейс передачи данных (безадресный шлейф систем ПС);

высокая эксплуатационная надежность и ресурс;

автономное питание с резервированием.

В соответствии с ГОСТ Р 53325-2012 беспроводной пожарный извещатель должен быть укомплектован основным и резервным автономными источниками электропитания, обеспечивающими работоспособность изделия на срок не менее 3 лет и два месяца соответственно без замены источника питания. Существующие источники питания, в частности химические источники тока и аккумуляторные батареи не в состоянии обеспечить автономную работу БОЭСКД с вышеуказанным сроком службы.

Решение проблемы возможно за счет использования бетавольтаических комплексов (БВК), реализующий новый метод и средство обеспечения автономного питания по принципу «установил и забыл». В основе работы БВК лежит бетавольтаический источник питания (БЭВЭП), физический принцип работы которого схож с фотовольтаическими источниками питания. Отличие заключается в том, что в случае с БВЭП происходит преобразование энергии радиохимического бета-распада элементов в электрическую форму. БВК представляет собой устройство питания слаботочных систем и радиоэлектронных компонентов, способное работать как в постоянном (непрерывном) режиме, так и в импульсном режиме, то есть выступать в качестве аварийного источника питания.

Реализация схемы БВК возможна на основе программируемых микроконтроллеров, а также схемотехнического решения, реализованного на жесткой логике. При построении автономной системы электропитания устройств с использованием систем с программным управлением дает возможность настраивать систему, управлять выходными параметрами по току и напряжению в зависимости от требований, предъявляемых к источнику питания. При использовании жесткой логики схема усиления представляет собой заданный набор радиоэлектронных компонентов с заранее определенной логикой работы с учетом входных параметров по току и напряжению и требуемой мощности на нагрузке.

В основе бетавольтаического комплекса лежит БВЭП, основанный на полупроводниковой гетероструктуре. В качестве полупроводника БВЭП используется монокристаллический карбид кремний (SiC) p- типа или n- типа проводимости, легированный радиоизотопом углерод-14 (C-14) на уровне легирующей примеси, что достигается частичным замещением атомов углерода-12 (C-12) на C-14. Проведенные эксперименты показали, что КПД БВЭП на основе полупроводниковой структуры SiC/Si, легированной углеродом-14 (C-14) составляет 18% с одного кристалла типоразмера 20x20 мм.

Предложенное схемотехническое решение позволяет решить проблему автономной работы беспроводных пожарных извещателей в соответствии с требованиями к стандартам построения систем пожарной сигнализации.

### **Список литературы**

1. Вахитова Л.Ф., Жданов Р.Р., Михайлова В.А., Аксенов С.Г. Исследование мероприятий по повышению пожаробезопасности производственных объектов // Современные наукоемкие технологии. - 2022. - № 10-1. - С. 64-68
2. Кулагина Л.В., Шефер Э.А. Сравнительный анализ современных систем обнаружения очага возгорания // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2024. - № 7. - С. 181-185
3. Бегашев И.М. Проектирование систем пожарной сигнализации, систем оповещения и управления эвакуацией при пожаре в торговых центрах // Научный аспект. - 2024. - Т. 68. № 5. - С. 9259-9263
4. Аксенов С.Г., Рафиков А.Ф., Набиуллин Т.М. Преимущества беспроводных систем пожарной сигнализации // Научный аспект. - 2024. - Т. 35. № 3. - С. 4484-4490
5. Гурская А.В., Чепурнов В.И., Долгополов М.В. и др. Бета-преобразователь на C-14 в структуре p-n-SiC/Si // V международная научная конференция «Наноструктурные материалы - 2016»: Беларусь - Россия - Украина (НАНО-2016), 2016. - С. 395-397
6. Земцов В.В., Иващенко А.В. Программно-конфигурируемое управление электропитанием телекоммуникационного оборудования малой мощности // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2023, том 2: Пенза – С. 164–166

2.3.3.

**Р.Р. Зиятдинов канд. техн. наук,  
Р.Р. Валиахметов канд. техн. наук, Д.В. Санников**

Набережночелнинский институт КФУ,  
rust.kfu@gmail.com

### **СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

*Необходимость повышения качества выпускаемой продукции, а также нехватка квалифицированного персонала на предприятиях приводит к увеличению потребности в автоматизации и роботизации производственных процессов. В статье показаны результаты разработки системы компьютерного зрения промышленных роботов на основе искусственных нейронных сетей для распознавания деталей.*

Ключевые слова: *компьютерное зрение промышленных роботов, нейронные сети.*

Вызовы, с которыми в настоящее время сталкиваются производственные предприятия, требуют увеличения темпов автоматизации и роботизации производственных процессов. Одной из проблем, с которой сталкиваются при роботизации производства, является необходимость жесткой определенности при реализации технологического процесса. Например, необходимо предварительно точно ориентировать заготовки и детали при их захвате промышленным роботом. Для решения данной проблемы используют системы компьютерного зрения. В настоящее время, применение систем компьютерного зрения является достаточно популярным решением при необходимости распознавания окружающей обстановки.

Распознавание объектов является достаточно сложной задачей ввиду разнообразия, как распознаваемых объектов, так и используемых методов. При этом, чаще всего, используемые методы детектирования должны обеспечивать работу в режиме реального времени [1]. Таким образом, применение систем компьютерного зрения при внедрении робототехнических комплексов и гибких производственных систем является важной и актуальной задачей.

В рамках данной работы стояла задача разработать систему компьютерного зрения с интеграцией в систему управления промышленным роботом KUKA и реализовать программную часть по распознаванию деталей в гибкой производственной системе.

Для интеграции системы компьютерного зрения и системы управления промышленным роботом KUKA можно использовать KUKA.Ethernet KRL. Это пакет опций для обмена данными между системой управления роботом и внешней системой через Ethernet для выполнения программы робота. Данный протокол позволяет управлять роботом, получать и передавать данные в формате XML из внешней системы [2]. Схема интеграции между камерой, компьютером и роботом KUKA показана на рисунке 1.

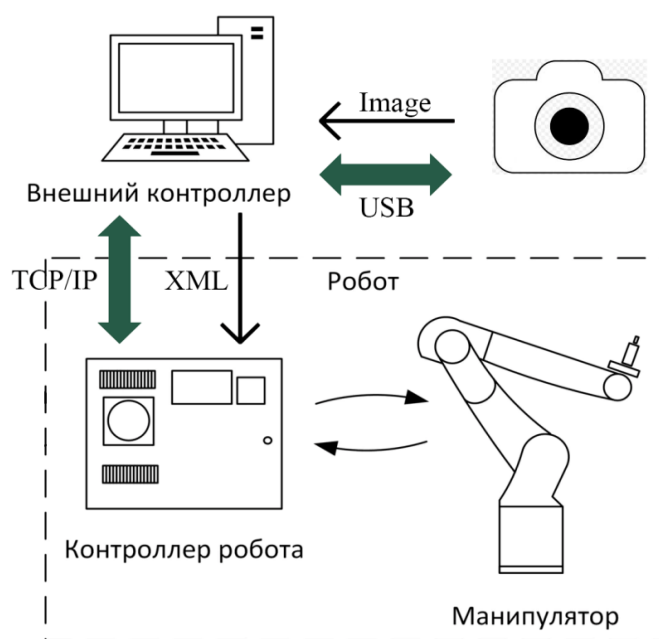


Рис. 1 – Схема интеграции устройств в робототехническом комплексе

Изображения покадрово с камеры передаются на компьютер, программное обеспечение которого распознает объект и передает информацию системе управления промышленного робота по протоколу TCP/IP в формате XML.

Чаще всего в задачах распознавания изображений используют классические нейронные сети. Однако, анализ экспериментальных данных, полученных с применением данных типов сетей, показывает, что применение классических нейронных сетевых архитектур в подобных задачах имеет низкую эффективность по следующим причинам:

- изображения, как правило, имеют большой размер, что приводит к возрастанию размера нейронной сети;
- огромное разнообразие объектов повышает размеры системы и соответственно увеличивается необходимость в большей обучающей выборке, возрастает вычислительная сложность и время обучения системы;
- для более эффективной работы системы необходимо применение нескольких нейронных сетей;
- отсутствие инвариантности к различным изменениям изображения: ракурсов съёмки камеры, масштаба и других различных искажений в геометрии входного сигнала [3].

Таким образом, для решения задачи распознавания деталей в качестве основного алгоритма были выбраны свёрточные нейронные сети, так как они обеспечивают определенную устойчивость к небольшим изменениям масштаба, смене ракурса, поворотам, смещениям, и прочим искажениям.

При проведении сравнительного анализа в качестве основных моделей сверточных нейронных сетей для распознавания образов на изображении были использованы следующие: SSD (Single Shot MultiBox Detector), YOLO (You Only Look Once), HOG+SVM (Histogram of Oriented Gradients, Support Vector Machine).

Для реализации системы была выбрана модель обнаружения объектов SSD, основанная на фреймворке для глубокого обучения Caffe. Данный подход основан на разделении выходного пространства ограничивающих прямоугольников в набор стандартных полей с различными значениями пропорций и масштабов для каждой карты признаков. При прогнозировании данный метод вычисляет вероятность наличия каждой категории объектов в каждом таком поле и производит его корректировки для лучшего соответствия форме объекта.

Выбор данной модели обуславливается её назначением в работе с режимом реального времени, высокой эффективностью по сравнению с конкурентами в области обнаружения

объектов. Для обучения модели в качестве обнаруживаемой детали была выбран корпус подшипника.

После получения изображения из видеопотока необходимо провести распознавание объекта. Для этого требуется:

- 1) Обработать изображение для подачи на вход нейронной сети.
- 2) Передать обработанное изображение на вход нейронной сети для выполнения распознавания, определения ограничивающих рамок объекта.
- 3) Провести фильтрацию изображений, уверенность в которых меньше установленного порога доверия.
- 4) Извлечь индекс класса объекта, преобразовывать его в соответствующую метку класса, отрисовать координаты ограничивающего прямоугольника объекта.

После успешного распознавания объекта необходимо получить его координаты в системе координат камеры.

Следующий этап - получение координат детали в системе координат робота и передача их в систему управления роботом посредством KUKA.Ethernet KRL.

Изначально внешняя система отправляет данные на приемник контроллера (Receiver). Данные, находящиеся в модуле Receiver либо записываются в базу данных, либо в буфер контроллера робота. После этого контроллер может их извлечь и обработать.

Для отправки данных во внешнюю систему, контроллер обрабатывает данные и записывает их в буфер. Если все данные готовы к отправке, тогда они передаются в модуль Sender, который в свою очередь уже отправляет данные во внешнюю систему.

Процесс передачи координат объекта контроллеру робота происходит по следующему алгоритму:

Получение координат объекта в системе координат робота.

Создание XML-файл с координатами объекта с помощью библиотеки ElementTree.

Передача сформированного файла контроллеру робота с помощью протокола TCP/IP.

Получение контроллером робота XML-файла с координатами объекта.

На рисунке 2 показаны результаты успешного распознавания изображения выбранной детали на конвейере. Результаты проверки разработанной системы на тестовых изображениях показали хорошую степень распознавания деталей.

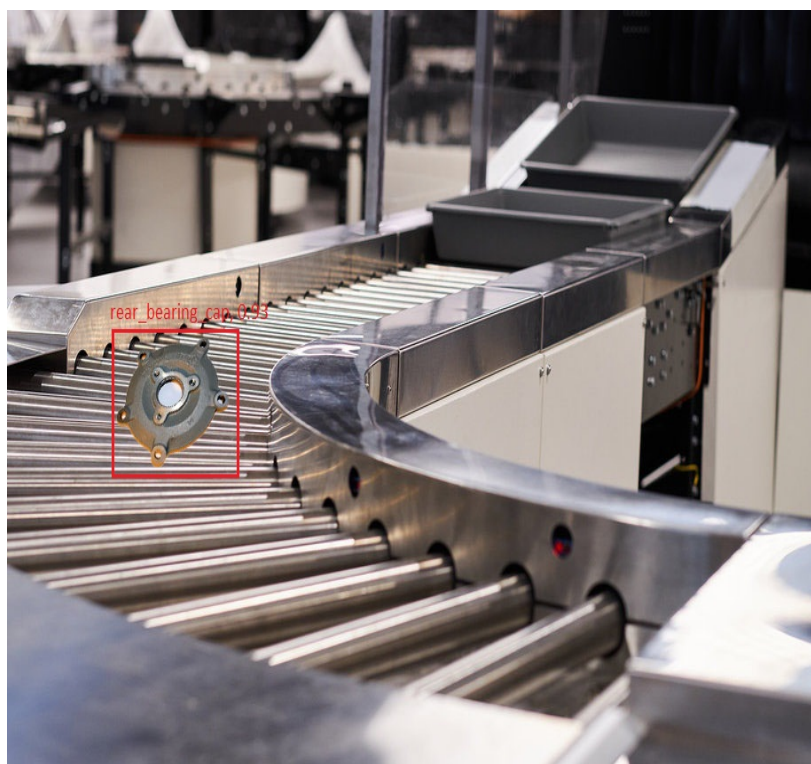


Рис. 2 – Результат распознавания детали на конвейере

Предложенная система компьютерного зрения, интегрированная с контурами управления промышленных роботов, позволит увеличить сферы применения робототехнических комплексов на производственных предприятиях.

**Список литературы**

1. Ziyatdinov R.R., Biktimirov R.A., Klochkova K.V. The comparative analysis of methods for detecting pedestrians for unmanned vehicles // ПОАВ JOURNAL 10(2). – 2019. P. 60-64.
2. Санников Д.В. Разработка компьютерной системы распознавания объектов на конвейере: дис. ...маг. - Набережные Челны, 2024 - 98 с.
3. Зиятдинов Р.Р. Система безопасности промышленных роботов с применением искусственных нейронных сетей / Зиятдинов Р.Р., Хамматуллин И.Н. // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 10. С. 195-199.

2.3.3.

<sup>1</sup>В.К. Козлов, <sup>2</sup>Д.М. Валиуллина, <sup>3</sup>Р.А. Гиниатуллин<sup>1,2</sup>Казанский государственный энергетический университет,  
кафедра «Электроэнергетические системы и сети»,<sup>3</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
кафедра «Электропривода и электротехники»,  
Казань, kozlov\_vk@bk.ru, valiullinadiliya@mail.ru, g\_ruslan7@mail.ru

### КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ КИСЛОТНЫМ ЧИСЛОМ И КООРДИНАТАМИ ЦВЕТНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

*Изменение трансформаторного масла в процессе старения приводит к изменению нескольких параметров, включая кислотное число, тангенс угла диэлектрических потерь и цвет масла. Это в свою очередь может привести к ухудшению эксплуатационных свойств масла и снижению надежности изоляционной системы маслонеполненного оборудования. В рамках проведенных исследований были изучены изоляционные масла, определены их цветовые характеристики с использованием спектров пропускания и отражения в видимом диапазоне, а также установлена связь между этими характеристиками и кислотным числом.*

Ключевые слова: трансформаторное масло, кислотное число, ароматические соединения, координаты цветности масла, старение, деградация.

Трансформаторные масла (ТМ) являются неотъемлемой частью всего высоковольтного маслонеполненного оборудования. Масло изготавливают путем специальной технологической многоступенчатой операции, в результате которой осуществляется перегонка сырой нефти, добытой в разных скважинах. Химические свойства сырья оказывают непосредственное влияние на качественные характеристики конечного продукта [1-4].

Старение масла определяется окислительными процессами, воздействием электрического поля и присутствием конструкционных материалов (металлы, лаки, целлюлоза). В результате старения ухудшаются изоляционные характеристики масла и выпадает осадок, который затрудняет теплообмен и ускоряет старение целлюлозной изоляции. Значительную роль в ускорении старения масла играют повышенная рабочая температура и наличие кислорода (в негерметизированных конструкциях).

Одним из важных показателей качества изоляционного масла является его кислотное число (КЧ). Значение КЧ масла определяет степень его старения и служит для оценки предполагаемого срока службы. КЧ возрастает с увеличением степени окисления масла.

Старение ТМ, по причине повышения кислотности, приводит к снижению надежности всей изоляционной системы, в результате чего снижается ее механическая прочность, увеличиваются диэлектрические потери [5-6].

Наиболее простыми, с точки зрения проведения измерений, а также более информативными являются методы спектроскопии. Анализ методом спектроскопии в различном диапазоне более быстрый, простой и точный. Измеренные спектры могут дать информацию как о физических свойствах масла, так и о структурно-групповом составе трансформаторного масла [1, 2, 5].

Целью работы является изучение корреляционной зависимости кислотного числа и цветовых характеристик трансформаторного масла.

Для проведения эксперимента по исследованию изоляционных масел с расчетом их координат цветности по спектрам пропускания и отражения в видимом диапазоне, а также установления их связи с кислотным числом, было приготовлено 20 образцов различных марок масел (табл. 1).

Координаты цветности получены с использованием сайта <https://gradients.app/ru/colorpicker>.

В данной работе при анализе масла были исследованы образцы разных трансформаторных масел с различной степенью окисления, данные приведены в табл. 1.

Таблица № 1 – Характеристики трансформаторного масла

№ пробы	Марка ТМ	Кислотное число, мг КОН/г
1	ГК+ВГ	0,002
2	ГК+ВГ	0,002
3	Т-1500	0,0069
4	Т-1500	0,007
5	ГК	0,001
6	ГК	0,001
7	Т-1500	0,014
8	ТКп	0,009
9	ТКп	0,0014
10	ГК	0,007
11	ГК	0,006
12	Т-1500	0,004
13	смесь + ГК	0,004
14	Т-1500	0,02
15	Т-1500	0,021
16	ГК	0,001
17	ГК	0,004
18	Т-1500	0,004
19	ТСп	0,003
20	ГК	0,017

Для данного исследования была собрана установка, состоящая из кюветы с маслом, через которую пропусклся узконаправленный пучок света (белый, синий и зеленый) (рис. 1).

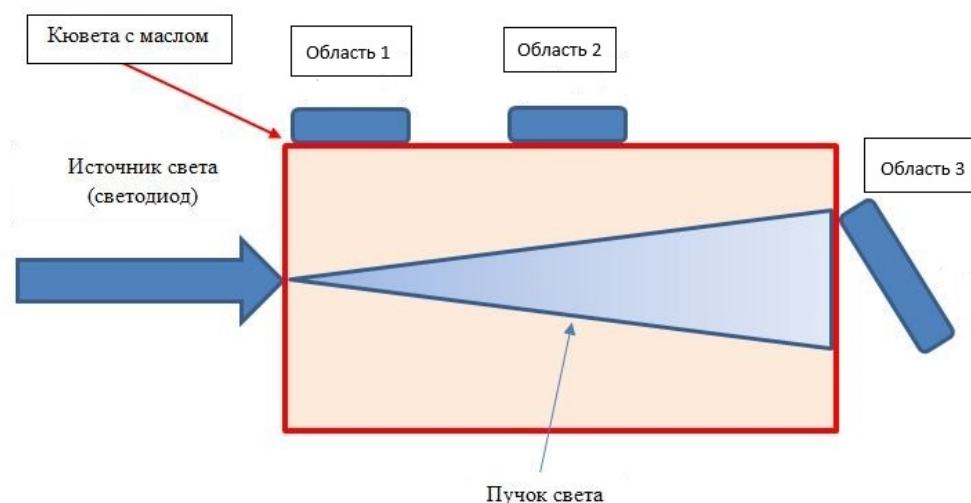


Рис. 1. – Блок-схема установки для определения координат цветности ТМ

Для повышения точности результатов использован фотоаппарат с хорошей цветопередачей, то есть цвет объекта, наблюдаемый глазами и на фото совпадает. Для исключения засветки отдельных фрагментов на фотографиях использованы ослабляющие фильтры, регулирующие интенсивность источников освещения. В цветовой области масла определяем координаты в трех местах с последующим усреднением значений координат цветности.

Далее определили координаты цветности и построили корреляционные зависимости. В табл. 2 приведены координаты цветности всех образцов ТМ для исследования с учетом введенным поправок.

Таблица № 2 – Координаты цветности всех образцов ТМ

Образцы масла	БЕЛЫЙ СВЕТ									СИНИЙ СВЕТ									ЗЕЛЕНый СВЕТ		
	Область 1			Область 2			Область 3			Область 1			Область 2			Область 3			Область 2		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0	97	255	107	127	161	95	95	100	14	6	255	28	0	250	33	0	255	0	134	0
2	0	104	247	0	105	253	127	164	113	0	32	255	8	1	222	25	0	233	0	172	0
3	34	155	211	130	125	0	231	241	0	0	255	253	58	78	0	190	184	0	0	138	0
4	86	135	51	169	142	0	255	255	0	0	247	245	67	79	0	231	181	0	17	138	0
5	0	92	255	0	89	255	128,67	208	178	26	0	255	29	0	11	0	15	19	0	155	0
6	0	66	252	0	67	255	84	243	237	0	3	255	6	7	210	6	0	130	0	164	0
7	129	117	27	94	95	0	243	136	0	0	255	255	6	9	8	95	112	44	30	130	0
8	0	156	252	98	76	0	195	209	0	0	264	255	18	63	43	69	111	97	0	154	0
9	0	215	255	110	141	55	218	240	0	0	149	255	0	14	8	0	30	19	0	246	45
10	108	220	176	141	113	0	233	226	0	0	252	240	86	97	0	172	188	0	180	176	0
11	0	129	255	0	126	231	149	232	109	0	193	255	0	44	100	0	33	45	0	136	0
12	0	216	255	68	156	152	213	203	0	19	255	254	0	21	36	0	39	25	180	199	0
13	0	170	255	0	147	221	254	254	68	0	151	255	0	9	21	0	7	6	48	195	0
14	239	165	0	174	70	0	255	167	0	213	175	16	30	15	26	255	108	0	237	183	0
15	213	165	0	185	95	0	255	181	0	34	157	167	63	30	25	212	110	0	178	137	0
16	0	151	255	0	138	255	214	241	82	0	200	255	0	61	215	0	37	159	0	201	0
17	0	201	255	0	154	173	246	225	0	0	169	255	0	41	66	1	47	49	132	177	0
18	151	138	33	112	150	87	254	254	0	0	173	255	34	104	81	150	189	131	153	200	0
19	0	171	255	243	154	112	236	244	0	0	255	255	0	74	80	76	139	144	135	239	0
20	0	173	244	0	146	184	223	246	0	0	170	255	0	60	144	0	32	80	0	109	0

По результатам табл. 2 построены корреляционные зависимости между кислотным числом ТМ и различными координатами цветности (r, g, b). Коэффициенты линейной корреляции (R) обоих исследований приведены в табл. 3.

Таблица № 3 – Сравнение значений корреляционной зависимости

Белый свет	Начало	R	0,848557
Белый свет	Начало	G	0,431688
Белый свет	Начало	B	0,818535
Белый свет	Середина	R	0,605188
Белый свет	Середина	G	0,583095
Белый свет	Середина	B	0,754983
Белый свет	Экран	R	0,693086
Белый свет	Экран	G	0,489898
Белый свет	Экран	B	0,700214
Синий свет	Начало	R	0,728451
Синий свет	Начало	G	0,564567
Синий свет	Начало	B	0,813265
Синий свет	Середина	R	0,533465
Синий свет	Середина	G	0,235963
Синий свет	Середина	B	0,583095
Синий свет	Экран	R	0,760968
Синий свет	Экран	G	0,47931
Синий свет	Экран	B	0,648074
Зеленый свет	Начало	R	0,77496
Зеленый свет	Начало	G	0,597841
Зеленый свет	Начало	B	0,473498
Зеленый свет	Середина	R	0,633711
Зеленый свет	Середина	G	0,681689
Зеленый свет	Середина	B	0,447325

В качестве примера на рис. 2 приведена корреляционная зависимость между координатой цветности и кислотным числом.

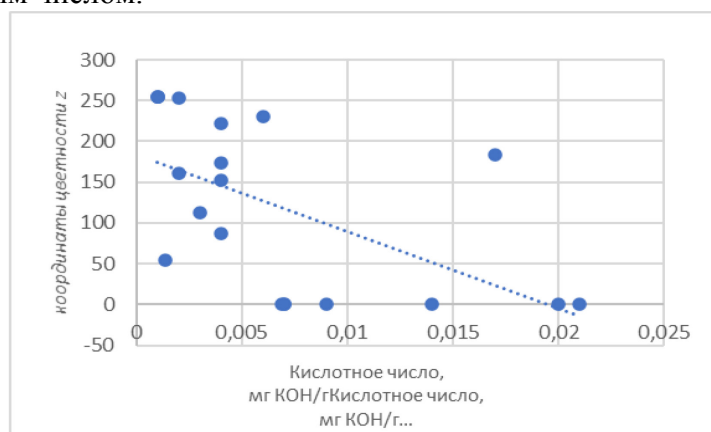


Рис. 2. – Корреляционная зависимость кислотного числа от координаты цветности b при пропускании через масло белого источника света (область 2)  $R=0,75$

Анализ полученных результатов (рис. 2, табл. 2 и табл. 3) свидетельствует о том, что в процессе старения трансформаторных масел с увеличением их кислотного числа происходит смещение цвета масла в красную сторону и в рассеянном цвете наблюдается изменение цвета масла от фиолетового до красного.

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. установлены корреляционные связи между координатами цветности ТМ и КЧ масел;
2. получены корреляционные уравнения между координатами цветности ТМ и КЧ масел, позволяющие определять эти характеристики у исследуемых масел по их цветным фото;
3. полученные результаты свидетельствуют о том, что по координатам цветности, можно определить КЧ масел.

Проанализировав комбинации определения зависимости между КЧ ТМ и координатами цветности можем прийти к выводу, что выявление корреляции при рассмотрении различных марок масел имеют меньший коэффициент корреляции, поскольку масла могут отличаться физико- химическими свойствами. При рассмотрении конкретной марки масла, в нашем случае ГК, корреляционная зависимость КЧ ТМ от координаты цветности заметно повышается.

#### **Список литературы**

1. Виды испытаний трансформаторного масла [Электронный ресурс]. <https://leg.co.ua/info/transformatory/> (дата обращения: 09.03.2022).
2. Валиуллина Д.М., Гарифуллин М.Ш., Козлов В.К. Цвет как показатель качества изоляционных масел // Энергетика. Методы и средства диагностики масел. – 2003. – №4. – С. 95 – 100.
3. Липиштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с
4. Масло трансформаторное ГК: технические характеристики, гост и очистка [Электронный ресурс]. <https://globecore.ru/> (дата обращения: 30.10.2021).
5. Виды испытаний трансформаторного масла [Электронный ресурс]. <https://leg.co.ua/info/transformatory/> (дата обращения: 30.10.2021).
6. ГОСТ 5985-79 Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа.

## 2.3.3.

**К.А. Кузнецова, К.А. Воронин, А.К. Ильина, Л.О. Федосова, А.В. Золотов**

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,  
институт промышленных технологий машиностроения,  
кафедра автоматизация машиностроения,  
Нижний Новгород

**РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЛАБОРАТИВНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

*В работе представлены результаты изучения коллаборативных роботов совместно с интеллектуальными системами, а именно системой технического зрения для решения задач упаковки объектов и паллетирования коробок на производстве. Изучена поточная линия на предприятии ООО «Посуда» и предложен вариант автоматизации производственного участка. Проведен ряд экспериментов, показывающий эффективность и безопасность работы комплекса и человека.*

*Ключевые слова: коллаборативный робот, система технического зрения, захватное устройство, паллетирование.*

В настоящее время для обеспечения конкурентоспособности предприятий необходимо добиться высокой эффективности производственных процессов, а также качества выпускаемых товаров и инновационной технологической оснащённостью. Для достижения таких характеристик распространённым решением является роботизация производства. Однако, существующие на данный момент традиционные промышленные роботы не соответствуют современным тенденциям гибкости и адаптивности производства [5], поэтому на замену им приходят роботы нового поколения – коллаборативные роботы (коботы).

Одна из сильных сторон промышленных роботов – точность, что является важным фактором в операциях, где необходимо соблюдать повышенные требования к стандартам качества, например, сварка или фрезерование [3]. Такие машины обеспечивают большую пропускную способность производственной линии, позволяя обрабатывать большее количество продукции за единицу времени. Но несмотря на все их достоинства, анализ современного рынка показал, что их использование требует больших финансовых затрат. Так, промышленные роботы грузоподъёмностью до 20 кг стоят от 5 до 10 млн. руб., в то время как коботы с аналогичными параметрами имеют цену от 3,5 млн. руб.

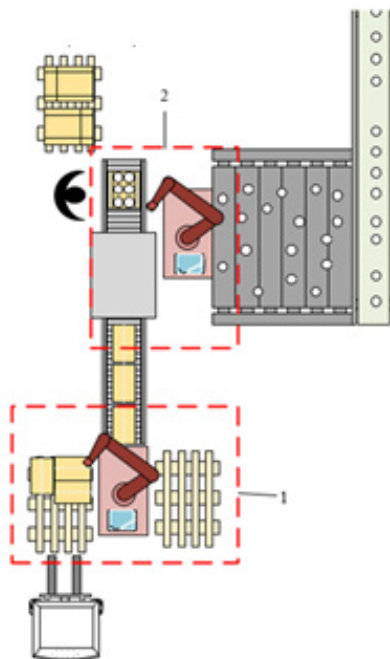
В отличие от традиционных роботов, которые расположены в изолированном рабочем пространстве, коботы предназначены для взаимодействия с людьми [4]. Главным критерием таких машин является безопасность операторов, что обеспечивается датчиками, распознающими наличие человека в рабочей зоне манипулятора. Такие роботы имеют небольшие габаритные размеры, что в свою очередь повышает их мобильность и компактность расположения в производственном цеху. Коботы обладают высокой универсальностью за счёт быстрого перенастраивания оборудования под различные задачи благодаря быстросъёмным инструментам и адаптивностью управляющей программы.

Благодаря этим характеристикам коботы становятся привлекательным решением для широкого спектра производственных задач, например, паллетирование и упаковка выпускаемых изделий, обеспечивая необходимую гибкость для поддержания конкурентоспособности в условиях современного рынка.

Например, на предприятии ООО «Посуда» была поставлена задача идентификации посуды Pashabache на конвейерной линии с последующей транспортировкой продукции в тару. На данный момент после визуального контроля качества упаковщик вручную укладывает изделие в коробку, что негативно влияет на производительность ввиду наличия

человеческого фактора. В связи с этим было принято решение автоматизировать данный производственный участок [2] за счет внедрения коботов.

На основе анализа данных и современных тенденций в области автоматизации был рассмотрен вариант автоматизации процесса упаковки изделий и паллетирования картонных коробок с использованием двух коллаборативных роботов (рисунок 1).






1, 2 – зона работы коллаборативных роботов

Рис. 1 – Схема процесса упаковки изделий и паллетирования коробок

С конвейерной линии посуда попадает в зону работы коллаборативного робота 2, который занимается упаковкой изделий в картонную тару. По рольгангу коробки перемещаются к первому коботу, отвечающему за укладку коробок в паллеты. При такой схеме расположения машин необходим только один оператор на производственной линии, который формирует коробки и перекладывает их на конвейер.

Ключевой операций для двух роботов является захват посуды и короба, в связи с этим необходимо верно подобрать захватные устройства. Был произведен анализ приборов на основании их характеристик и перечня выпускаемых изделий. Продемонстрируем в таблице 1 наиболее предпочтительные варианты захватов.

Таблица 1 – Сравнительный анализ характеристик захватов

Модель захвата	Характеристики	Стоимость
Механический захват RG-6 	Грузоподъемность: 6-10 кг Ход захвата: 160 мм Сила захвата: 25-120 Н Масса устройства: 1.25 кг Размеры: 262×212×42	От 280.000 руб.
Пневматический захват onRobot VGC10 	Грузоподъемность: 10-15 кг Сила всасывания: до 120 Н Масса устройства: 0,814 кг Размеры: 70× 100 × 100	От 450.000 руб.
Вакуумный захват onRobot VG10 	Грузоподъемность: 10-12 кг Сила всасывания: до 150 Н Масса устройства: 1.64 кг Размеры: 105× 390 × 390	От 340.000 руб.

Первые две модели используются для захвата стеклянной посуды различной геометрической формы. Механический захват используется для захвата изделий цилиндрической формы (бокалы, стаканы), в то время как пневматический захват, работающий на основе сильно разряженного воздуха в присосках, то есть вакуума, применяется для захвата изделий плоской формы (тарелки, блюда). Третий вариант предназначен для паллетирования картонных коробок.

Для задачи упаковки стеклянных изделий в тару ограничиться только захватным устройством не целесообразно в связи с произвольным позиционированием изделий на конвейерной линии, поэтому необходимо прибегнуть к использованию адаптивных систем, например система технического зрения. Она представляет собой совокупность аппаратных средств и программного обеспечения, необходимые для распознавания и анализа объектов манипулирования посредством их изображений [1]. Это решение помогает робототехническому комплексу избавиться от проблемы хаотичного расположения посуды на конвейере. Главным компонентом в данной системе выступает камера машинного зрения.

Поскольку на данный момент существует множество типов камер, предназначенных для разных целей и условий эксплуатации, необходимо проанализировать их ключевые параметры и выбрать наиболее подходящий вариант.

Одной из главных характеристик камеры является ее тип. Была выбрана матричная камера, поскольку процесс съемки происходит мгновенно, что гарантирует высокую детализацию снимков в условиях статичного положения посуды. Немаловажным преимуществом является высокая скорость ее работы, поскольку во время съемки захватываются все пиксели одновременно, что невозможно в устройствах другого типа.

По типу изображения выделяют два вида камер: монохромные и цветные. В контексте данной задачи преимущественно использовать ч/б изображение, так как приоритетней распознавать четкость геометрической формы изготавливаемых изделий, а не их цвет, что является более примитивным и менее затратным вариантом.

Не менее важно подобрать интерфейс передачи данных, который служит для связи аппаратных средств технологического комплекса. В ходе анализа существующих типов интерфейса было установлено, что интерфейс GigE с применением технологии PoE является предпочтительным вариантом. Он обеспечивает возможность подачи питания без дополнительных источников питания и способен передавать данные на значительные расстояния.

После проведенного анализа характеристик камер технического зрения и определения требуемых параметров, составлена сравнительная таблица камер от разных производителей (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная таблица камер технического зрения

Модель камеры	Характеристики камеры	Стоимость	Сроки поставки
Basler acA3088-16gm 	Тип: матричная; Разрешение: 3088x2064; Цветопередача: монохром; Интерфейс: GigE, PoE; Встроенный ПК: нет.	От 250.000 руб.	От 3 месяцев
LUCID PHX064S 	Тип: матричная; Разрешение: 3072x2048; Цветопередача: монохром; Интерфейс: GigE, PoE; Встроенный ПК: нет.	От 75.000 руб.	От 3 месяцев
x86 Smart Camera SI5A20MG000E 	Тип: матричная; Разрешение: 4000x3000; Цветопередача: монохром; Интерфейс: GigE, PoE; Встроенный ПК: да.	От 350.000 руб.	В наличии

Из рассмотренных вариантов камер технического зрения предпочтение было отдано модели x86 Smart Camera SI5A20MG000E, так как она обладает всеми требуемыми характеристиками для поставленной задачи и доступна в наличии. Несмотря на высокую стоимость, такая камера имеет встроенный ПК, что в значительной степени определяет гибкость и удобство работы с ней по причине быстрого перепрограммирования устройства, а также отсутствия в необходимости покупки дополнительного дорогостоящего оборудования.

Для реализации внедрения системы технического зрения в робота номер 2 в рамках задач упаковки посуды в короб был проведен ряд лабораторных работ. В состав комплекса входят робот с камерой, прикрепленной на фланец кисти манипулятора, монитор, клавиатура и мышь. Во время изучения номенклатуры выпускаемых изделий было выявлено, что наиболее популярными являются фигуры цилиндрической и прямоугольных форм. В связи с этим были смоделированы и напечатаны на 3D-принтере две модели – цилиндр и параллелепипед. В качестве прототипа захватного устройства были использованы губки с V-образным профилем. Внешний вид экспериментального комплекса представлен на рисунке 2.



Рис. 2 – Экспериментальная установка в лаборатории

На первоначальном этапе сформирована программа по распознаванию объектов различной геометрической формы с помощью камеры. После выполнения алгоритма на ПЛК кобота передаются координаты центров и угла поворота фигур в виде значений  $X$ ,  $Y$ ,  $A$ . Далее контроллер обрабатывает полученные сигналы и подает управляющие команды манипулятору робота. В зависимости от поставленной задачи, кобот автоматически выполняет последовательность действий по схватыванию и транспортировке объектов в тару. В случае отсутствия предметов манипулирования в зоне видимости камеры робот остается на базовой позиции.

В ходе проведения ряда экспериментов было установлено, что с вероятностью 97% управляющие программы камеры и кобота отработали безошибочно.

В заключении можно сделать вывод о перспективе совместной работы машинного зрения с манипулятором, что в значительной степени способствует автоматизации производства за счет открывшихся возможностей с высокотехнологичной камерой. Внедрение интеллектуальных устройств расширяет спектр выполняемых задач коллаборативных роботов, поэтому такие робототехнические комплексы становятся наиболее востребованными на мировом рынке.

#### **Список литературы**

1. *Борисова И.В.* Компьютерное зрение. Цифровая обработка и анализ изображений: учебное пособие / И. В. Борисова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – 163 с.
2. *Иванов А.А.* Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / А. А. Иванов – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Форум: Инфра-М, 2023 – 223с. – (Высшее образование – Бакалавриат).
3. *Иванов А.А.* Основы робототехники: учебное пособие / А. А. Иванов – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Форум: Инфра-М, 2025 – 223с.
4. *Ермишин К.В., Ющенко А.С.* Коллаборативные мобильные роботы – новый этап развития сервисной робототехники // Робототехника и техническая кибернетика. 2016 №3(12). С. 3-9.
5. *Консон Ю.А., Ронжин А.Л.* Оптимизация производства для современной работы робота и человека. // Современные информационные технологии. Теория и практика. Чита: ЧГУ, 2017 С. 23-29.

2.3.3.

**К.Д. Семенков, В.Г. Сурикова**

Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф.Решетнева,  
Красноярск, kosty0002011@mail.ru

### **ПЛАНИРОВАНИЕ ТРУДОЗАТРАТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАДЕЖНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО ПРОДАЖЕ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*В статье рассматриваются вопросы планирования трудозатрат на разработку надежной автоматизированной платформы для продажи медицинского оборудования. Проведено исследование зависимости надежности программного обеспечения от времени его тестирования на основе модели оценки трудозатрат. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации процесса разработки и повышения качества программных систем.*

Ключевые слова: *надежность, медицинское оборудование, трудозатраты, программные системы.*

В условиях современного рынка медицинского оборудования автоматизация бизнес-процессов становится необходимым элементом успешного функционирования компаний. Пандемия COVID-19 усилила потребность в автоматизации, так как многие компании столкнулись с необходимостью оперативного адаптирования к новым условиям работы. Автоматизация позволяет сократить затраты времени и ресурсов, повысить точность и качество обслуживания клиентов. Как отмечает Иванов А. В., "внедрение автоматизации на платформе 1С позволяет значительно улучшить управление бизнес-процессами и повысить их прозрачность" [1].

Компании, занимающиеся продажей медицинского оборудования, сталкиваются со следующими проблемами:

1) Управление ассортиментом: Сложности в поддержании оптимального ассортимента приводят к дефициту одних товаров и избыточным запасам других. Необходим точный прогноз спроса и адаптация ассортимента в реальном времени [2].

2) Координация поставок: Проблемы с координацией поставок часто приводят к задержкам и нарушению графиков. Автоматизация планирования и выполнения поставок решает эти проблемы.

3) Управление продажами и обслуживанием клиентов: Трудности в управлении клиентскими данными и взаимодействии с клиентами требуют интегрированных CRM-систем для улучшения качества обслуживания и повышения удовлетворенности клиентов [3].

4) Финансовый учет: Ведение финансового учета и составление отчетности представляют сложности. Автоматизация обеспечивает точность и прозрачность финансовых операций.

5) Интеграция систем: Проблемы интеграции различных систем затрудняют обмен данными и координацию бизнес-процессов. Единая автоматизированная система необходима для слаженной работы всех отделов.

Ключевые требования, которые заказчик предъявляет к системе автоматизации, делятся на функциональные и нефункциональные. Функциональные требования включают управление запасами, координацию поставок, управление продажами, финансовый учет и соблюдение регуляторных требований. Нефункциональные требования охватывают надежность и отказоустойчивость, масштабируемость, интеграцию, безопасность данных и

удобство использования.

Эти требования важны для обеспечения точного учета и контроля складских запасов, автоматизации процессов планирования и выполнения поставок, эффективного управления клиентскими данными и продажами, автоматизации бухгалтерского учета и соблюдения нормативных требований. Нефункциональные аспекты включают высокую надежность системы, возможность ее масштабирования, интеграцию с существующими и будущими системами, обеспечение безопасности данных и удобство использования.

Так как одним из главных аспектов является надежность, то на этапе планирования проектирования автоматизированной системы необходимо сделать анализ трудозатрат для разработки надежной программной системы.

Существует множество различных моделей оценки стоимости. Наиболее популярной и документированной является модель COMOMO II (Constructive Cost Model), созданная Барри Бозмом в 1999 году. Калибровка параметров производилась по 161 проекту разработки.

В модели используется формула регрессии с параметрами, определяемыми на основе отраслевых данных и характеристик конкретного проекта. Различаются две стадии оценки проекта: предварительная оценка на начальной фазе и детальная оценка после проработки архитектуры [4]. Формула оценки трудоемкости проекта в чел.-мес. имеет вид (1):

$$PM = A \cdot SIZE^E \cdot \sum_{i=1}^n EM_i \quad (1)$$

Для факторов масштаба и множителей трудоемкости задаются табличные значения. Очевидно, что такая модель не дает возможности задать необходимый уровень надежности, т.к. коэффициент *RELY* имеет табличное значение и не информативен.

Для прогноза трудозатрат предлагается использовать модель роста надежности *SGRM* [5]. *SGRM* предполагает, что надежность растет пропорционально времени тестирования, которое может быть измерено во времени использования процессора. Она предполагает, что количество найденных и исправленных ошибок пропорционально количеству существующих ошибок. Время  $T_r$  для достижения желаемого уровня надежности  $R_m$  рассчитывается по формуле:

$$T_r = \frac{-\ln\left(-\frac{\ln R_m}{\beta_0 \beta_1}\right)}{\beta_1} \quad (2)$$

Общее количество ошибок, которые можно обнаружить, определяется по формуле:

$$\beta_0 = C \cdot F_{ph} \cdot F_{pt} \cdot F_m \cdot F_s \cdot L \quad (3)$$

где  $L$  – количество тысяч строк исходного кода.

В модели *COCOMO II* предлагается рассчитывать  $L$  по формуле:

$$L = L_{new} + L_{reuse} \quad (4)$$

Размер повторно используемого программного кода рассчитывается следующим образом:

$$L_{reuse} = KASLOC \cdot \frac{(100 - AT) \cdot (AA + SU + 0.4 \cdot DM + 0.3 \cdot CM + 0.3 \cdot IM)}{100} \quad (5)$$

Рассмотрим пример разработки программного компонента, выполняющего обработку данных о финансовых операциях. Предположим, что по функциональным точкам на основании имеющейся статистики был вычислен размер кода проектируемого компонента 673 строк, в котором 16 ошибок. На рисунке 1, а представлен график роста надежности при тестировании проектируемого программного компонента:

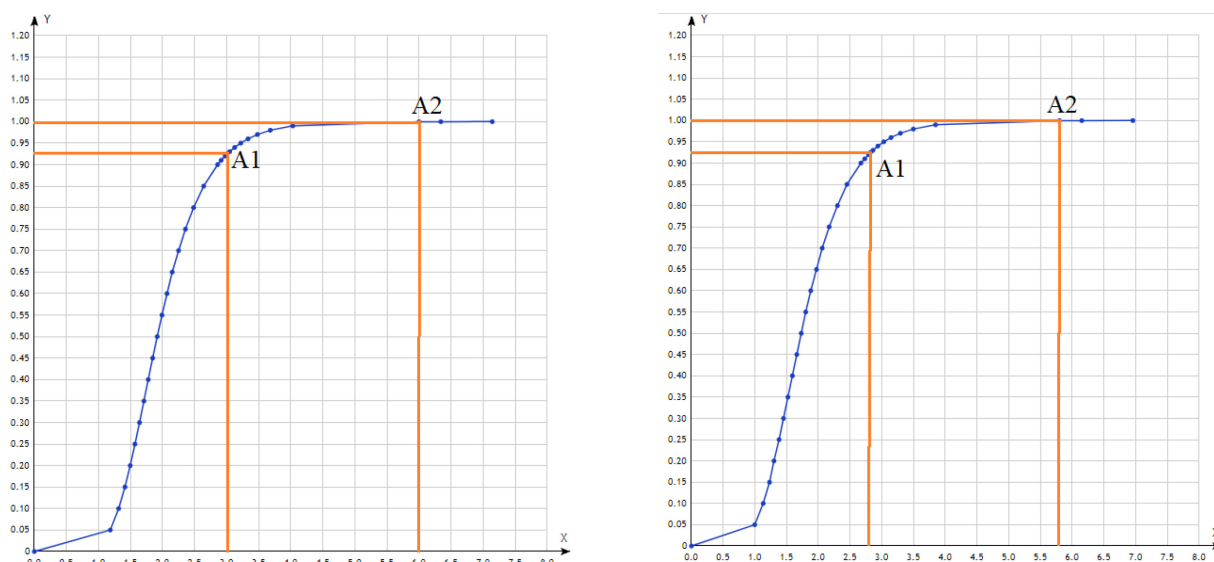


Рис. 1 – Эксперимент №1 (а) и эксперимент №2 (б)

Точки A1 и A2 обозначают альтернативы в разработке программного компонента: за 3 часа с достижением надежности 0.925 или за 6 часов с достижением надежности 0.9998.

Предположим, что по функциональным точкам на основании имеющейся статистики был вычислен размер кода проектируемого компонента 673 строк, в котором 11 ошибок. На рисунке 1, б представлен график роста надежности при тестировании проектируемого программного компонента:

Как видно по рисунку 1,б если меньше ошибок в коде, тогда надежность достигается быстрее. В данном случае, при 11 ошибках, надежность 0.925 достигается за 2.82 часа, а надежность 0.9998 достигается за 5.8 часа.

Таким образом, для планирования трудозатрат необходимо выполнить следующие шаги:

1. Рассчитать размер кода проектируемого программного компонента по модели *COCOMO II*.
2. Построить зависимость надежности от времени разработки и тестирования по модели *SGRM*.
3. Определить возможные альтернативы «надежность/трудозатраты».
4. Выделить для разработки данного программного компонента такое количество трудовых ресурсов, чтобы его надежность удовлетворяла требованиям заказчика.

При всей сложности современных программных систем, к расчетам надежности ПО не могут предъявляться высокие требования по точности. Несмотря на это, расчеты надежности удобно использовать как при обосновании трудоемкости испытаний, что повышает уверенность заказчика в качестве выполненных работ.

### Список литературы

1. Иванов А.В. "Автоматизация бизнес-процессов на платформе 1С: Практическое руководство". Москва: Издательство 1С, 2020.
2. Петров Б.Н. "Управление фирмой по продаже медицинского оборудования: Стратегии и тактики". Санкт-Петербург: МедПресс, 2018.
3. Кузнецова Е.И. "CRM-системы и их роль в управлении взаимоотношениями с клиентами". Новосибирск: Наука, 2021.
4. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения: Учебник / С. Орлов. – СПб.: Питер, 2002. – 464 с.
5. Русаков М.А. Многоэтапный анализ архитектурной надежности в сложных информационно-управляющих системах: Дис. канд. техн. наук: Красноярск, 2005 – 168 с.

## 2.3.3.

**Л.А. Феоктистова канд. техн. наук, Т.В. Рзаева**

Набережночелнинский институт казанского федерального университета

**ВЫБОР САД-СИСТЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН  
В РАМКАХ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

*В данной работе представлен краткий анализ применения графических программ в образовательном процессе.*

*Проводится оценка целесообразности использования графических программ в образовательном процессе, а также определяется оптимальный вариант для изучения графических дисциплин.*

*Ключевые слова: Инженерная графика, компьютерная графика, 3D-моделирование. AutoCAD, КОМПАС-3D.*

Основная цель дисциплины «Инженерная графика» — формирование у студентов знаний, умений и навыков, необходимых для выполнения и чтения чертежей различного назначения, а также составления конструкторской и технической документации изделий.

В настоящее время особую значимость приобретают вопросы, связанные с разработкой инновационных продуктов, оптимизацией сроков проектирования и повышением качества проектных работ. Решение этих задач определяет темпы научно-технического прогресса в обществе.

Для успешного выполнения поставленных задач необходимы специализированные программы, которые могут функционировать автономно или интегрироваться с другими техническими системами.

Одним из инструментов, который может быть применён для достижения поставленной цели, является система автоматизированного проектирования.

В рамках образовательной программы для разработки проектно-конструкторской документации используются специализированные программные продукты, предназначенные для проектирования, такие как КОМПАС 3D, AutoCAD, NX и другие.

Чтобы среди широкого спектра систем автоматизированного проектирования выбрать наиболее подходящую для обучения студентов, нужно определить критерии сравнения и разработать рекомендации по выбору таких систем. Это делает исследование актуальным.

При выборе программных продуктов мы исходили из потребностей специалистов со знанием и умением работы в программах Компас 3D и AutoCAD.

Система КОМПАС 3D предназначена для создания трёхмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, включающих как оригинальные, так и стандартизированные конструктивные элементы.

Параметрическая технология позволяет быстро создавать модели типовых изделий на основе однажды разработанного прототипа. Ключевой особенностью КОМПАС 3D является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН.

На сегодняшний день система AutoCAD, разработанная компанией Autodesk, является самой популярной системой автоматизированного проектирования (САПР) в мире.

AutoCAD предоставляет широкий спектр возможностей для выполнения различных видов чертёжных работ, используемых в различных областях технического проектирования. Программа включает в себя инструменты для создания проектов, моделирования и визуализации пространственных объектов. Также есть доступ к внешним базам данных.

Кроме того, AutoCAD имеет интеллектуальные функции, которые помогают наносить размеры на чертежи, работать с файлами разных форматов и многое другое.

Ключевые функции систем КОМПАС-3D и AutoCAD направлены на моделирование изделий, что способствует существенному уменьшению сроков разработки и ускорению запуска производства.

Благодаря опыту, полученному в ходе моделирования, мы можем выделить как индивидуальные особенности, свойственные каждой отдельной программе, так и общие принципы работы, которые характерны для всех подобных систем.

Одно из основных различий между КОМПАС-3D и AutoCAD заключается в подходе к созданию трёхмерных объектов.

В КОМПАС-3D процесс моделирования трехмерных объектов начинается с создания эскизов — плоских изображений, расположенных в определенных плоскостях и имеющих ряд характеристик, называемых создаются твердотельные объекты. История действий сохраняется в дереве построения, где можно редактировать и изменять параметры эскизов. Данная технология создания трёхмерных объектов обладает рядом преимуществ.

В AutoCAD процесс создания трёхмерных моделей представляет собой последовательность действий, начинающуюся с определения ключевых характеристик объекта, таких как его размеры, форма и пространственное положение. Эти параметры служат основой для последующего построения трёхмерной модели с применением разнообразных инструментов и операций.

В программе КОМПАС3D предусмотрена функция создания сборочных единиц с использованием системы сопряжений. Это позволяет создавать объекты с заданными характеристиками и располагать их относительно друг друга с учётом определённых параметров.

В AutoCAD отсутствует система сборки. Объекты создаются и сохраняются отдельно в общем файле. Для позиционирования объектов относительно друг друга используются простые перемещения в пользовательской системе координат. В AutoCAD не предусмотрена функция сохранения истории построений и параметризации в трёхмерном пространстве.

Функционал системы КОМПАС-3D — это набор современных инструментов, которые значительно упрощают и ускоряют процесс проектирования и моделирования. Одним из главных преимуществ является генерация ассоциативных видов трёхмерных моделей. Это позволяет вносить изменения в модель и сразу же видеть их отражение на чертеже.

Система КОМПАС-3D также обеспечивает синхронизацию данных в основной надписи чертежа с данными трёхмерной модели, что гарантирует согласованность и точность всей информации.

Система КОМПАС-3D также предлагает возможность связывать трёхмерные модели и чертежи со спецификациями. Это позволяет автоматически создавать спецификации в процессе проектирования. Это значительно упрощает процесс создания и редактирования спецификаций, а также гарантирует их актуальность и точность.

AutoCAD — это мощный инструмент для создания и редактирования двумерных чертежей. Программа предоставляет широкие возможности для работы со слоями и аннотативными объектами, что делает процесс редактирования более наглядным и удобным. В AutoCAD реализован механизм внешних ссылок, который позволяет разбивать чертежи на отдельные файлы, что значительно упрощает их организацию и управление. Программа поддерживает как двумерное параметрическое черчение, так и трёхмерную печать. Кроме того, AutoCAD поддерживает облака точек, что делает её универсальным инструментом для создания трёхмерных моделей.

В ходе исследования и анализа данных были сделаны следующие заключения:

1. Обе программы демонстрируют высокую эффективность в области трёхмерного моделирования.

2. Программа «Компас-3D» представляет собой современное программное обеспечение для проектирования. С её помощью можно создавать геометрические фигуры, используя эскизы, а также добавлять и удалять элементы. При работе с программой необходимо учитывать, что плоскость для эскиза может менять своё положение. Поэтому при изменении

элементов необходимо проявлять внимательность и осторожность.

3. В программе AutoCAD предусмотрена возможность создания трёхмерных объектов, таких как параллелепипеды, цилиндры и конусы. Однако при изменении положения осей координат могут возникнуть сложности, поскольку высота цилиндра или конуса всегда будет направлена вдоль оси Z.

4. Освоение трёхмерного изображения в программе AutoCAD может быть начато сразу после знакомства с панелями инструментов и базовыми знаниями по пространственной геометрии.

5. Чтобы успешно работать с трёхмерными изображениями в программе Компас-3D, следует предварительно ознакомиться с функциями панели инструментов «Геометрия». Это необходимо, так как панель «Моделирование» становится доступной только при соблюдении определённых условий: эскиз должен быть замкнутым, его границы не должны повторяться, а также нужно создать несколько непересекающихся контуров.

6. Одним из главных минусов AutoCAD является то, что он недоступен для использования в России. В 2022 году компания Autodesk приняла решение приостановить свою работу в нашей стране.

В настоящее время студенты уделяют большое внимание графическим дисциплинам наряду с математикой, физикой и информатикой. В связи с этим представляется целесообразным начать изучение графических программ с использования КОМПАС-3D, который отличается простотой и удобством в освоении. Это позволит студентам сосредоточиться на практическом применении программы в процессе обучения, а не на её теоретическом изучении.

Исследование, проведенное нами, носит предварительный характер и не претендует на исчерпывающее освещение рассматриваемой темы. В дальнейшем мы планируем продолжить работу над совершенствованием методов и форматов обучения инженерной графике с использованием систем автоматизированного проектирования (CAD).

### ***Список литературы***

1. *Феоктистова Л.А.* Применение средств компьютерной графики при изучении курса «Инженерная графика»// Естественные и технические науки. - Москва, 2014. - №11–12. - С. 199–201.
2. *Большаков В., Бочков А., Лячек Ю.* Твердотельное моделирование деталей в CAD-системах. - Издательский дом "Питер", 2015. - 473 с.
3. *Мэлсбеков Н.М.* Сравнительный анализ возможности двух CAD сред SOLIDWORKS и КОМПАС 3D их достоинство и недостатки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://conf.sfukras.xn--rusites-sb7c/mn2013/thesis/s047/s047...> (дата обращения: 28.02.2025)

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ — 2.3.5.

2.3.5.

Л.Б. Абибулаев, Д.В. Малыгин, Д.Н. Аблякимова, З.С. Сейдаметова

ГБОУВО РК КИПУ имени Февзи Якубова,  
кафедра прикладной информатики,  
Симферополь, pi@kipu-rc.ru, ablyakimova.dinara@gmail.com

### АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*В статье рассмотрены алгоритмы оптимизации для распределенных вычислительных систем, включая методы консенсуса и балансировки нагрузки. Проанализированы эффективность различных подходов, направленных на улучшение производительности и надежности систем, а также децентрализованный подход и интеграция методов машинного обучения для динамической адаптации к изменениям нагрузки.*

Ключевые слова: алгоритмы, оптимизация, распределенные системы, безопасность, инновации.

Распределенные вычислительные системы представляют собой сеть взаимосвязанных компьютеров, работающие совместно для решения вычислительных задач. Эти системы позволяют параллельно обрабатывать данные и делегировать задачи, что значительно увеличивает производительность и надежность вычислений. В отличие от централизованных систем, в которых вычисления сосредоточены на одном сервере, в распределенных системах ресурсы и задачи распределены по нескольким узлам. Ключевыми характеристиками распределенных вычислительных систем являются масштабируемость, отказоустойчивость, гетерогенность и прозрачность.

Архитектура распределенных вычислительных систем меняется в зависимости от конкретных задач, основные компоненты – узлы, сетевое взаимодействие, системы управления и хранилище данных. Узлами, как правило, являются физические или виртуальные компьютеры, выполняющие вычисления и обрабатывающие данные. Связь между узлами реализуется различными протоколами (напр., TCP/IP), которые обеспечивают обмен данными и координацию действий. Системы управления контролируют распределение задач, мониторинг состояния узлов и обработку ошибок, а хранилище данных включает распределенные базы и системы, которые обеспечивают доступ к информации из разных узлов [1]. В статьях [2], [3], [4] проведен анализ существующих моделей и алгоритмов для распределенной оптимизации. Авторы статей [2] и [3] отмечают, что при решении проблемы оптимизации распределенным способом в распределенных алгоритмах каждый агент выполняет свои локальные вычисления и обновления на основе собственных данных и обменивается ими с соседними агентами посредством базовых сетей связи.

Алгоритмы оптимизации в распределенных системах играют ключевую роль в повышении эффективности обработки данных и управлении ресурсами. Они ориентированы на улучшение производительности системы при помощи нахождения наилучших решений для распределения задач, использования ресурсов и минимизации задержек. В условиях распределенных вычислений, в которых множество узлов взаимодействует и обрабатывает данные одновременно, оптимизация становится важнейшей, так как позволяет существенно улучшить общую производительность и снизить затраты времени на выполнение задач.

Алгоритмы оптимизации в распределенных системах можно разделить на централизованные и децентрализованные. Централизованные алгоритмы ориентированы на управление всей системой из одного узла, что эффективно для небольших систем. Децентрализованные алгоритмы распределяют управление и принятие решений между узлами, лучшей масштабируемости и отказоустойчивости, и эффективны для применения в сложных распределенных средах.

Алгоритмы оптимизации классифицируются по типам задач, включая балансировку нагрузки, маршрутизацию и обработку запросов. Например, алгоритмы балансировки нагрузки направлены на равномерное распределение рабочих нагрузок между узлами. Методы оптимизации могут использовать эвристические методы, генетические алгоритмы и методы машинного обучения. Достижение консенсуса между узлами критически важно для обеспечения согласованности данных. Методы консенсуса, такие как Paxos и Raft, позволяют узлам согласовывать состояния и решения, обеспечивая надежность системы [5].

Использование методов консенсуса учитывает широкий спектр задач, включая контроль за состоянием распределенных баз данных и координацию различных сервисов в облачных средах. Методы консенсуса позволяют гарантировать, что каждый узел системы имеет согласованное представление о состоянии и может корректно выполнить свои функции.

Также важной задачей в распределенных системах является балансировка нагрузки, необходимая для обеспечения равномерного распределения рабочих нагрузок между узлами. Различные методы балансировки нагрузки применяются в зависимости от архитектуры системы и требований к производительности. Это алгоритмы с фиксированными правилами, такие как «круговой» или «случайный» выбор узлов, а также более сложные методы, основанные на мониторинге текущей нагрузки и динамической перенастройке распределения задач.

Эффективность алгоритмов оптимизации можно оценивать с помощью различных метрик, помогающих понять, хорошо ли система справляется с поставленными задачами. К таким метрикам относятся время выполнения, использование ресурсов, скорость обработки данных и уровень отказоустойчивости. Эти показатели позволяют сравнить различные алгоритмы и выбрать наиболее подходящие для конкретных условий и требований. Сравнительный анализ подходов к оптимизации может выявить сильные и слабые стороны различных алгоритмов. Напр., некоторые алгоритмы могут обеспечивать высокую производительность при низком уровне отказоустойчивости, в то время как другие могут быть более надежными, но менее эффективными в плане использования ресурсов. Этот анализ позволяет разработчикам принимать обоснованные решения при выборе алгоритмов для своих систем.

Облачные технологии предоставляют гибкие и масштабируемые ресурсы для обработки и хранения данных, позволяя пользователям быстро разворачивать приложения и услуги, не беспокоясь о физической инфраструктуре, значительно упрощая разработку и управление распределенными системами [6]. Приложения для Интернета вещей (IoT) генерируют огромные объемы данных, требующие эффективной обработки и анализа в реальном времени. Это создает новые вызовы и возможности для распределенных систем, которые должны быть способны интегрироваться с этими устройствами, обеспечивая надежную и быструю передачу данных.

Перспективы дальнейшего развития алгоритмов оптимизации также представляют собой важную область исследования. Направления исследований охватывают широкий спектр тем, включая улучшение существующих алгоритмов, разработку новых подходов и интеграцию методов машинного обучения для повышения эффективности. Исследования в области теории графов, теории игр и оптимизации на больших данных становятся особенно актуальными, так как они позволяют решить сложные задачи, возникающие в современных распределенных системах [6].

В ходе анализа алгоритмов оптимизации, методов консенсуса, балансировки нагрузки и современных тенденций в области распределенных вычислений было установлено, что эти компоненты играют ключевую роль в повышении эффективности и надежности систем.

Технологии облачных вычислений и Интернета вещей создают новые вызовы и возможности, требующие от разработчиков гибкости и адаптивности. Перспективы развития алгоритмов оптимизации, направленные на интеграцию инноваций и методов машинного обучения, открывают новые горизонты для эффективного решения сложных задач.

В этом контексте важно рассмотреть внедрение адаптивного алгоритма консенсуса в распределенные вычислительные системы. Этот алгоритм разработан с целью повышения эффективности работы распределенных систем, обеспечивая динамическую адаптацию к изменяющимся условиям нагрузки и улучшая согласованность данных между узлами.

Основные характеристики адаптивного алгоритма консенсуса:

1. *Динамическая адаптация* – алгоритм собирает данные о текущем состоянии узлов, включая их загрузку, время отклика и доступные ресурсы.

2. *Децентрализованный подход* позволяет распределять управление между узлами, улучшая масштабируемость и отказоустойчивость системы.

3. *Совместимость с существующими системами* – адаптивный алгоритм консенсуса легко интегрируется в уже существующие распределенные системы, используя стандартные протоколы связи, что обеспечивает интеграцию без необходимости значительных изменений в архитектуре.

4. *Методы машинного обучения* позволяют анализировать исторические данные о нагрузках и производительности узлов.

5. *Эффективная балансировка нагрузки* включает механизмы балансировки нагрузки, обеспечивающие равномерное распределение задач между узлами, что предотвращает перегрузку отдельных узлов и повышает общую производительность системы.

Архитектура адаптивного алгоритма консенсуса, представляет собой взаимодействие ключевых компонентов распределенной системы, включает компоненты для сбора и анализа данных о состоянии узлов, что позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям. Узлы принимают решения относительно параметров консенсуса, обмениваются сообщениями для синхронизации информации и используют механизм обратной связи для корректировки действий. Эта структура повышает отказоустойчивость и масштабируемость, обеспечивая эффективную работу системы.

Исследование и тестирование различных алгоритмов позволяют выбрать наиболее эффективные решения в зависимости от конкретных задач. Интеграция методов консенсуса и балансировки нагрузки на ранних этапах разработки поможет обеспечить надежность и производительность системы. Таким образом, применение этих рекомендаций позволит эффективно использовать возможности современных распределенных систем и адаптироваться к быстро меняющимся требованиям отрасли.

#### Список литературы

1. Лиманова Н.И. Вычислительные машины, комплексы, системы и сети. – Самара: ПГУТИ, 2022. – 400 с.
2. Zheng Y., Liu Q. A review of distributed optimization: problems, models and algorithms // Neurocomputing, vol. 483, 2022. – P. 446-459.
3. Duan S. et al. Distributed artificial intelligence empowered by end-edge-cloud computing: a survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 25, №1, 2023. – P. 591-624.
4. Mrabet F., Karamti W., Mahfoudhi A. Scheduling analysis and correction for dependent real-time tasks upon heterogeneous multiprocessor architectures // Computing, №106(3), 2024. – P.651-712.
5. Золкин А.Л. Техническое и программное обеспечение вычислительных машин, систем и сетей. – СПб.: Лань, 2025. – 164 с.
6. Заяц А.М. Информационные блокчейн системы и смарт-контракты. – СПб.: ГЛТУ, 2024. – 96 с.

2.3.5.

Т.А. Деменкова канд. техн. наук, В.А. Ланцевский

МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА)  
Москва, demenkova@mirea.ru**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В статье рассматриваются подходы к тестированию приложения информационных систем на примере отечественной платформы Fastkore. Описаны этапы ручного тестирования, включая настройку ролей, доступов и создание тестовых сценариев. Исследованы вопросы автоматизации тестирования с использованием макросов на языке C# и методов API для работы с базой данных. Предложены рекомендации по оптимизации запросов к базе данных для повышения производительности тестирования. Рассмотрены методы API для обращения к базе данных, их влияние на время выполнения макросов и нагрузку на сервер.

Ключевые слова: информационная система, тестирование, база данных, Fastkore, автоматизация, макросы, API, оптимизация запросов.

В настоящее время существует большой ассортимент приложений, которые позволяют автоматизировать бизнес-процессы и не для всех таких приложений есть готовые решения для тестирования. Чаще всего в тестировании участвуют ручные тестеры, для которых хорошо известно приложение, в котором был разработан и смоделирован бизнес-процесс. В данной работе рассматривается одно из таких приложений – Fastkore Business. Это отечественная система, позволяющая управлять процессами в компании. В Fastkore Business есть инструмент для моделирования бизнес-процессов каждого бизнес-компонента (рис. 1) [1].

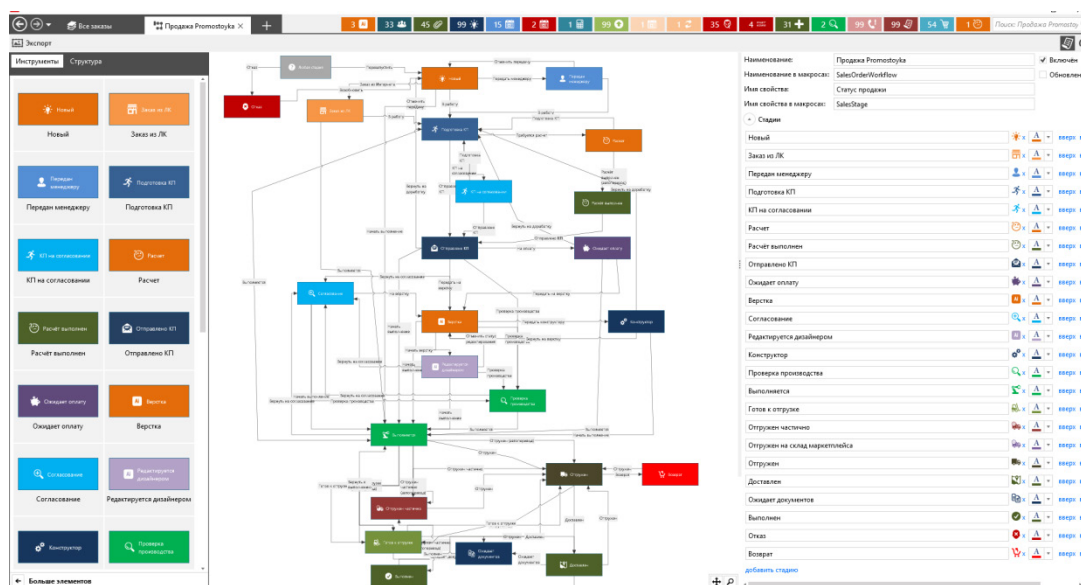


Рис. 1 – Редактор бизнес-процесса «Продажа» в Fastkore Business

**Ручное тестирование разработанного бизнес-процесса**

Для тестирования разработанного процесса нужно определить:

- участников или их роли, непосредственно участвующих в процессе;
- сценарии исхода событий в системе;
- доступы для пользователей к каждому из свойств или связей сущностей компонентов, участвующих (напрямую или косвенно) в процессе;

- доступы к системным командам («Создать», «Копировать», «Редактировать», «Удалить» и т. д.);
- доступы к командам (команды-макросы, формирование печатных форм отчётов);
- доступы к компонентам на каждой из стадий бизнес-процессов (возможность инициировать переходы по стадиям бизнес-процессов, редактирование объектов в определенных стадиях бизнес-процесса).

Следующим шагом в подготовке к тестированию является создание тестовых учетных записей с каждой из ролей участников бизнес-процесса. Для каждой учётной записи задаётся роль или набор ролей, логин и пароль для входа.

Важно, чтобы настройки доступов в системе опирались на роль учётной записи, а не на конкретную учётную запись, иначе результаты тестирования не будут соответствовать реальной картине происходящего [2, 3].

После подготовки учётных записей можно приступать к тестированию. По каждому из возможных сценариев создаются объекты таким образом, чтобы затронуть максимально большое количество настроенных доступов к командам, свойствам и связям. Например, создается объект заказа с различным набором позиций заказа (компонента «Позиция сметы»). Позиции могут отличаться по типу объекта компонента «Номенклатура», который привязывается к позиции сметы: номенклатура, не требующая запуска в производство; номенклатура с типом «Услуга»; номенклатура с назначением «Шаблон»; номенклатура с привязанным технологическим процессом.

В зависимости от разновидности номенклатуры у позиций сметы система будет вести себя по-разному: будут создаваться или не создаваться производственные позиции; будут создаваться или не создаваться объекты компонента «Приход-Расход», которые влияют на значения остатков номенклатуры на складе; будет копироваться номенклатура из шаблона для создания уникального изделия или нет. Все эти вариации будут влиять на прохождение по бизнес-процессу объектом. На рис. 2 представлен процесс создания тестового объекта компонента «Заказы».

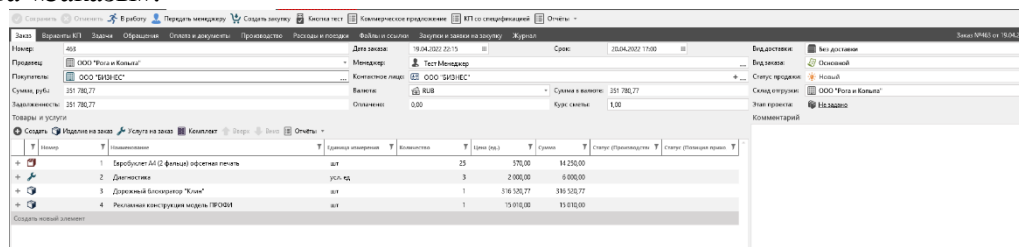


Рис. 2 – Создание тестового объекта компонента «Заказы»

В данном случае тестируется бизнес-процесс «Продажа», поэтому создание объекта компонента «Заказы» должно происходить из тестовой учётной записи с ролью менеджера.

При возникновении несоответствия результата с ожиданием от настройки проверяется проведенная разработчиком настройка. Для проверки нужно:

- зайти в плитку с настройками конфигурации;
- найти в списке компонент, в котором настроен доступ;
- найти саму настройку доступа;
- проверить настройку и исправить, после чего повторить действия, которые должны привести к желаемому результату.

Доступы, команды и условия в данной системе могут настраиваться макросами, которые пишутся на языке C#. В макросе используются имена объектов текущего контекста. Объекты напоминают по структуре классы со своими полями и наследователями. Проблема, которая возникает при отладке сложного макроса, это отсутствие в среде разработки встроенных в систему отладчика или консоли терминала. Поэтому для вывода какой-либо промежуточной информации используется встроенная функция записи в компонент «Журнал событий» (некий журнал логов, в который можно записать строки текста) или функция отображения формы, в которую также можно отобразить текст из макроса.

### Автоматизированное тестирование в приложении Fastkore

Для автоматизации ручного труда при тестировании платформа Fastkore позволяет запрограммировать команды, которые будут оперировать объектами системы, считывать и записывать данные и автоматически выполнять действия в системе. В среде разработки макросов в Fastkore есть встроенный API для обращения к объектам базы данных и при проектировании тест-кейса нередко приходится пользоваться методами этого API. При разработке макроса для тестирования одной из ключевых задач является оптимизация запросов к базам данных (БД). Далее мы рассмотрим методы оптимизации запросов к MySQL через API в клиент-серверных приложениях, что позволит значительно повысить производительность процесса тестирования информационных систем [4].

Рассмотрим методы, позволяющие получить данные не из контекста макроса, а напрямую из БД:

FindEntity(Guid ComponentGuid, string filter) – возвращает один объект из справочника по фильтру. Если объектов несколько, возвращается первый по дате создания. В память загружается объект и все его свойства.

FindEntities(Guid ComponentGuid, string filter) – возвращает несколько объектов из справочника по фильтру. В память загружаются объекты и все их свойства.

FindEntitiesWithLinks(Guid ComponentGuid, string filter, [Guid Links]) – возвращает несколько объектов из справочника по фильтру, включая связанные объекты и их свойства, указанные в параметре Links. В память загружаются объекты, их свойства и связанные объекты.

На рис. 3 показан пример того, как идет обращение к связанным объектам в системе.

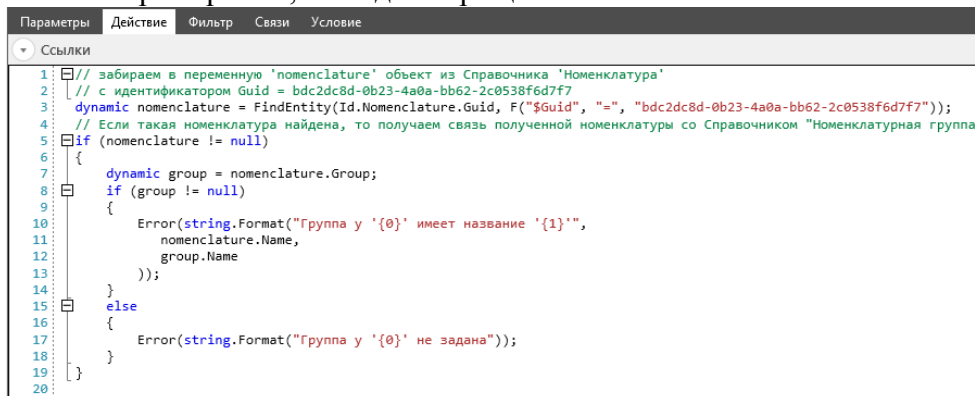


Рис. 3 – Пример макроса получения и обработки данных из БД.

Данный макрос делает запрос к БД, получает номенклатуру с указанным Guid-идентификатором. Если данная номенклатура есть в БД, то при обращении к Номенклатурной группе делает еще один запрос из Справочника «Номенклатурные группы». Если Группа найдена, то пользователю выдается окно с текстом «Группа у ПВХ панель имеет название Стройматериал».

Разберем это макрос с точки зрения оптимального обращения к БД. В макросе используется метод FindEntity, который забирает в память данные только найденного объекта, соответственно при обращении к каждой отдельной связи этого объекта, будет создаваться запрос в БД для получения свойств связанного объекта (рис. 4-5).

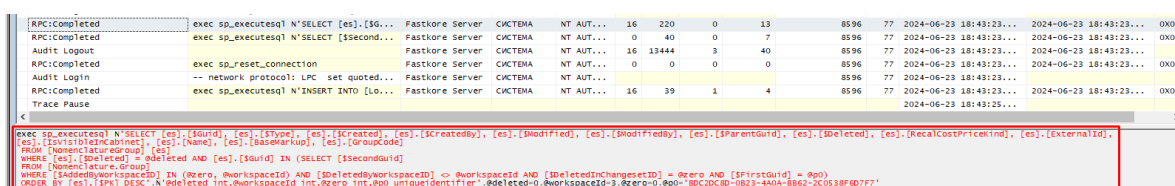


Рис. 4 – Трассировка SQL Server Profiler. Первый запрос объекта из справочника Номенклатура

RPC:Completed	exec sp_executesql N'SELECT [es].[Sg...	FastKore Server	СХЕМА	NT AUT...	16	220	0	13	8596	77	2024-06-23 18:43:23...
RPC:Completed	exec sp_executesql N'SELECT [Ssecond...	FastKore Server	СХЕМА	NT AUT...	0	40	0	7	8596	77	2024-06-23 18:43:23...
Audit Logout		FastKore Server	СХЕМА	NT AUT...	16	13444	3	40	8596	77	2024-06-23 18:43:23...
RPC:Completed	exec sp_reset_connection	FastKore Server	СХЕМА	NT AUT...	0	0	0	0	8596	77	2024-06-23 18:43:23...
Audit Login	-- network protocol: LPC set quoted...	FastKore Server	СХЕМА	NT AUT...					8596	77	2024-06-23 18:43:23...
RPC:Completed	exec sp_executesql N'INSERT INTO [Lo...	FastKore Server	СХЕМА	NT AUT...	16	39	1	4	8596	77	2024-06-23 18:43:23...
Trace Pause											2024-06-23 18:43:25...

Рис. 5 – Трассировка SQL Server Profiler.

Второй запрос связанного объекта из справочника Номенклатурные группы

Такой подход можно использовать при работе с малым количеством объектов, как в этом примере, но при обработке огромного количества объектов или при переборе большого количества связанных объектов данный подход будет не оптимален по нагрузке сервера и временным затратам на выполнение макроса.

Для написания макросов со сложными обработками данных из БД нужно правильно использовать методы API обращения к БД. Разработчик макроса должен понимать, насколько много придется получить данных из системы с учетом роста этих данных в БД, чтобы при возникновении ошибок переполнения выделенной памяти не приходилось возвращаться к написанному коду и оптимизировать его.

Ниже приводится пример макроса, в котором используется метод FindEntitiesWithLinks() для получения определенных объектов справочника Номенклатура по определенному фильтру. Полученные данные из Номенклатуры обрабатываются: макрос определяет сколько за определенный последний месяц было сделано Расходов и Приходов на склад (рис. 6).

```

Параметры Действие Фильтр Связи Условие
Ссылки
1 // Получаем все объекты номенклатуры с группой "ПВХ"
2 // и в память получаем связанные объекты по связи "Складские движения"
3 var startTime = Now;
4 var baseStartTime = Now;
5 IfEnumerableDynamic() nomencatureEntities = FindEntitiesWithLinks(Id.Nomenclature.Guid,
6 F(Id.Nomenclature.Link.Group, "=", "5eb344d3-6980-48bb-985f-cb7e3396674"),
7 LP(Id.Nomenclature.Link.StoreItem)
8 );
9 var delta1 = (Now - startTime).TotalMilliseconds;
10 var date = Today.AddMonths(-1);
11 startTime = Now;
12 // Получаем все объекты Товаров движения, в которых есть все складские позиции из прошлого запроса
13 // с фильтром "Дата последней операции" у движения за последний месяц и
14 // тип движения не равен "Перемещение"
15 IfEnumerableDynamic() storeActionItems = FindEntitiesWithLinks(Id.StoreActionItem.Guid,
16 string.Format("[{0}] IN ('{1}')", Id.StoreActionItem.Link.StoreItem,
17 string.Join(",", nomencatureEntities.Select(x => x.StoreItem.Guid))) + " AND " +
18 F(Id.StoreActionItem.Link.StoreAction, "Type", "=", Id.StoreAction.Type.Movement) + " AND " +
19 F(Id.StoreActionItem.Link.StoreAction, Id.StoreAction.Prop.Date, ">=", date),
20 LP(Id.StoreActionItem.Link.StoreAction),
21 LP(Id.StoreActionItem.Link.StoreItem)
22 );
23 var delta2 = (Now - startTime).TotalMilliseconds;
24 string resultText = string.Format("Всего объектов из первого запроса: {0}; Время выполнения: {1} мс\n", nomencatureEntities.Count(), delta1);
25 resultText += string.Format("Всего объектов из второго запроса: {0}; Время выполнения: {1} мс\n", storeActionItems.Count(), delta2);
26 resultText += string.Format("Движения по складам у всех ПВХ начиная с {0}\n", date);
27 foreach (var groupByType in storeActionItems.GroupBy(x => x.StoreAction.Type.Name))
28 {
29 resultText += string.Format("{0} кон-но: {1} шт.\n", groupByType.Key, groupByType.Count());
30 }
31 var baseDelta = (Now - baseStartTime).TotalMilliseconds;
32 resultText += string.Format("Общее время выполнения макроса: {0} мс", baseDelta);
33 Error(resultText);
34

```

Рис. 6 – Макрос получения большого количества данных с помощью FindEntitiesWithLinks

Таблица 1 - Результаты работы макроса с FindEntitiesWithLinks

Запрос	Число объектов	Время
Первый запрос номенклатуры	17	108 мс
Второй запрос номенклатуры	285	1837 мс
Обработка полученных объектов	19,5 мс	

В табл. 1 указано время, затрачиваемое на первый и второй запросы номенклатуры. Общее время работы макроса с учетом обработки данных 1964,5 мс. Общее количество запросов на сервер равно двум, так как все использованные связи в обработке были загружены в память. Подобный макрос считается оптимальным для работы. Теперь модифицируем код и поменяем использование метода FindEntitiesWithLinks на FindEntities.



Рис. 7 – Макросы с двумя запросами с помощью FindEntities

Таблица 2 - Результаты работы макроса с FindEntities

Запрос	Число объектов	Время
Первый запрос номенклатуры	17	74,97 мс
Второй запрос номенклатуры	285	376,1 мс
Обработка полученных объектов	1 809,43 мс	

В табл. 2 указано время, затрачиваемое на первый и второй запросы номенклатуры. Общее время работы макроса с учетом обработки данных 2260,5 мс. Время запроса к БД уменьшилось, так как не запрашиваются связанные объекты, но общее выполнение обработки макросом увеличилось практически в 100 раз.

Ниже показаны графики зависимости затраченного времени от количества запрошенных и обработанных объектов (рис.8,9).

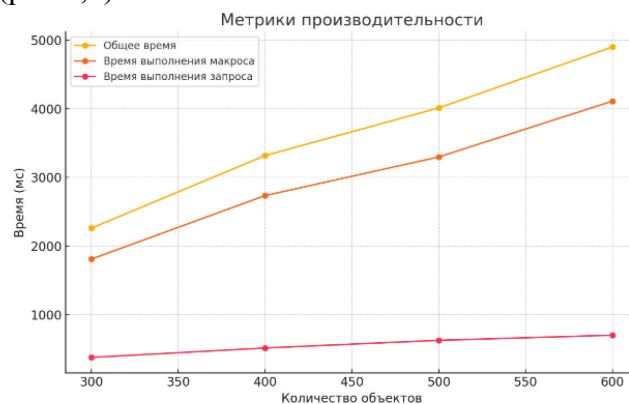


Рис. 8 – График зависимости затраченного времени от количества объектов при использовании метода FindEntities

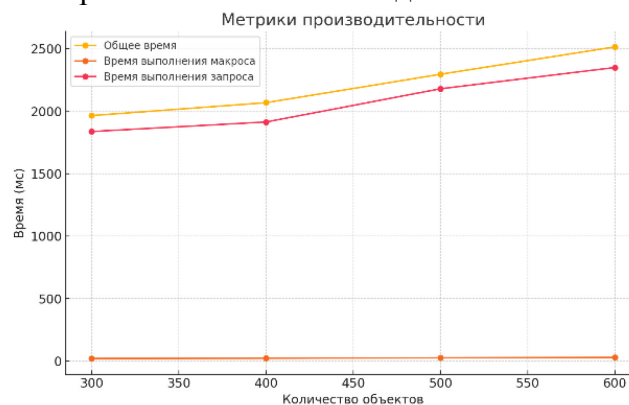


Рис. 9 – График зависимости затраченного времени от количества объектов при использовании метода FindEntitiesWithLinks

### **Заключение**

При мануальном тестировании настроенных процессов, команд и других доработок в информационной системе нужно организовывать свой процесс тестирования таким образом, чтобы за меньшее количество итераций тестирования затронуть максимальное количество возможных сценариев. В части информационной системы Fastkore это можно делать с помощью команд-макросов, при написании которых нужно четко понимать методы API, которые поддерживает среда разработки Fastkore, так как при неправильном использовании этих методов время, затраченное на автоматизацию тестирования, может превышать время ручного метода. При этом неправильное использование методов API может привести к высокой нагрузке сервера для обработки запросов к БД, что негативно скажется на скорости работы системы. Полученные результаты можно использовать при тестировании приложений на основе рассмотренной платформы.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ  
(Государственное задание для университетов № ФГФЗ-2023-0005).*

### **Список литературы**

1. Современная российская ERP-система Fastkore. – URL: <https://fastkore.ru/> (дата обращения 04.02.2025).
2. Шведов А.В. и др. Интеллектуальное тестирование как способ повышения качества информационной системы //REDS: Телекоммуникационные устройства и системы, №2 – 2022. С. 43-52
3. Шкрадюк А. Д. Оценка безопасности информационных систем с помощью тестирования на проникновение //Умная цифровая экономика. – 2022. – Т. 2. – №. 4. – С. 18-30.
4. Нуриев М.Г., Ахмадуллин Т.Р. Организация параллельной обработки SQL-запросов с использованием системы управления базами данных MS SQL Server //Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов (шифр–МКАП 24). – 2023. – С. 69 -77.

2.3.5.

<sup>1</sup>С.Р. Ермаков, <sup>1,2</sup>С.В. Зыков д-р техн. наук

<sup>1</sup>МИРЭА – Российский технологический университет,  
Институт информационных технологий,  
кафедра инструментального и прикладного программного обеспечения,  
Москва, ermakov\_s@mirea.ru,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Высшая школа бизнеса, Департамент бизнес-информатики,  
Москва, zikov@hse.ru

### **МЕТОД МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

*В данной научной работе авторами предлагается метод масштабирования признаков для потоковой интеллектуальной образовательной системы. Описано функционирование метода и приведена схема. Проведено экспериментальное исследование метода, результаты которого отражены в виде графика. Полученные выводы подтверждают эффективность предложенного метода по сравнению с рассмотренными аналогами.*

Ключевые слова: *методы машинного обучения, нормализация данных, масштабирование признаков, классификация, интеллектуальная образовательная система, потоковые данные.*

В условиях стремительного развития технологий интеллектуальные образовательные системы становятся неотъемлемой частью современного образования. Такие системы используют машинное обучение (МО) и анализ больших данных для персонализации обучения, оценки успеваемости, выявления пробелов в знаниях и предоставления адаптивных рекомендаций студентам. Одна из нерешенных задач в этой области – масштабирование и нормализация образовательных признаков, данных, необходимых для обучения моделей МО. Цель данного исследования – разработка нового метода масштабирования признаков для потоковой интеллектуальной образовательной системы (ПИОС), ориентированной на работу в российских образовательных организациях [1,2].

Авторами предлагается реализация метода, сочетающего экспоненциальное сглаживание [3] на основе экспоненциального скользящего среднего (Exponential Moving Average, EMA) [4] и использование скользящего окна (Sliding Window, SW) [5] фиксированной длины. Экспоненциальное сглаживание используется для обновления глобальных статистических параметров признаков, таких как среднее значение ( $\mu_t$ ) и дисперсия ( $\sigma_t^2$ ), с учётом поступающих новых данных. Этот подход позволяет методично и плавно корректировать оценки статистик, минимизируя влияние отдельных выбросов и временных аномалий. В то же время использование скользящего окна фиксированной длины ( $W$ ) обеспечивает вычисление локальных статистик на основе последних  $W$  наблюдений, что позволяет учитывать краткосрочные изменения и адаптироваться к текущей динамике данных. Метод опирается на два основных параметра:

1. **Коэффициент сглаживания ( $\alpha$ )** определяет скорость обновления глобальных статистических параметров с учётом новых данных. Высокое значение  $\alpha$  приводит к быстрому адаптивному статистик к свежим данным, что полезно в условиях быстрых изменений. Низкое значение  $\alpha$  обеспечивает более устойчивые и сглаженные оценки, снижая чувствительность к отдельным выбросам

2. **Размер окна ( $W$ )** определяет количество последних наблюдений, используемых для вычисления локальных статистик. Большой размер окна позволяет учитывать более широкий контекст и уменьшить влияние шума, но может снижать способность метода к быстрой адаптации. Меньший размер окна повышает реактивность метода на изменения, но может

увеличить восприимчивость к временным колебаниям и шуму [6]. Метод функционирует следующим образом:

1. **Обрабатываются входные данные.** При поступлении нового наблюдения  $x_t$ , оно добавляется в очередь фиксированного размера  $W$ . Если размер очереди превышает  $W$ , самое старое значение удаляется.

2. **Обновляются глобальные статистические параметры.** Вычисляется разность  $\Delta = x_t - \mu_{t-1}$ , где  $\mu_{t-1}$  — предыдущее среднее значение признака. Обновляется среднее значение с использованием формулы экспоненциального сглаживания:  $\mu_t = \mu_{t-1} + \alpha \cdot \Delta$ . Параллельно обновляется дисперсия:  $\sigma_t^2 = (1 - \alpha) \cdot \sigma_{t-1}^2 + \alpha \cdot (\Delta)^2$ . Эти обновления обеспечивают плавное изменение глобальных статистик с учётом новых данных.

3. **Вычисляются локальные статистики.** Если очередь содержит  $W$  элементов, вычисляются локальные среднее  $\bar{x}_w$  и стандартное отклонение  $\sigma_w$  на основе последних  $W$  наблюдений:

$$\bar{x}_w = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^W x_i, \quad (1)$$

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{i=1}^W (x_i - \bar{x}_w)^2}. \quad (2)$$

В случае, если очередь содержит меньше  $W$  элементов, локальные статистики не вычисляются.

4. **Выбираются статистические параметры для нормализации.** Если окно данных заполнено (то есть накоплено  $W$  точек — последних локальных наблюдений), для нормализации текущего значения  $x_t$  используется локальная статистика:

$$z_t = \frac{x_t - \bar{x}_w}{\sigma_w}. \quad (3)$$

В противном случае применяется глобальная статистика:

$$z_t = \frac{x_t - \mu_t}{\sigma_t}. \quad (4)$$

Таким образом, метод автоматически выбирает наиболее подходящие статистические параметры для нормализации в зависимости от доступности данных.

5. **Выходит нормализованное значение.** Полученное нормализованное значение  $z_t$  готово для передачи в последующие этапы обработки или непосредственно в модель машинного обучения.

Схема предлагаемого метода представлена на рисунке 1.

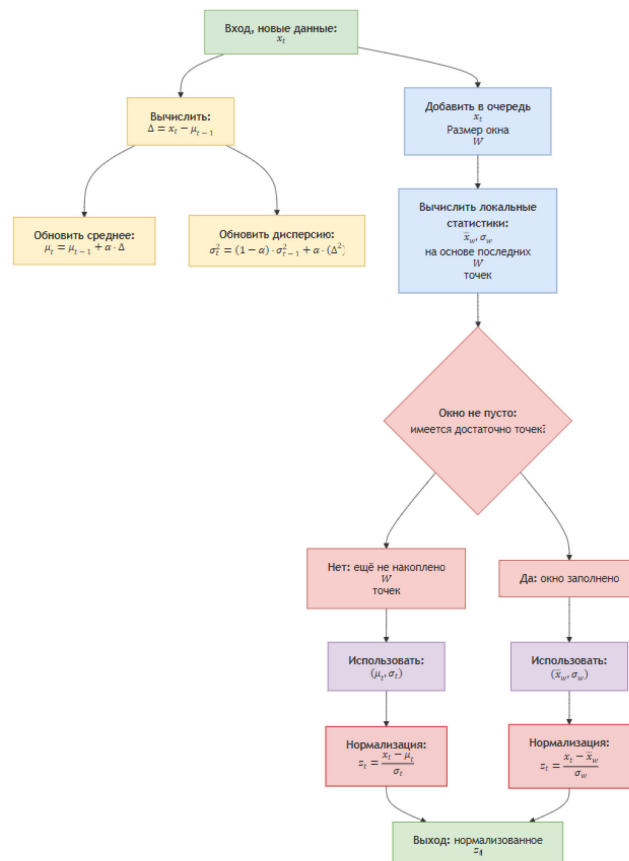


Рис. 1 – Метод масштабирования признаков для ПИОС

Для оценки эффективности предложенного метода масштабирования данных были проведены эксперименты на наборе данных [7,8], преобразованном в потоковый формат с использованием библиотеки River для Python [9,10]. В ходе эксперимента сравнивались алгоритмы потокового машинного обучения с использованием метода масштабирования данных и без него. Целевой переменной являлось среднее время в минутах, затраченное на попытку решения примера ( $\text{time\_per\_attempt} = \frac{\text{total\_sec\_taken}}{\text{total\_attempt\_cnt}}$ ).

Поток данных представлял собой итеративный источник, передающий отдельные примеры (пары  $X, y$ ) для обработки в режиме реального времени. Это позволило моделям машинного обучения обновлять свои параметры на каждом новом поступающем примере, отражая реалистичный сценарий применения в условиях непрерывного поступления данных. В рамках исследования были реализованы и сравнены пять моделей потокового машинного обучения:

1. **Дерево Хёффдинга (Hoeffding Tree)**. Дерево решений, специально адаптированное для потоковой обработки данных. Данный алгоритм позволяет строить компактные и интерпретируемые модели за счет динамического обновления структуры дерева при поступлении новых данных. Основой его работы является применение неравенства Хёффдинга, которое обеспечивает статистическую гарантию того, что накопленный объем данных достаточен для принятия решения о разделении узла. Это делает метод особенно эффективным в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и непрерывного потока данных. В рамках эксперимента были реализованы два варианта дерева Хёффдинга, различающихся параметрами накопления наблюдений для проверки условий разделения узла. Один из них использует значение параметра 400 (HT1), а второй — 200 (HT2). Этот параметр определяет количество экземпляров, которые узел должен обработать перед анализом на необходимость его разделения.

2. **Адаптивное дерево Хёффдинга (Hoeffding Adaptive Tree, HAT)**. Усовершенствованная версия дерева решений, способная учитывать концептуальный дрейф данных — изменения в их статистических характеристиках. Эта модель обеспечивает

большую устойчивость к изменениям в данных за счёт динамического обновления своих параметров [11].

3. **Потоковое градиентное дерево (Streaming Gradient Tree, SGT).** Модель основана на принципах работы деревьев решений и оптимизирована для использования в условиях непрерывного поступления данных [12].

4. **Модель с применением предлагаемого метода (EMA & SW Model, EMAWM).** Данная модель создана на основе НАТ и дополнена предлагаемым методом масштабирования признаков, а также параметрами ограничения памяти и учёта давности данных через коэффициент затухания. Это позволяет эффективно использовать память, удаляя устаревшие узлы, что делает модель подходящей для работы в условиях ограниченных ресурсов.

Для оценки качества предсказания исследованы основные статистические характеристики целевой переменной (среднее время в минутах, затраченное на попытку решения примера), приведенные в таблице.

Таблица - Статистические характеристики целевой переменной

Статистика	Значение
Количество (count)	50 000
Среднее (mean)	2.88
Стандартное отклонение (std)	0.97
Дисперсия ( $\text{std}^2$ )	0.95
Минимум (min)	0.00
25-й процентиль (25%)	2.19
Медиана (50%)	2.78
75-й процентиль (75%)	3.52
Максимум (max)	5.55

Эти статистические показатели демонстрируют, что целевая переменная распределена относительно симметрично с небольшим скошением вправо, что подтверждается близким расположением среднего и медианы. Диапазон значений от 0 до 5.56 указывает на наличие как низких, так и высоких значений, что может свидетельствовать о разнообразии примеров в наборе данных.

График сравнения моделей по метрике R2 и визуализация распределения истинных переменных и целевой переменной для EMAWM представлены на рисунке 2.

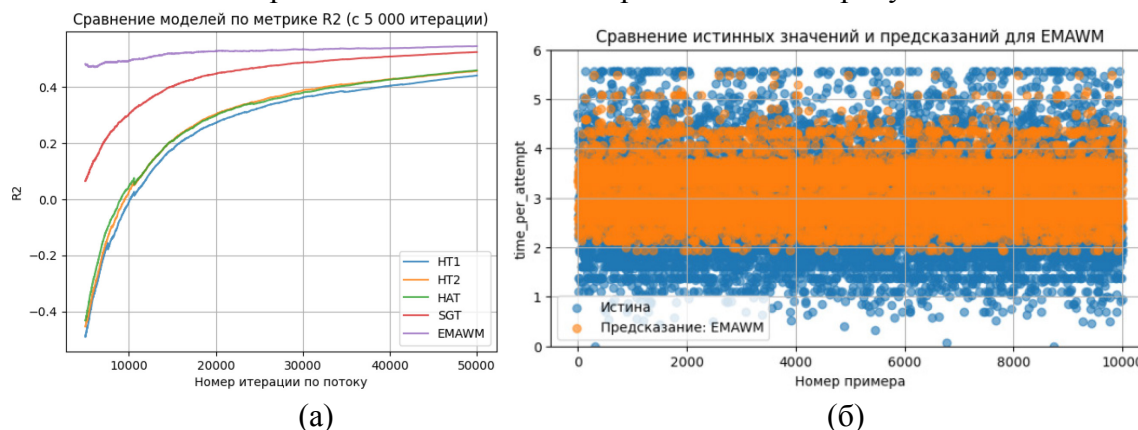


Рис. 2 – Результаты эксперимента

График демонстрирует сравнение моделей машинного обучения по метрике R2 в условиях потоковой обработки данных. Наилучшие результаты показала модель EMAWM, которая уже на ранних этапах (5 000 итераций) достигает высокого значения  $R2 > 0.47$  и стабилизируется около значения 0.54 к концу эксперимента, значительно превосходя остальные модели. Эти результаты подтверждают эффективность метода EMAWM для задач потокового машинного обучения, особенно в условиях изменчивости данных, где важна высокая точность предсказаний. Также по визуализации видно, что модель крайне редко

предсказывает значения  $\text{time\_per\_attempt} < 2$ , однако, это может быть преимуществом в рамках решения задач регрессии в ПИОС, так как для сложных заданий в обучении сильно ограниченное время решения может являться выбросом в данных.

Экспериментальные результаты продемонстрировали сравнительную эффективность модели потокового машинного обучения с применением предложенного метода масштабирования признаков. ЕМАWM по метрике  $R^2$  в среднем на 14% по сравнению с другими моделями. Это свидетельствует о высокой эффективности метода в условиях изменчивых образовательных данных.

Разработанный метод масштабирования данных с использованием скользящего окна и экспоненциального сглаживания представляет собой эффективное и универсальное решение для задач потокового машинного обучения. Его способность адаптивно учитывать как долгосрочные тренды, так и краткосрочные изменения в данных, а также устойчивость к выбросам, делает его ценным инструментом для обработки динамически изменяющихся потоков данных. Экспериментальная оценка подтвердило высокую эффективность метода, демонстрируя улучшение точности предсказаний моделей и обеспечение стабильной работы в условиях реального времени. Данный подход может быть применён и в других областях, требующих оперативной и надёжной обработки потоковых данных, таких как финансовые технологии, интернет вещей и системное мониторинг.

### *Список литературы*

1. *Hämäläinen W., Vinni M.* Comparison of Machine Learning Methods for Intelligent Tutoring Systems // *Lecture Notes in Computer Science*. 2006. Vol. 4053. P. 525–534.
2. *Ермаков С.Р.* Алгоритм инкрементального дерева решений для потоковой интеллектуальной образовательной системы // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2024. № 12. С. 292–296.
3. *Lima S., Gonçalves A.M., Costa M.* Time series forecasting using Holt-Winters exponential smoothing: An application to economic data // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2186. P. 090003.
4. *Yang J., Guo Z., Liu S.* A method for anomaly detection in cascade hydropower station water level data based on variational autoencoders // *Ninth International Symposium on Advances in Electrical, Electronics, and Computer Engineering (ISAECE 2024)*. SPIE, 2024. Vol. 13291. P. 106–112.
5. *Chen X.* и др. Fish weight prediction using empirical and data-driven models in aquaculture systems // *2024 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)*. 2024. P. 369–374.
6. *Zhou C.* и др. A Simple Normalization Technique Using Window Statistics to Improve the Out-of-Distribution Generalization on Medical Images // *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2024. Vol. 43, № 6. P. 2086–2097.
7. *Junyi Academy Online Learning Activity Dataset* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/junyiacademy/learning-activity-public-dataset-by-junyi-academy> (дата обращения: 03.01.2025).
8. *Schmucker R.* и др. Assessing the Performance of Online Students -- New Data, New Approaches, Improved Accuracy // *arXiv:2109.01753*. 2022.
9. *Montiel J.* и др. *River: machine learning for streaming data in Python*. 2020.
10. *River · PyPI* [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/river/> (дата обращения: 20.11.2024).
11. *Bifet A.* и др. MOA: massive online analysis // *Journal of Machine Learning Research*. 2010. Vol. 11.
12. *Montiel J.* и др. Scikit-Multiflow: A Multi-output Streaming Framework // *Journal of Machine Learning Research*. 2018. Vol. 19.

2.3.5.

**Д.В. Жматов канд. техн. наук, доцент, К.И. Шутов**

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»  
Москва, shutov\_k@mirea.ru

### **РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОИСКА ПОТЕРЯННЫХ ТОВАРОВ НА СКЛАДЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

*Статья посвящена разработке имитационной модели для оценки метода поиска потерянных товаров на складе с использованием тензометрических датчиков. Исследование подтвердило эффективность метода на уровне 96,7%, что демонстрирует его пригодность для применения на умных складах. Выявлены ограничения метода, связанные с весом и количеством товаров на стеллажах. Определены требования к складам, обеспечивающие наивысшую эффективность метода.*

Ключевые слова: *тензометрические датчики, имитационная модель, интернет вещей, оптимизация складских процессов, распределение Гаусса.*

Современные склады активно интегрируют технологии интернета вещей (IoT) для автоматизации логистики и инвентаризации. Одним из таких решений является использование тензометрических датчиков для фиксирования веса товаров на полках. Однако для их внедрения требуется оценка эффективности и выявление ограничений метода поиска товаров.

Развитие технологий интернета вещей во многом зависит от качества и эффективности применяемых датчиков для сбора информации. Чем больше данных и чем они разнообразнее, тем выше потенциал технологии в решении задач автоматизации, так как разнообразие позволяет охватить широкий спектр сценариев применения и повысить точность прогнозов. Современные достижения позволили значительно снизить стоимость и повысить точность тензометрических датчиков, что делает их более доступными для использования на складах. Перед интеграцией этих датчиков в существующие системы управления складом необходимо провести всестороннюю оценку их работоспособности и эффективности в решении практических задач [1].

Метод поиска потерянных товаров на складе с использованием тензометрических датчиков работает на основе вероятностного подхода, учитывая данные о весе товаров и их погрешности. Ранее был предложен математический метод с использованием усечённого нормального распределения для оценки вероятности нахождения потерянного товара [2].

Для того, чтобы проанализировать эффективность метода необходимо провести его тестирование методом Монте-Карло [3][4], проверив метода на различных входных данных. Необходимо найти недостатки и ограничения метода, которые требуют исправления.

В работе предложена имитационная модель, проверяющая эффективность метода в разных условиях. Данная работа является продолжением статьи [2], где был разработан метод.

Основные задачи исследования:

1. Оценка эффективности метода поиска товаров;
2. Выявление закономерностей и ограничений при увеличении числа стеллажей и типов товаров;
3. Оценка погрешностей и их влияния на конечный результат.

Модель включает следующие этапы:

1. Для каждого теста генерируется случайное число полок в диапазоне от 10 до 100.
  2. На складе генерируется случайное количество типов товаров в диапазоне от 5 до 50.
- Для каждого типа товара определяется средний вес и его погрешность. Товары каждого типа

случайным образом распределяются по стеллажам.

3. На каждом стеллаже генерируется случайное количество товаров одного типа от 10 до 100 шт. Для каждого товара генерируется вес с учётом случайной погрешности.

4. Случайным образом выбирается товар, который перемещается между полками, имитируя потерю.

5. С помощью формулы (1) определяется вероятность нахождения товара на каждой полке. Теоретическая основа формулы раскрывается в статье [2].

6. Данные теста заносятся в таблицу, и запускается новый тест.

$$P = \frac{\sigma_N e^{-\frac{(M-m_D)^2}{2\sigma_D^2}}}{\sigma_D \times e^{-\frac{(M-m_N)^2}{2\sigma_N^2}} + \sigma_N \times e^{-\frac{(M-m_D)^2}{2\sigma_D^2}}}, \quad (1)$$

где,  $P$  вероятность того, что потерянный товар на этой полке;

$m_N$  - Математическое ожидание общего веса товаров;

$\sigma_N$  - среднее квадратичное отклонение общего веса товаров;

$m_D$  - математическое ожидание общего веса товаров с учётом потерянного;

$\sigma_D$  - среднее квадратичное отклонение общего веса товаров с учётом потерянного;

$M$  - масса, которую фиксируют тензометрические датчики.

Имитационная система была разработана на Python 3.11.9. Исходный код выложен на GitHub [5]. С помощью данного кода и ключа генерации можно воспроизвести полученные результаты. UML диаграмма классов представлена на рис. 1. Было проведено 10000 тестов, ключ генерации – 42.

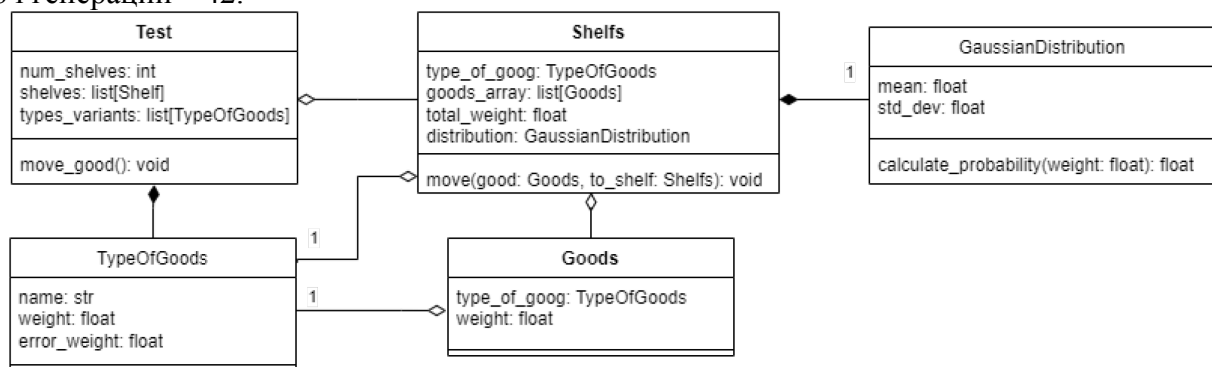


Рис. 1 — UML диаграмма классов

Затем на основе таблицы с результатами тестов были построены диаграммы, для того чтобы проследить зависимость между входными данными и результатами. Средний результат вероятности — это результат, который выдаёт формула (1). Верное и неверное предсказание показывает соотношение правильных и неправильных срабатываний метода. Согласно графикам на рис. 2 эффективность метода снижается с увеличением количества товаров. Оптимальные результаты достигаются, когда на итоговой полке размещаются меньше 80 товаров. Между количества стеллажей и эффективностью метода нет корреляции (См. рис. 3).

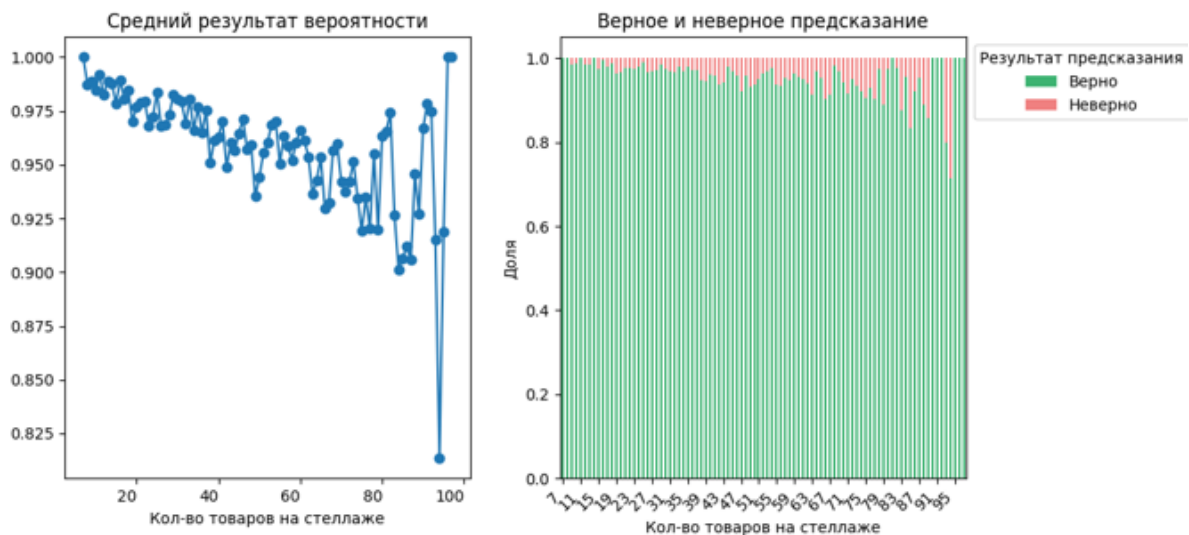


Рис. 2 — Зависимость эффективности от кол-ва товаров на полке

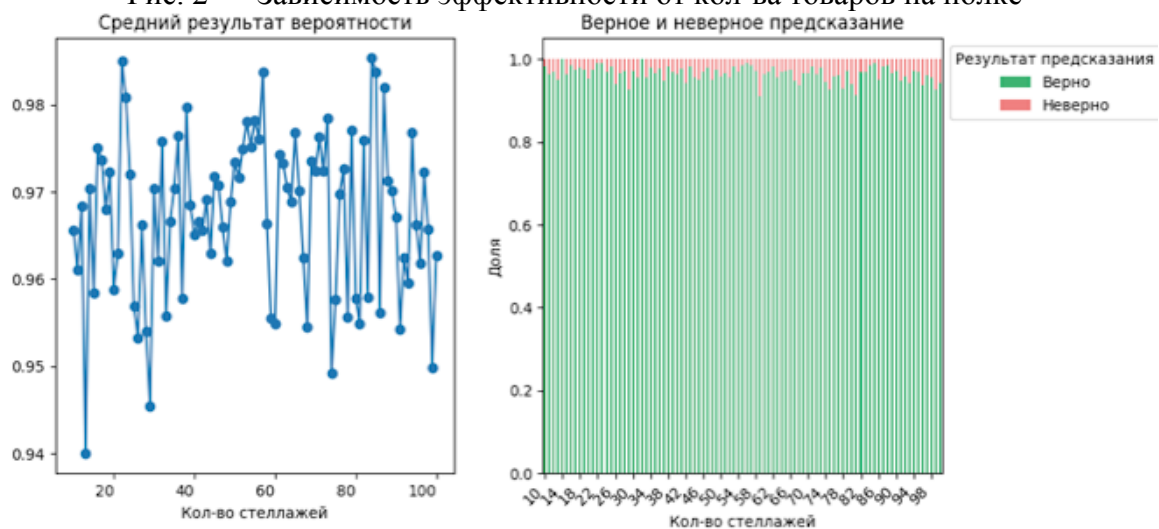


Рис. 3 — Зависимость эффективности от кол-ва стеллажей

Относительный вес товара к весу товара на стеллаже ключевой показатель для работы метода. Согласно рис. 4 если отношение веса меньше, чем 0,3 эффективность метода оказывается ниже 90%. При более низких отношениях весов частота верного предсказания падает до 30%, что делает метод неэффективным при таких значениях. Это связано с тем, что вес потерянного товара находится в диапазоне погрешности другого товара.

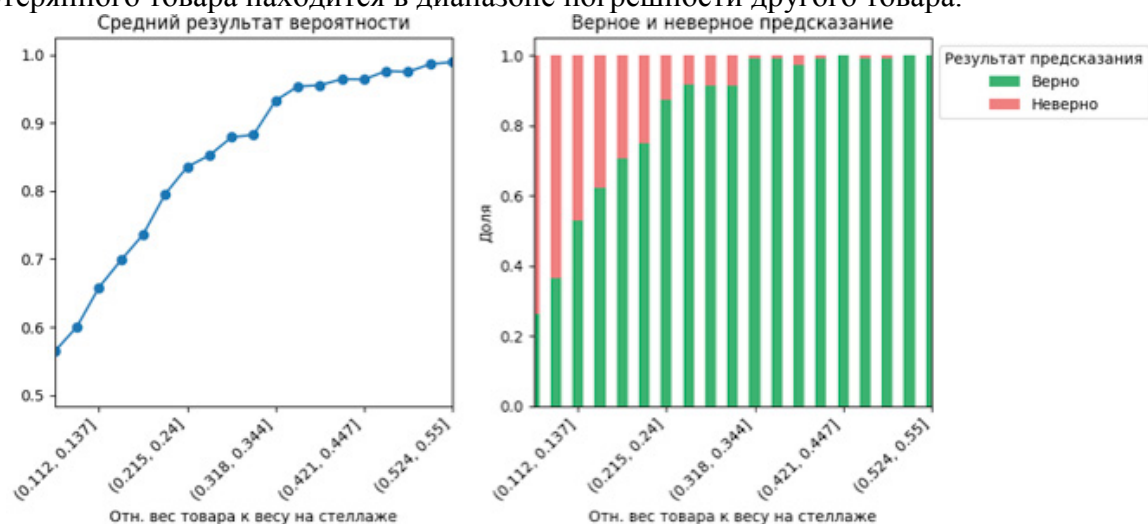


Рис. 4 — Зависимость эффективности от отношения веса потерянного товара к весу единицы товара на стеллаже.

На основании проведённого анализа сделаны следующие выводы. Метод поиска потерянных товаров показал высокую стабильность, со средней вероятностью успеха в 96.7%. Он эффективен для средних и крупных товаров (вес от 15 кг до 100 кг), и работает оптимально при количестве товаров на полке не более 80. Средняя погрешность при ранжировании стеллажей: 0,25. Стандартное отклонение: 2,23.

Метод демонстрирует низкую эффективность на складах, где соотношение между самым лёгким и тяжёлым товаром меньше 0,3, что ограничивает его применение в таких условиях. Для устранения этих ограничений требуется проведение дополнительных исследований, направленных на повышение точности метода для складов с неоднородными весовыми характеристиками товаров.

### ***Список литературы***

1. *Казаков И.А.* Инновационные технологии узлового элемента региональной терминально-сетевой логистической системы в формате «Умного склада» / И. А. Казаков, Е. Д. Бирюкова, В. А. Глинский // *Логистика - Евразийский мост : Материалы XVIII Международной научно-практической конференции*, Красноярск, 27–30 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 128-131.
2. *Шутов К.И.* Аналитический метод определения веса товаров на складе с применением тензометрических датчиков / К.И. Шутов, Д.В. Жматов // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2024. – № 3
3. *Веевдин В.А.* Методика оценки защищённости автоматизированной системы управления критической информационной инфраструктуры от ddos-атак на основе имитационного моделирования методом монте-карло / Веевдин В. А., Черняев В. С., Нуценок Ц. М., Виноградов И. В. // *Вестник ДГТУ. Технические науки*. 2023. №1.
4. *Речинский А.В.* Инструментальные средства систем имитационного моделирования / Речинский А. В, Семенов К. К, Сушников В. А, Черненькая Л. В, Черненький А. В. // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2024. №4.

2.3.5.

**В.М. Образцов, С.А. Красников д-р техн. наук, О.Ю. Козлова канд. техн. наук**

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,  
v.obraztsov@mail.ru, krasnikov\_s@mirea.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

*В работе представлены результаты анализа результативности применения новых технологий распределенной обработки данных в различных отраслях жизнедеятельности человека и общества. Приведен анализ эффективности применения распределенной обработки данных по сравнению с традиционными системами обработки данных.*

Ключевые слова: *распределенная обработка данных, анализ данных, скорость обработки данных.*

### **Введение**

Современные научные исследования генерируют огромные объемы данных, требующих не только эффективных методов обработки и анализа, но и повышения скорости их обработки. Бизнес, государственные структуры, наука и даже повседневная жизнь все больше зависят от анализа огромных массивов данных. Однако сам по себе объем информации не гарантирует успеха – ключевым фактором становится эффективность использования этих данных для принятия решений [1]. В статье рассматривается использование распределённой обработки данных как один из инструментов, влияющих на процесс принятия решений и повышающих их эффективность.

### **Преимущества применения распределенной обработки данных**

В настоящее время все труднее представить отрасль науки или часть жизни человека, где бы отсутствовала необходимость в быстрой и качественной обработке данных. С этой точки зрения распределенная обработка данных является одним из приоритетных направлений. В качестве основных преимуществ использования распределенной обработки данных можно выделить следующие.

**1. Скорость обработки.** Распределенные системы позволяют обрабатывать данные в режиме реального времени, что критично для таких отраслей, как финансы, ритейл и логистика.

**2. Масштабируемость.** Распределенные системы обработки данных позволяют компаниям легко масштабировать свои вычислительные ресурсы в зависимости от потребностей. Это особенно важно для стартапов и быстрорастущих компаний.

**3. Точность прогнозов.** Распределенные системы обеспечивают более точный анализ данных за счет обработки больших объемов информации и использования сложных алгоритмов машинного обучения.

**4. Экономическая эффективность.** Использование облачных платформ позволяет компаниям снизить затраты на инфраструктуру, оплачивая только используемые ресурсы.

**5. Отказоустойчивость.** Архитектура построения распределенной системы обработки данных, когда информация распределена между узлами, позволяет снизить риск потери информации.

**6. Энергопотребление.** Использование асинхронных методов, уменьшающих время простоя процессоров, а также применение энергоэффективных алгоритмов, минимизирующих количество операций, позволяет снизить энергопотребление.

Сравним эффективность традиционных и распределенных систем обработки данных на следующих примерах (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ традиционных и распределенных систем обработки данных

Критерий	Традиционные системы	Распределенные системы	Результат сравнения
<b>Скорость обработки</b>	Анализ геномных данных занимает несколько месяцев (например, проект Human Genome Project).	Анализ геномных данных сокращен до нескольких недель (проект 1000 Genomes с использованием Hadoop).	Распределенные системы ускоряют обработку в 3-5 раз [2].
<b>Масштабируемость</b>	Ограничены ресурсами одного сервера, что затрудняет обработку больших объемов данных.	Легко масштабируются за счет добавления новых узлов (например, Netflix использует кластеры Spark).	Распределенные системы обеспечивают линейную масштабируемость [3].
<b>Точность прогнозов</b>	Ограничены объемом данных, которые можно обработать, что снижает точность прогнозов.	Возможность обработки больших объемов данных повышает точность (например, прогнозирование климата).	Распределенные системы повышают точность на 20-40% [4].
<b>Экономическая эффективность</b>	Высокие затраты на поддержку мощных серверов и их модернизацию.	Снижение затрат за счет использования облачных ресурсов и распределенных кластеров.	Распределенные системы снижают операционные расходы на 15-20% [5].
<b>Отказоустойчивость</b>	Единая точка отказа: выход из строя сервера приводит к остановке всей системы.	Высокая отказоустойчивость: данные распределены между узлами, что минимизирует риски.	Распределенные системы обеспечивают 99,9% доступности [6].
<b>Энергопотребление</b>	Высокое энергопотребление из-за необходимости поддержки мощных серверов.	Оптимизация энергопотребления за счет распределения нагрузки между узлами.	Распределенные системы снижают энергопотребление на 10-15% [7].

### Вызовы распределенной обработки данных

Распределенная обработка данных стала неотъемлемой частью современных технологических решений, позволяя эффективно работать с большими объемами информации. Однако ее внедрение и эксплуатация сопряжены с рядом вызовов, которые требуют внимания со стороны разработчиков, исследователей и бизнеса. Вот основные из них.

**1. Сложность управления распределёнными системами.** Распределенные системы состоят из множества узлов, которые должны работать согласованно. Оркестрация задач, таких как распределение нагрузки, синхронизация данных и управление ресурсами, требует сложных алгоритмов и инструментов. Поэтому возникает проблема высокой сложности настройки и поддержки, а также постоянного мониторинга для предотвращения сбоев. Для решения этих проблем необходимо использовать автоматизированные системы оркестрации и внедрения алгоритмов машинного обучения для оптимизации распределения задач.

В распределенных системах данные часто дублируются на нескольких узлах для повышения отказоустойчивости. Однако это создает проблему согласованности, заключающуюся в необходимости обеспечения всех узлов актуальной информацией. Решение этих проблем лежит в использовании алгоритмов консенсуса, таких как Paxos или Raft и применении моделей согласованности, адаптированных под конкретные задачи.

**2. Проблемы производительности.** Передача данных между узлами в распределенных системах может вызывать задержки, особенно если узлы находятся в разных географических регионах. Неравномерное распределение задач между узлами может привести к перегрузке одних и простоем других. Поэтому необходимо использовать оптимизацию сетевых протоколов и маршрутизации, динамическую балансировку нагрузки и автоматическое масштабирование ресурсов в облачных средах.

**3. Безопасность и конфиденциальность данных.** Распределенные системы требуют внедрения механизмов аутентификации и авторизации, а также шифрования данных так как часто обрабатывают конфиденциальную информацию, такую как персональные данные или финансовые транзакции.

**4. Человеческий фактор.** Работа с распределенными системами требует специализированных знаний в области программирования, сетевых технологий и анализа данных.

**5. Экономические аспекты.** Внедрение распределенных систем требует значительных инвестиций в инфраструктуру, программное обеспечение и обучение персонала, что приводит к долгим срокам окупаемости и рискам неэффективного использования ресурсов

### Заключение

Распределенная обработка данных играет ключевую роль в современной науке и бизнесе, становясь не просто технологическим трендом, а стратегическим инструментом для работы. Она позволяет быстрее обрабатывать данные, снижать затраты и принимать более обоснованные решения. Например, в биологии она позволяет анализировать огромные объемы геномных и метагеномных данных, что способствует развитию персонализированной медицины и биотехнологий. В бизнесе распределенные системы помогают оптимизировать процессы, улучшать клиентский опыт и повышать эффективность принятия решений. Внедрение распределенной обработки данных открывает новые возможности для повышения конкурентоспособности, особенно в условиях растущей конкуренции и цифровизации науки и экономики. Однако для успешного внедрения распределенной обработки данных необходимо учитывать технические, финансовые и этические аспекты.

### Список литературы

1. Николаева С.В. Кластеризация многомерных спектральных данных с применением алгоритма уменьшения размерности / С. В. Николаева, С. А. Красников, М. В. Сартаков [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 10. – С. 273-277.
2. Shvachko K. et al. Hadoop Distributed File System // IEEE. 2021. С. 45-50.
3. Netflix Tech Blog. How Netflix Uses Apache Spark for Real-Time Recommendations. 2020. С. 12.
4. Сайфутдинов А.В. Повышение эффективности обработки больших объемов информации с использованием метода распределенного анализа данных // Universum: технические науки. 2023. №10 (115). С. 45-50.
5. Архипова Е.С. Роль обработки «больших данных» в управлении современным предприятием // CyberLeninka. 2022. С. 34.
6. Judith M. Myerson. Cloud Computing Versus Grid Computing. IBM DeveloperWorks, 2019. С. 56.
7. Сарыев М., Мергенова Н., Алов Д. Влияние систем распределенной обработки данных на ускорение научных исследований // Вестник науки. 2024. №9 (78). С. 374-377.

## 2.3.5.

**А.К. Рыбников**

МИРЭА – Российский технологический университет,  
Москва, rybnikov@mirea.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОАССЕССМЕНТА  
ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТАЛОСТИ В АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ**

*В работе представлена математическая модель нейроассессмента, направленная на оценку когнитивного, физиологического и психологического состояния участников арктических экспедиций. Использование нейрокомпьютерных интерфейсов (НКИ) позволяет объективно выявлять усталость и стресс, что способствует повышению безопасности и эффективности в экстремальных условиях. Модель разрабатывалась с учётом задач Студенческого экспедиционного корпуса «Команда Арктики» и ориентирована на практическое применение в экспедиционных и других сложных климатических условиях.*

*Ключевые слова: нейроассессмент, арктические экспедиции, нейрокомпьютерные интерфейсы, НКИ, экстремальные условия.*

Арктика – одна из самых экстремальных сред, где участники экспедиций сталкиваются с суровыми условиями и высокими нагрузками, требующими постоянного мониторинга их состояния. Традиционные методы оценки часто неэффективны из-за субъективности и сложности применения в полевых условиях.

Нейрокомпьютерные интерфейсы (НКИ) позволяют объективно контролировать когнитивное, физиологическое и психологическое состояние в реальном времени, выявляя признаки усталости и стресса, что повышает безопасность и эффективность экспедиций [1].

Цель исследования – разработка математической модели нейроассессмента, адаптированной к условиям арктических экспедиций. Практическая значимость заключается в её применении для повышения безопасности и адаптации к другим экстремальным условиям, таким как космические миссии и глубоководные исследования [2].

В рамках предлагаемой автором модели нейроассессмента процесс делится два показателя. Субъективный показатель, который включает в себя три модуля: когнитивный, физиологический и психологический. Объективный показатель, который включает в себя модуль НКИ.

Субъективный показатель отражает восприятие оператором своего состояния в процессе выполнения задания или прохождения тестов. Этот показатель фиксируется с помощью опросников, тестов и самооценок.

Объективный показатель представляет собой данные, полученные с использованием нейрокомпьютерных интерфейсов, таких как электроэнцефалограмма (ЭЭГ) или физиологические сенсоры [3]. Эти данные позволяют выявлять физиологические изменения, связанные с усталостью, такие как изменения ритмов мозга, частоты сердечных сокращений и другие параметры.

Субъективный показатель, в свою очередь, разделен на три ключевых модуля, каждый из которых отвечает за определённый аспект усталости: когнитивную, физическую и эмоциональную. Такое структурирование позволяет учитывать специфику и характерные особенности каждой составляющей усталости, обеспечивая более точную и многогранную оценку состояния участников. Каждый модуль имеет свою специфику.

Когнитивный модуль оценивает влияние усталости на внимание, память и скорость реакции. Субъективные данные – результаты когнитивных тестов, объективные – ритмы ЭЭГ (снижение альфа-активности, увеличение тета-ритмов).

Физиологический модуль измеряет физическую усталость. Субъективные данные – шкалы самооценки, объективные – частота сердечных сокращений и кожно-гальваническая реакция.

Психологический модуль фиксирует эмоциональную усталость. Субъективные данные – опросники, объективные – асимметрия лобных долей и активность тета-ритмов.

Модуль обработки получает субъективные данные оператора и объективные из модуля НКИ, после чего выводит коэффициент усталости.

Модель нейроассессмента

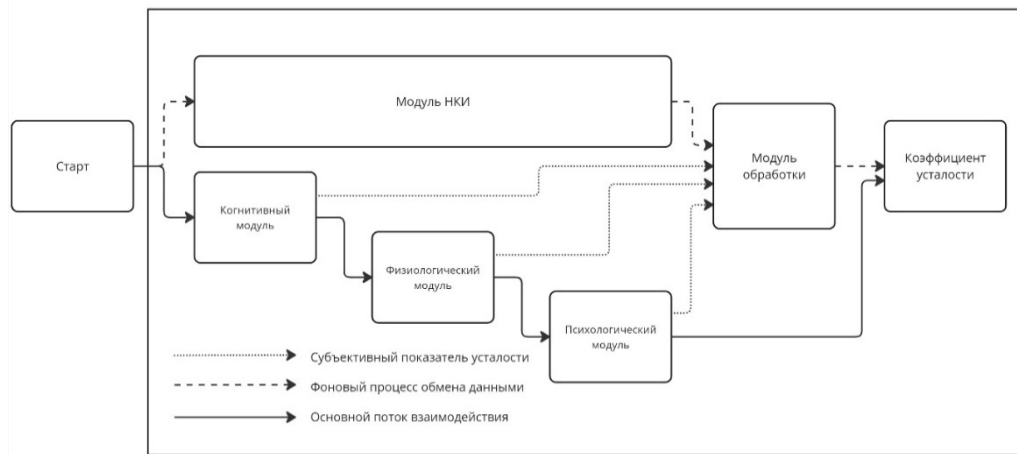


Рис. 1 – Модель нейроассессмента с применением НКИ

Общая усталость  $U$  – это целевой показатель, который мы хотим минимизировать в процессе экспедиций. Она отражает суммарную нагрузку на участника за весь период нейроассессмента и складывается из усталостей, измеряемых в каждом из трёх модулей: когнитивного, физического и психологического.

Формула общей усталости:  $U = \sum_{i=1}^3 (w_s \times S_i(t_i) + w_o \times O_i(T_{total}))$ ,

где,  $i=1,2,3$  – индексы модулей (когнитивный, физический, психологический);  $S_i(t_i)$  – субъективный показатель усталости для  $i$ -го модуля, зависящий от времени выполнения этого модуля ( $t_i$ );  $O_i(T_{total})$  – объективный показатель усталости для  $i$ -го модуля, зависящий от общей продолжительности всего нейроассессмента ( $T_{total} = \sum_{i=1}^3 t_i$ );  $w_s$  и  $w_o$  – веса, задаваемые в модуле обработки, которые определяют вклад субъективных ( $S_i$ ) и объективных ( $O_i$ ) данных в итоговую усталость, где  $w_s$  отражает значимость субъективных показателей (например, самочувствие, опросники);  $w_o$  отражает значимость объективных данных (например, ЭЭГ, ЧСС). Должно соблюдаться условие  $w_s + w_o = 1$ , чтобы распределение весов было нормированным.

Субъективные данные ( $S_i$ ) отражают текущие ощущения участников и измеряются во время выполнения конкретного модуля. Объективные данные ( $O_i$ ) считываются на протяжении всего нейроассессмента. Далее будут рассмотрены математические варианты субъективных и объективных показателей.

#### Субъективные показатели усталости $S_i(t_i)$

Когнитивный модуль  $S_1(t_1) = a_1 \cdot \frac{t_1}{t_1^{\max}} + b_1 \cdot E_c$ ,

где:  $t_1$  – время выполнения когнитивного модуля;  $t_1^{\max}$  – максимальное допустимое время выполнения;  $E_c$  – количество ошибок при выполнении когнитивного теста;  $a_1, b_1$  – нормирующие коэффициенты.

Физиологический модуль  $S_2(t_2) = c_1 \cdot \frac{t_2}{t_2^{\max}}$ ,

где:  $t_2$  – время выполнения физического модуля;  $t_2^{\max}$  – максимальное допустимое время выполнения;  $c_1$  – нормирующий коэффициент.

Психологический модуль  $S_3(t_3) = d_1 \cdot \frac{t_3}{t_3^{\max}}$ ,

где:  $t_3$  – время выполнения психологического модуля;  $t_3^{\max}$  – максимальное допустимое время выполнения;  $d_1$  – нормирующий коэффициент.

**Объективные показатели усталости  $O_i(T_{total})$** 

Объективные показатели собираются в модуле НКИ, но все равно подразделяются под три основных модуля.

$$\text{Когнитивные данные } O_1(T_{total}) = \frac{\alpha_{\text{норма}} - \alpha_{\text{текущая}}(T_{total})}{\alpha_{\text{норма}}} + k_1 \cdot \frac{\theta_{\text{текущая}}(T_{total})}{\theta_{\text{норма}}},$$

где:  $\alpha_{\text{норма}}$ ,  $\alpha_{\text{текущая}}(T_{total})$  – нормальное и текущее значения альфа-активности;  $\theta_{\text{норма}}$ ,  $\theta_{\text{текущая}}(T_{total})$  – нормальное и текущее значения тета-активности;  $k_1$  – весовой коэффициент для тета-ритма [4].

$$\text{Физиологические данные } O_2(T_{total}) = \frac{\text{ЧСС}_{\text{текущая}}(T_{total}) - \text{ЧСС}_{\text{норма}}}{\text{ЧСС}_{\text{норма}}} + k_2 \cdot \text{GSR}(T_{total})$$

где:  $\text{ЧСС}_{\text{норма}}$ ,  $\text{ЧСС}_{\text{текущая}}(T_{total})$  – нормальное и текущее значения частоты сердечных сокращений;  $\text{GSR}(T_{total})$  – кожно-гальваническая реакция;  $k_2$  – весовой коэффициент для GSR.

$$\text{Психологические данные } O_3(T_{total}) = \frac{\text{Асим}_{\text{норма}} - \text{Асим}_{\text{текущая}}(T_{total})}{\text{Асим}_{\text{норма}}} + k_3 \cdot \theta(T_{total}),$$

где:  $\text{Асим}_{\text{норма}}$ ,  $\text{Асим}_{\text{текущая}}(T_{total})$  – нормальное и текущее значения асимметрии лобных долей;  $\theta(T_{total})$  – уровень тета-ритма;  $k_3$  – весовой коэффициент для тета-ритма.

Разработанная математическая модель нейрооценки для участников арктических экспедиций обеспечивает комплексную оценку когнитивного, физиологического и психологического состояния в экстремальных условиях. Использование нейрокомпьютерных интерфейсов в сочетании с субъективными данными позволяет объективно выявлять признаки усталости и стресса, повышая безопасность и эффективность экспедиций [5].

Модель может быть использована для оптимизации деятельности работ в сложных условиях Арктики, например, Студенческого экспедиционного корпуса «Команда Арктики». Её внедрение также открывает перспективы применения в других экстремальных средах, таких как космические миссии и глубоководные исследования.

**Список литературы**

1. *Rapp, Paul & Keyser, David & Gilpin, Adele.* (2015). Procedures for the Comparative Testing of Noninvasive Neuroassessment Devices. *Journal of neurotrauma*. 32. 10.1089/neu.2014.3623.
2. *Negueruela, Cristina & Broschart, Michael & Menon, Carlo & Millan, Jose del R.* (2011). Brain-computer interfaces for space applications. *Personal and Ubiquitous Computing*. 15. 527-537. 10.1007/s00779-010-0322-8.
3. *Zapala, Dariusz & Jaśkiewicz, Marta & Szewczyk, Marta.* (2016). Use of brain-computer interfaces under extreme environmental conditions. *The Polish Journal of Aviation Medicine, Bioengineering and Psychology*. 22. 39-48. 10.13174/pjambp.31.12.2016.04.
4. *Buguet, Alain & Livingstone, S & Reed, L & Limmer, R.* (1976). EEG patterns and body temperatures in man during sleep in Arctic winter nights. *International journal of biometeorology*. 20. 61-9. 10.1007/BF01553173.
5. *Ortega Y.N., Mezura-Godoy C.* USABILITY EVALUATION OF BRAIN COMPUTER INTERFACES: ANALYSIS OF STATE OF ART // Труды ИСП РАН. 2022. №3.

2.3.5.

**К.В. Черенкова**

Саровский физико-технический институт,  
филиал «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,  
Саров, [cherenkova031996@mail.ru](mailto:cherenkova031996@mail.ru)

### **МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ МАТЕРИАЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА НА ОСНОВЕ МЕТОДА SPH**

*В данной работе представлена численная методика для моделирования селективного лазерного плавления методом SPH. Течение расплавленного вещества описывается уравнениями Навье-Стокса. Тепловое состояние определяется из уравнения сохранения энергии. В процессе каждого момента времени определяется криволинейная подвижная поверхность, на которой происходит фазовый переход.*

Ключевые слова: аддитивное производство, SPH, плавление, фазовый переход, расщепление, лазерный источник.

Аддитивное производство (АП) – быстро развивающаяся область новых технологий. Процесс АП (или 3D-печати), как новый стратегический процесс, в последние годы привлекает большое внимание в отрасли и, как следствие, показывает стремительный рост. Согласно ASTM 52900 [1] процесс АП определяется как «метод соединения материалов для изготовления деталей на основе данных 3D-модели, выполняемых слой за слоем». Использование 3D-модели позволяет сформировать гибкий, эффективный процесс изготовления, на который может влиять совокупность факторов, требующих исследования и контроля с помощью соответствующих имитационных моделей.

Многие модели рассматривают только одно или несколько явлений технологий АП. Например, Yan J. и др. в [2] разработана модель на основе метода конечных элементов (МКЭ) для тепловых многофазных течений. Используется комбинация метода набора уровней и вариационной многомасштабной формулировки на основе остатков. Учитываются плавление и затвердевание, но модель не может учитывать весь процесс АП.

Процесс селективного лазерного плавления (SLM), смоделированный методом конечных элементов с набором уровней, представлен Chen Q. и др. [3]. Объемный источник тепла рассматривается как локальное поглощение материала со сплошным слоем порошка. Сжатие объема моделируется законом Ньютона о сжимаемости. Процесс исследовался при относительно большом лазерном пятне и средней мощности лазера. Свойства порошка были гомогенизированы.

Мультифизическая имитационная модель для моделирования широкого спектра лазерных процессов, таких как, например, лазерная сварка, пайка, резка представлена Otto A. и др. в [4]. Это метод конечных объемов, применяемый для нахождения решений систем связанных уравнений в частных производных. Кроме того, принимаются во внимание фазовые переходы из твердого состояния в жидкое и из жидкости в газ. Результаты показали возможность объединения термомеханики с подходом, основанным на объеме жидкости (VOF). Они не рассматривали подходы, связанные с порошкообразными материалами.

Макроскопическое термическое моделирование процесса селективной лазерной плавки в масштабе изготовленной детали с использованием трехмерного метода конечных элементов представлено Zhang Y. и др. в [5]. Они применили модель к процессу с относительно большим лазерным пятном, средней мощностью лазера и низкой скоростью. Это позволяет гомогенизировать свойства порошка, но не может быть распространено на другие случаи.

Yu, T. и др. [6] представили полусвязанные решения вычислительной гидродинамики (CFD) и метод дискретных элементов (DEM) для моделирования класса задач с гранулированными средами, включающих термические процессы, термоиндуцированных фазовых изменений и взаимодействий частиц с жидкостью. Они применили метод погруженной границы (IB) для моделирования движения потока жидкости. Применение различных методов моделирования повлияло на создание относительно сложного интерфейса, что привело к большим вычислительным затратам.

Lee Y., Zhang W. [7] смоделировали теплообмен, поток жидкости и затвердевание в таких процессах, как лазерно-порошковая сварка (L-PBF), которая очень напоминает микроструктуру металла сварного шва, но в гораздо более мелком масштабе. Они объединили модель упаковки порошка, основанную на DEM, и трехмерное моделирование нестационарных потоков тепла и жидкости. Экспериментальные данные о размерах ванны расплава и микроструктуре затвердевания сопоставляются с аналогичными результатами моделирования.

Для моделирования динамики процесса лазерно-лучевого плавления металлов в слое порошка Gürtler F.-J и др. [8] была разработана нестационарная трехмерная модель взаимодействия пучка с веществом. Лазерное взаимодействие материалов описывается с использованием уравнения неразрывности, уравнения теплопроводности и уравнений Навье-Стокса. Кроме того, метод объема жидкости используется для характеристики свободных поверхностей многофазной системы. Моделирование процесса было выполнено для стальных порошков.

Модель для моделирования зернистой структуры во время аддитивного производства может быть основана на клеточном автомате и решеточном методе Больцмана, например, как предложено Rai, A. и др. [9]. В этой статье была разработана 2D-модель для моделирования эволюции зернистой структуры во время послойного аддитивного производства на основе порошкового слоя. Представленная модель включает в себя алгоритмы случайного создания слоя порошка, поглощение энергии электронного луча, испарение, капиллярность и смачивание, динамика расплава ванны, ее температурная эволюция и гранецентрированное кубическое зерно. Сначала модель проверяют по экспериментальным данным однопутной электронно-лучевой плавки и затвердевания подложки, а затем применяют для моделирования зернистой структуры, полученной во время АП.

Модель трехмерной гидродинамики сглаженных частиц (SPH), представленная Dao M.H., и др. [10], может применяться для моделирования процессов лазерного аддитивного производства (LAAM), включая SLM. Модель может учитывать переходное взаимодействие порошка и лазера, теплообмен, формирование и динамику ванны расплава, взаимодействие порошка, ванны расплава и фазовый переход.

Russell M. и др. [11] применили метод SPH для разрешения термомеханических полей материала в ряде процессов аддитивного производства лазерным синтезом. Способ способен имитировать большую деформацию, плавление на свободной поверхности, течение и повторное затвердевание металлических материалов со сложной физикой и геометрией материала. Представлен и проверен новый состав SPH для моделирования изотермически несжимаемых жидкостей, который позволяет точно моделировать тепловое расширение/сжатие жидкого металла. Фундаментальная проверка методологии выполняется путем сравнения с экспериментами по точечной лазерной сварке.

Процесс селективного лазерного плавления (SLM) является одной из наиболее перспективных технологий аддитивного производства в области формирования тонких и сложных металлических деталей. SLM включает в себя поглощение и рассеивание лазерного излучения, плавление порошка, испарение легирующих элементов, конвективное излучение, образование и затвердевание расплавленной ванны, твердофазное фазовое превращение в условиях высокочастотного субтермического цикла и формование деталей. Это многомасштабный, многофизический и многофазный сложный физический процесс, включающий температурное поле, динамику расплавленной ванны, поведение затвердевания

расплавленной ванны, остаточное напряжение и деформацию. Трудно наблюдать определенные физические явления с помощью экспериментального подхода. Между тем, дорогостоящий цикл разработки испытания технологии материалов занимает много времени. Поэтому привлекательно раскрыть соответствующий механизм процесса селективной лазерной плавки с использованием численного подхода, чтобы сократить цикл разработки и стоимость эксперимента. Существует три типа методов численного моделирования, используемых для моделирования процесса SLM металла: сеточные методы, методы на основе частиц и связанные методы. Сеточные методы, такие как метод конечных элементов (FEM), метод конечных объемов (FVM), метод конечных разностей (FDM), играют доминирующую роль в численном моделировании. Методы на основе частиц, такие как метод дискретных элементов (DEM), гидродинамика сглаженных частиц (SPH), имеют особые преимущества при моделировании процесса SLM металла. А связанные методы, такие как метод FVM-DEM, могут использовать преимущества различных методов для достижения более детального моделирования. В настоящее время для численного моделирования процесса SLM в основном применяются сеточные методы, включая подходы Эйлера и Лагранжа. [12].

Методы на основе сетки Лагранжа эффективны для моделирования проблем термического напряжения и термического взаимодействия твердого тела, в то время как этим методам трудно иметь дело с потоками жидкости с чрезвычайно большими деформациями. Методы на основе сетки Эйлера подходят для моделирования потока жидкости в расплавленной ванне, в то время как определение точного местоположения свободных поверхностей, деформируемых границ и движущихся интерфейсов в рамках фиксированной сетки Эйлера также является сложной задачей. Для решения этих проблем обычно используются некоторые специальные алгоритмы, такие как объем жидкости (VOF) и набор уровней (SL).

Связанные методы объединяют преимущества различных методов для достижения более детального моделирования. В настоящее время для моделирования процесса SLM существует несколько методов сопряжения. FVM-DEM представляет собой основной метод сопряжения. В этом связанном подходе метод DEM применяется для моделирования порошкового слоя, в то время как метод FVM используется для анализа поля потока.

Методы на основе частиц имеют естественные преимущества при работе с большими деформациями, движущимися интерфейсами и потоками свободной поверхности. Поэтому они подходят для моделирования течения плавления и затвердевания процесса SLM.

SPH — популярный бессеточный лагранжевый метод, предложенный Джинголдоном и Монаганом в 1977 году. Впервые он был использован для моделирования трехмерных астрофизических задач.

Нестационарное течение расплавленного вещества будем рассматривать как течение вязкой жидкости, для описания которого применяются уравнения Навье-Стокса. Численное решение получено с помощью метода SPH [13,14].

Для  $i$ -ой частицы можно записать:

$$\begin{aligned} \left( \frac{d\rho}{dt} \right)_i &= -\rho \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} ((\vec{u}_i - \vec{u}_j) \cdot \nabla W_{ij}), \\ \left( \frac{d\vec{u}}{dt} \right)_i &= -\sum_j m_j \left( \frac{p_i + p_j}{\rho_i \rho_j} \right) \nabla W_{ij} + \\ &+ \frac{\mu_i}{\rho_i} \sum_j 4m_j \left( \frac{1}{\rho_i} + \frac{1}{\rho_j} \right) \frac{(\vec{u}_i - \vec{u}_j)(\vec{r}_i - \vec{r}_j)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^2 + \eta_{ij}^2} \nabla W_{ij} + \vec{g}_i + \vec{F}_i, \\ \left( \frac{d\vec{r}}{dt} \right)_i &= \vec{u}_i, \end{aligned}$$

где  $\nabla W$  – градиент функции ядра  $W$  (в данной работе используется сплайн третьей степени [15]),  $\eta = 0.1h$  ( $h$  – радиус сглаживания), суммирование ведется по частицам в области действия ядра.

Сила  $\vec{F}_i$  учитывается только на поверхности жидкой фазы, для определения ее зоны действия в методе SPH вводится функция-маркер [16]:

$$C_i = \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} W_{ij}, \quad \nabla C_i = \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} \nabla W_{ij}.$$

Если для частицы  $C_i \leq 0.95$ , то для нее задается признак  $R_i = 1$  и проводится вычисление силы поверхностного натяжения. Если же  $C_i > 0.95$ , то признак  $R_i$  полагается равным нулю и сила не рассчитывается.

С учетом введенной функции аппроксимация формулы расчета массовой силы запишется следующим образом:

$$\vec{F}_i = \sigma_i k_i \vec{n}_i + \left( \frac{d\sigma}{dT} \right)_i (\nabla T_i - \vec{n}_i (\vec{n}_i \nabla T)),$$

$$\vec{n}_i = \frac{\nabla C_i}{|\nabla C_i|}, \quad \nabla T_i = \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_i} \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} (T_j - T_i) \nabla W_{ij}.$$

Кривизна поверхности вычисляется по значению градиента нормали только для частиц с признаком  $R_i = 1$ :

$$k_i = -\nabla \vec{n}_i = -\frac{1}{|k_i|} \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} (\vec{n}_j - \vec{n}_i) \nabla W_{ij},$$

$$|k_i| = \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} \min(R_i, R_j) W_{ij}.$$

Аппроксимацию уравнения теплопроводности на частицах можно записать следующим образом:

$$\left( C_p \frac{dT}{dt} \right)_i = \sum_j \frac{m_j}{\rho_i \rho_j} \frac{4\chi_i \chi_j}{\chi_i + \chi_j} \frac{(T_i - T_j)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j| + \eta_{ij}} (\vec{r}_i - \vec{r}_j) \nabla W_{ij} +$$

$$+ \mu_i \sum_j \frac{2m_j}{\rho_i \rho_j} (\vec{u}_i - \vec{u}_j) \frac{(\vec{u}_i - \vec{u}_j)(\vec{r}_i - \vec{r}_j)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^2 + \eta_{ij}^2} \nabla W_{ij} + Q_i.$$

Работа вязких сил учитывается только для расплава, а конвективный и радиационный источники, только в области, где функция-маркер удовлетворяет условию  $C_i \leq 0.95$ .

Счетный шаг по времени выбирается по следующему критерию:

$$\tau = \min_i \left( 0.4 \frac{h_i}{(c_z)_i}, 0.125 \frac{\rho_i h_i^2}{\mu_i}, 0.25 \left( \frac{\rho_i h_i^3}{2\pi\sigma_i} \right)^2, 0.125 \frac{\rho_i (C_p)_i h_i^2}{\chi_i} \right).$$

Численно система уравнений решается с помощью метода SPH расщеплением по физическим процессам, в соответствии с которым счетный шаг расщепляется на два этапа. На начальном этапе решаются уравнения газовой динамики. На втором этапе определяется новое значение температуры за счет теплопереноса и учета поглощения лазерной энергии, конвективного теплообмена и радиационного излучения. На третьем, заключительном этапе, определяются термодинамические параметры частиц, предсказывается величина радиуса сглаживания и определяется счетный шаг интегрирования.

Для численного моделирования селективного лазерного спекания порошков создана методика, основанная на методе сглаженных частиц (методе SPH). При описании слабо сжимаемых течений жидкой фазы, образующейся в результате плавления используются уравнения Навье-Стокса, в которых учитываются силы давления, вязкие силы и силы

поверхностного натяжения на контактных поверхностях жидкой и твердой фаз, жидкой фазы и внешней среды. Тепловое состояние определяется из уравнения сохранения энергии, учитывающих действия тепловых процессов, объемное поглощение энергии лазерного излучения, конвективный теплообмен с внешней средой, радиационное излучение и работа вязких сил. Фазовые переходы между твердой и жидкой фазами описываются в рамках обобщенной формулировки задачи Стефана. На основе представленной методики создана ее программная реализация.

### Список литературы

1. ISO/ASTM 52900; Standard Terminology for Additive Manufacturing—General Principles—Terminology. ISO: Geneva, Switzerland, 2021; Volume 1, pp. 1–9.
2. Yan J., Yan W., Lin S., Wagner G. A fully coupled finite element formulation for liquid–solid–gas thermo-fluid flow with melting and solidification. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2018, 336, 444–470.
3. Chen Q., Guillemot G., Gandin C.-A., Bellet M. Three-dimensional finite element thermomechanical modeling of additive manufacturing by selective laser melting for ceramic materials. *Addit. Manuf.* 2017, 16, 124–137.
4. Otto A., Koch H., Vazquez R.G. Multiphysical simulation of laser material processing. *Phys. Procedia* 2012, 39, 843–852.
5. Zhang Y., Guillemot G., Bernacki M., Bellet M. Macroscopic thermal finite element modelling of additive metal manufacturing by selective laser melting process. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2018, 331, 514–535.
6. Yu T., Zhao J. Semi-coupled resolved CFD–DEM simulation of powder-based selective laser melting for additive manufacturing. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2021, 377, 113707.
7. Lee Y., Zhang W. Modeling of heat transfer, fluid flow and solidification microstructure of nickel-base superalloy fabricated by laser powder bed fusion. *Addit. Manuf.* 2016, 12, 178–188.
8. Gürtler F.-J., Karg M., Leitz K.-H., Schmidt M. Simulation of laser beam melting of steel powders using the three-dimensional volume of fluid method. *Phys. Procedia* 2013, 41, 881–886.
9. Rai A., Markl M., Körner C. A coupled Cellular Automaton–Lattice Boltzmann model for grain structure simulation during additive manufacturing. *Comput. Mater. Sci.* 2016, 124, 37–48.
10. Dao M.H., Lou J. Simulations of Laser Assisted Additive Manufacturing by Smoothed Particle Hydrodynamics. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2021, 373, 113491.
11. Russell M., Souto-Iglesias A., Zohdia T. Numerical simulation of Laser Fusion Additive Manufacturing processes using the SPH method. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2018, 341, 163–187.
12. Long T., Huang H. An improved high order smoothed particle hydrodynamics method for numerical simulations of selective laser melting process. *Eng. Anal. Bound. Elem.* 2023, 147, 320–335.
13. Gingold R.A., Monaghan J.J. Smoothed Particle Hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* – 1977. – No. 181. – P. 375–389.
14. Lucy L. A numerical approach to the testing of the fission hypothesis // *Astronom. J.* – 1977. – No. 82. – P. 1013.
15. Monaghan J.J. Smoothed particle hydrodynamics // *Annual Review of Astronomy and Astrophysics.* – 1992. – P. 543–574.
16. Ordoubadi M., Yaghoubi M., Yeganehdoust F. Surface tension simulation of free surface using smoothed particle hydrodynamics // *Sci. Iranica B.* – 2017. – Vol. 24, no. 4. – P. 2019–2033.

2.3.5.

**К.В. Черенкова**

Саровский физико-технический институт,  
филиал «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,  
Саров, [cherenkova031996@mail.ru](mailto:cherenkova031996@mail.ru)

### **РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ МАТЕРИАЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА**

*В работе представлено описание программной реализации численной методики для моделирования селективного лазерного плавления методом SPH. Рассматриваются архитектура, организация вычислений, распараллеливание вычислений и балансировка. Приведены результаты моделирования численного расчета.*

Ключевые слова: *селективное лазерное спекание, SPH, методика, хранение данных, параллельные вычисления, примеры расчетов.*

Аддитивное производство – это процесс, основанный на дискретном штабелировании, который контролируется с помощью программного обеспечения и системы контроля материалов. Обычно детали, изготовленные в 3D, изготавливаются путем наложения нескольких слоев. Следовательно, этот процесс настолько гибок, что можно добиться высокой скорости производства при минимальных отходах материала. Одним из основных преимуществ процесса АП является производство деталей сложной конструкции, которые находят применение в аэрокосмической, медицинской промышленности и т. д., поскольку традиционные процессы производства этих конкретных деталей крайне ограничены. Перспективным подходом в АП является селективное лазерное спекание порошков. Для численного моделирования селективного лазерного спекания порошков создана методика, основанная на методе сглаженных частиц (методе SPH) [1]. При описании слабо сжимаемых течений жидкой фазы, образующейся в результате плавления используются уравнения Навье-Стокса, в которых учитываются силы давления, вязкие силы и силы поверхностного натяжения на контактных поверхностях жидкой и твердой фаз, жидкой фазы и внешней среды. Тепловое состояние определяется из уравнения сохранения энергии, в котором учитываются тепловые процессы, объемное поглощение энергии лазерного излучения, конвективный теплообмен с внешней средой, радиационное излучение и работа вязких сил. Фазовые переходы между твердой и жидкой фазами описываются в рамках обобщенной формулировки задачи Стефана.

На основе данной методики создана ее программная реализация на языке программирования высокого уровня C++ [2]. Организация данных программы основана на использовании объектно-ориентированного подхода. Данные и методы хранятся в классах, объединяющих смысловую группу по определенному критерию (данные по частицам, данные физического процесса и другие). Для данных предусмотрена инкапсуляция, и работа с ними осуществляется посредством интерфейсных процедур. В программе реализован принцип наследования порожденными объектами интерфейсов родительских объектов, а также используется полиморфизм, включая обобщенное программирование, основанное на использовании абстрактных классов.

Основные вычисления на одном расчетном шаге выполняются на неподвижных частицах. Для возможности простой и быстрой реализации данных вычислений хранение расчетных величин осуществляется в статических контейнерах.



Рис. 1 – Блоки вычислений

Вычисления на шаге выполняются последовательно и программно разбиваются на блоки, соответствующие вычислительным алгоритмам (рисунок 1).

В расчетных формулах решения уравнений вычисления выполняются относительно частиц. Согласно методу сглаженных частиц, суммирование величин выполняется по ближайшему окружению, определяемому радиусом сглаживания. В качестве функции сглаживающего ядра используется сплайн третьей степени, который равен нулю в случае, если расстояние между частицами больше двух радиусов сглаживания. Поэтому для организации данных вычислений у частиц сохраняется список номеров ближайших частиц, участвующих в суммировании (такие частицы называются соседними).

При использовании такого подхода хранения данных вычисление расчетных величин у частиц сводится к вложенному циклу по соседним частицам. Соответственно основная алгоритмическая нагрузка ложится на поиск соседства у частиц. Поиск соседства у частиц с постоянным радиусом сглаживания достаточно просто реализуется с использованием вспомогательной сетки поиска. В данном случае требуется задание ограничения на минимальный размер ячеек сеток поиска, что, в свою очередь, приводит к большим вычислительным затратам по перебору частиц на более грубой сетке. Альтернативным подходом является применение для установления соседства kd-деревьев [3] с последующим формированием списка соседства, что и используется в программной реализации методики SPH.

Для уменьшения времени вычислений в программной реализации используются параллельные вычисления, которые выполняются с использованием двухуровневой модели: распараллеливание на распределённой памяти средствами MPI [4] (MPI-уровень) и распараллеливание на общей памяти с использованием технологии OpenMP (OpenMP-уровень) [5]. Распараллеливание на MPI-уровне основано на геометрической декомпозиции ансамбля частиц с заданными весами. Для декомпозиции используется метод последовательного разбиения по направлениям. Метод предполагает последовательное разбиение ансамбля частиц на заданное число подансамблей по координатным

направлениям: сначала на подансамбли по первому направлению, по полученному разбиению производится нарезка на подансамбли по второму направлению и в завершении по третьему.

На границах смежности подансамблей вводятся фиктивные частицы, являющиеся соседними для граничных частиц текущего подансамбля, посредством которых выполняются обмены данными между MPI-процессами. Для выполнения межкоммуникационных обменов используются неблокирующие буферизованные пересылки.

Поскольку в процессе решения задач время вычисления алгоритмов может меняться: при выделении энергии увеличивается вычислительная нагрузка сначала на решение уравнения теплопроводности, затем при плавлении вещества реализуется перемещение частиц. Кроме того, достаточно сильный разброс в вычислениях дает различие в числе соседей у частиц и разнородность уравнений состояния веществ. Поэтому в программной реализации методики SPH балансировка вычислений выполняется с учётом времени работы алгоритма, которое затрачивается MPI-процессом непосредственно на вычисления без учёта затрат на обмены и последующего разбиения с учетом этого времени [6]. Балансировка выполняется в случае, если величина дисбаланса больше максимально заданного значения (на практике определяется  $\sim 20\text{--}30\%$ ).

Проведено два расчета с одинаковым и разным размером частиц порошка. Базовый размер частиц порошка задан равным  $0.025 \cdot 10^{-3}$  м и менялся для частиц до  $2/3$  от базового размера. Общее число частиц SPH в численных расчетах составило  $\sim 525$  тыс. штук.

На рисунке 2 приведена динамика распределения температуры в расчете с разным размером частиц порошка.

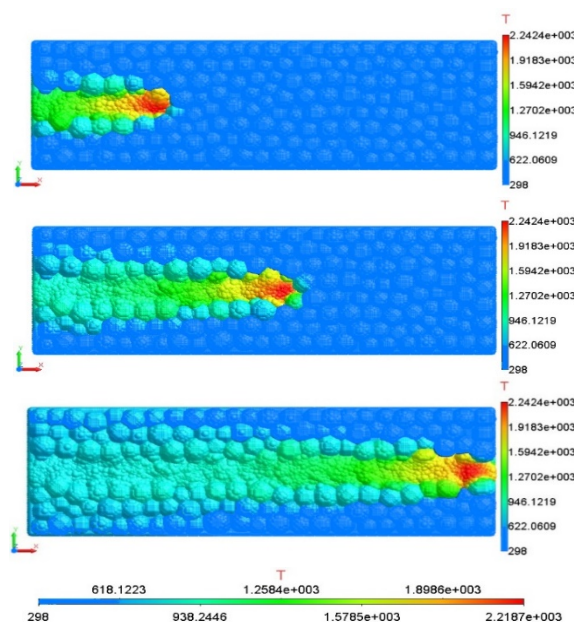


Рис. 2 – Распределение температуры (вид сверху) в расчете с разным размером частиц порошка на несколько моментов времени (сверху вниз на моменты времени  $t = 0.2 \cdot 10^{-3}$  с,  $0.4 \cdot 10^{-3}$  с и  $0.7 \cdot 10^{-3}$  с)

На рисунке 3 приведены на момент времени  $t = 0.7 \cdot 10^{-3}$  с сравнение ширины зоны расплава в расчетах с одинаковым и разным размером частиц порошка. Видно, что в расчете с одинаковым размером частиц порошка ширина зона расплава меньше.

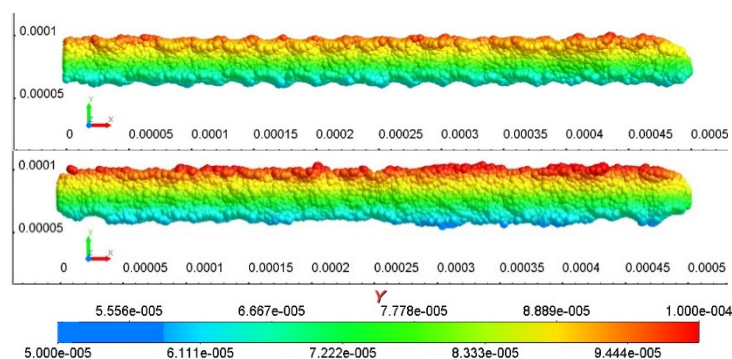


Рис. 3 – Распределение ширины зоны расплава (вид сверху)  
на момент времени  $t = 0.7 \cdot 10^{-3}$  с (сверху – расчет

с одинаковым размером частиц порошка, снизу – с разным размером)

В работе представлена программная реализация численной методики расчета на основе метода SPH для моделирования процесса спекания порошка под воздействием лазерного луча. Разработанный инструментарий позволяет осуществлять различного рода качественные оценки результата спекания порошка при варьировании свойств материала, скорости движения лазера, его мощности и прочие. В частности, на модельной демонстрационной задаче плавления слоя порошка на подложке показано влияние размера частиц порошка на ширину зоны проплава. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными и по другим модификациям метода SPH в исследуемых диапазонах мощности лазера и скорости сканирования.

#### Список литературы

1. Быков А.Н., Вишнякова М.Н., Дерюгин Ю.Н., Емельянов А.Б., Лазарев А.А., Полищук С.Н., Черенкова К.В., Численное моделирование селективного лазерного плавления методом SPH, Журнал СВМО, 2022, том 24, номер 4, 419–435.
2. Бьёрн Страуструп, Язык программирования C++ (The C++ Programming Language) / Пер. с англ. – 3-е изд. – СПб.; М.: Невский диалект – Бином, 1999. – 991 с.
3. Bently J.L. Multidimensional binary search trees used for associative searching // Communications of the ACM. – September 1975. – Vol.9, No. 18. – Pp. 509-517.
4. MPI Forum: standardization forum for Message Passing Interface / URL: <https://www.mpi-forum.org/docs> (дата обращения 27.12.2024).
5. OpenMP API Specification: specifications of the OpenMP standard / URL: <http://www.openmp.org/specifications> (дата обращения 27.12.2024).
6. Бутнев И.О., Пронин В.А., Алгоритмы декомпозиции нерегулярной сетки с учетом вычислительной загрузки // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 2004. – Вып. 4. – С. 81-87.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ  
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ — 2.3.6.**

2.3.6.

<sup>1</sup>Г.К. Пшеничный, <sup>2</sup>И.М. Герасимович, <sup>2</sup>К.А. Пшеничный<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,

Математико-механический факультет,

Санкт-Петербург, gleb.pshenichny@gmail.com,

<sup>2</sup>Университет ИТМО, Факультет безопасности информационных технологий,

Санкт-Петербург, cpshenichny@yandex.ru, ilya\_geraslm@mail.ru

**СИСТЕМА РАСЧЁТА ОБЩЕСТВЕННЫХ ОЖИДАНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ  
ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПАССИОНАРНЫХ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ИНЫХ КУЛЬТУР**

*Ожидания людей – как положительные, так и отрицательные – это фактор, который в силу его крайне слабой формализуемости трудно учесть при выстраивании общественных отношений на уровне муниципальных образований. Особенно остро эта проблема стоит в случае общественных ожиданий от проникновения пассионарных представителей иных культур. Тем не менее, ключ к её решению можно найти путём совместного применения достаточно репрезентативного метода концептуального сценарного моделирования, каковым является куст событий, и байесовской квантификации. В данной статье рассматривается общий подход к построению системы поддержки принятия решений для органов местной власти, реализуемой в форме web-приложения с открытым доступом.*

Ключевые слова: городская среда, сценарий, куст событий, субъективная вероятность, миграция.

**Введение**

На сегодняшний день миграция представляет собой процесс, в который так или иначе вовлечено большинство населения Земли, и наша страна не является исключением. Этой теме посвящено множество работ (см., например, [1; 2]), но все они говорят о миграции в рамках крупных регионов Земли или даже всего мира, что неудивительно, так как в таких масштабах это явление проще описать. Тем не менее, зачастую более важным является понимание ситуации в отдельно взятой местности, населённом пункте или районе города. Например, жителей городов, куда прибывают пассионарные представители иных культур (ППИК), может не интересовать обстановка во всей стране. Им важно знать, какова обстановка сейчас в том месте, где они живут, и как она может измениться в будущем под влиянием ППИК. К сожалению, на сегодняшний день не редки конфликты между местным и пришлым населением, и даже когда их нет, у местного населения либо растут тревога и депрессивное настроение, либо зреет агрессия.

Органы правопорядка и региональная/местная власть наделены инструментами реагирования на кризисные ситуации, но не располагают средствами, которые позволяли бы улавливать настроения людей, предшествующие кризису. Таким инструментом могла бы стать система расчёта общественных ожиданий. Подобная система должна соответствовать следующим требованиям: 1. основываться на формализованной концептуальной модели, описывающей отношения между сущностями в предметной области и возможные изменения этих отношений при появлении новых сущностей, 2. носить субъективно-вероятностный характер, чтобы отражать степень уверенности людей в том или ином изменении, прописываемом концептуальной моделью, и 3. реализовываться в виде web-приложения в сети Интернет.

## 1. Концептуальная модель

В работе [3] предложена концептуальная модель проникновения ППИК в пригородный посёлок или городской район  $X$  (рис. 1) в виде куста событий [4]. На территории  $X$  есть жилая застройка с относительно дешёвым и относительно дорогим жильём, есть предприятия и организации местного и более общего (городского, регионального, федерального) значения. К первым относятся торговые точки, мастерские, транспортные компании и водители, занимающиеся частным извозом, местные образовательные и медицинские учреждения, ко вторым – крупные промышленные предприятия и объекты энергетики, транспортные узлы и участки транспортных магистралей, высшие учебные заведения. Наконец, в  $X$  функционируют органы и службы, исполняющие функции власти и управления: полиция, суды, налоговая служба, местная администрация. Изначально население  $X$  представлено исключительно местными жителями (МЖ), ими же заняты все рабочие места на предприятиях и организациях и укомплектованы все органы и структуры власти. Затем в  $X$  проникает первая волна ППИК, затем, возможно, последующие. Это определяет название куста (см. левый верхний угол рис. 1). Данному описанию удовлетворяют многие районы и населённые пункты Российской Федерации – например, недавно получившие статус города Мурино и Кудрово, непосредственно примыкающие к Санкт-Петербургу.

В модель входят следующие события.

Первичные внутренние  $ia$ .

$iaE_1$  Городская среда посёлка/района  $X$  с дешёвым жильём не заселена МЖ, не заселена ППИК

$iaE_2$  Предприятия посёлка/района  $X$  местного значения не обслуживаются МЖ, не обслуживаются ППИК

$iaE_3$  Городская среда посёлка/района  $X$  с дорогим жильём не заселена МЖ, не заселена ППИК

$iaE_4$  Предприятия посёлка/района  $X$  общего значения не обслуживаются МЖ, не обслуживаются ППИК

$iaE_5$  Органы власти посёлка/района  $X$  с дешёвым жильём не составлены из МЖ, не составлены из ППИК

Первичные внешние  $ib$ .

$ibE_6$  Местные жители (МЖ) находятся в  $X$  и дееспособны

$ibE_7$  Пассионарные представители иных культур (ППИК) прибывают в  $X$  первой волной

$ibE_8$  Пассионарные представители иных культур (ППИК) прибывают в  $X$  последующими волнами

Вторичные  $ii$ .

$iiE_9$  Городская среда посёлка/района  $X$  с дешёвым жильём заселена МЖ, не заселена ППИК

$iiE_{10}$  Городская среда посёлка/района  $X$  с дешёвым жильём заселена МЖ, заселена ППИК

$iiE_{11}$  Городская среда посёлка/района  $X$  с дешёвым жильём не заселена МЖ, заселена ППИК

$iiE_{12}$  Предприятия посёлка/района  $X$  местного значения обслуживаются МЖ, не обслуживаются ППИК

$iiE_{13}$  Предприятия посёлка/района  $X$  местного значения обслуживаются МЖ, обслуживаются ППИК

$iiE_{14}$  Предприятия посёлка/района  $X$  местного значения не обслуживаются МЖ, обслуживаются ППИК

$iiE_{15}$  Анклав из ППИК в городской среде  $X$

$iiE_{16}$  Городская среда посёлка/района  $X$  с дорогим жильём заселена МЖ, не заселена ППИК

$iiE_{17}$  Городская среда посёлка/района  $X$  с дорогим жильём заселена МЖ, заселена ППИК

$iiE_{18}$  Городская среда посёлка/района  $X$  с дорогим жильём не заселена МЖ, заселена ППИК

$iiE_{19}$  Гетто из ППИК в городской среде  $X$

$iiE_{20}$  Предприятия посёлка/района  $X$  общего значения обслуживаются МЖ, не обслуживаются ППИК

$iiE_{21}$  Предприятия посёлка/района  $X$  общего значения обслуживаются МЖ, обслуживаются ППИК

$iiE_{22}$  Органы власти посёлка/района  $X$  составлены из МЖ, не составлены из ППИК

$iiE_{23}$  Органы власти посёлка/района  $X$  составлены из МЖ, составлены из ППИК

Третичные события  $iii$  – дублируют некоторые первичные внутренние или вторичные, фиксируя в модели окончательный результат, конец сценария.

События связаны союзами течения (простая стрелка), влияния («правый поворот»), слияния («сдвоенный поворот») и разлива (обратен слиянию, отсутствует в данном кусте), а также отношением ветвления (наложением альтернативных союзов течения), образуя сценарии, каждый из которых начинается с события  $ia$ , может включать событие  $ib$  и заканчивается событием  $iii$ . Сценарии могут быть совместимыми или несовместимыми. События  $iii$  дают полную группу взаимно несовпадающих результатов при заданном языке.

В данном кусте событий выделяются четыре группы сценариев.

1. Сценарии без  $ib$ : городская среда никем не заселена, предприятия, органы и структуры власти без сотрудников. Это сценарии вида «ничего не происходит», имеющие в данном случае сугубо формальный смысл.

2. Сценарии с  $ibE_6$ : обычное функционирование  $X$  либо как «спального района» ( $iaE_1$ ,  $iaE_2$  и  $iaE_5$ ), либо как элитного коттеджного посёлка ( $iaE_3$ ), либо как промышленной зоны ( $iaE_4$ ), либо как моногорода ( $iaE_1$ ,  $iaE_2$ ,  $iaE_4$  и  $iaE_5$ ), либо как комплексного поселения, сочетающего в себе все вышеупомянутые черты и населённого МЖ.

3. Сценарии с  $ibE_6$  и  $ibE_7$ : первая волна проникновения ППИК. ППИК занимают дешёвое жильё и устраиваются на предприятия, имеющие местное значение, но пока не преобладают над МЖ и взаимодействуют с ними. При этом они могут начать преобладать над МЖ за счёт более высокой рождаемости и общественной активности. Этим дело может ограничиться, но могут – возникнуть качественно новые сущности, анклавов ( $iiE_{14}$ ), характеризующиеся тем, что в жилом секторе и на предприятиях местного значения уже не встречаются МЖ и начинают действовать иные правила и законы. Опять-таки, сценарий может дальше не пойти, а может привести к полному исходу МЖ из дорогого жилья, частичному – с предприятий общего значения и органов и структур власти и слиянию анклавов в гетто – ещё одну качественно новую сущность. Это вполне согласуется со сценариями, теоретически описанными в [1] и показанными в [2] на примере различных городов России и наиболее детально – Екатеринбурга, а в [1] детально изученными на примере двух анклавов в исторической части Санкт-Петербурга.

4. Сценарии с  $ibE_6$ ,  $ibE_7$  и  $ibE_8$ : последующие волны проникновения неизбежно приводят к анклавизации и, возможно, геттоизации.

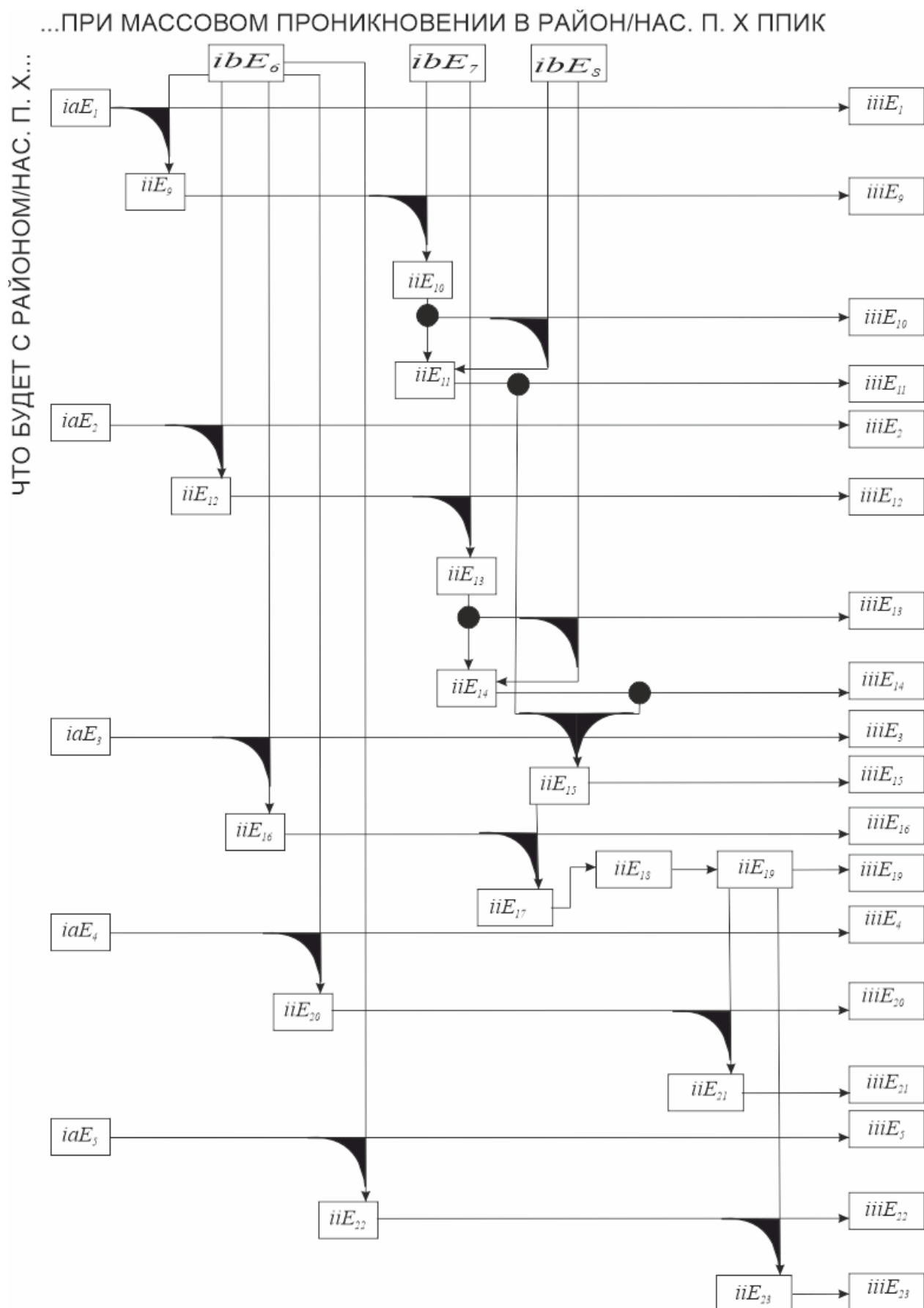


Рис. 1 - Куст событий «Что будет с районом/населённым пунктом X при массовом проникновении в него ППИК» [3]

## 2. Вероятностная интерпретация

Для расчёта вероятностей используется вероятностная интерпретация куста событий на основе теоремы Байеса. Для союза течения, не совмещённого с союзом влияния, например,  $iiE_{19} Flux iiE_{19}$  (рис. 1), она принимает следующий вид:

$$P(iiiE_{19}|iiE_{19}) = \frac{P(iiE_{19}|iiiE_{19})P(iiiE_{19})}{P(iiE_{19})},$$

$$P(iiiE_{19}) = \frac{P(iiiE_{19}|iiE_{19})P(iiE_{19})}{P(iiE_{19}|iiiE_{19})},$$

где  $P(iiiE_{19}|iiE_{19})$  – условная прямая вероятность следствия  $iiiE_{19}$  при причине  $iiE_{19}$ ,  $P(iiE_{19}|iiiE_{19})$  – условная обратная вероятность причины  $iiE_{19}$ , если произошло следствие  $iiiE_{19}$ ,  $P(iiE_{19})$  – безусловная (полная) вероятность причины,  $P(iiiE_{19})$  – следствия. Для данного случая действуют допущения:  $P(iiiE_{19}|iiE_{19}) = P(iiE_{19}|iiiE_{19})$ ,  $P(iiiE_{19}|iiE_{19}) = 1$  без учёта времени и меньше 1 – за любой конкретный промежуток времени.

Для союза влияния и связанного с ним союза течения (например,  $iiE_{22}, iiE_{19} Influx iiE_{23}, iiE_{22} Flux iiiE_{22}$ ) вероятности будут рассчитываться так:

$$P(iiiE_{22}) = \frac{P(iiiE_{22}|iiE_{22} \text{ И не } iiE_{19}) P(iiE_{22} \text{ И не } iiE_{19})}{P(iiE_{22} \text{ И не } iiE_{19}|iiiE_{22})} =$$

$$= P(iiE_{22} \text{ И не } iiE_{19}) = P(iiE_{22})(1 - P(iiE_{19})) \text{ (для течения),}$$

$$P(iiE_{23}) = \frac{P(iiE_{23}|iiE_{22} \text{ И } iiE_{19}) P(iiE_{22} \text{ И } iiE_{19})}{P(iiE_{22} \text{ И } iiE_{19}|iiE_{23})} =$$

$$= P(iiE_{22} \text{ И } iiE_{19}) = P(iiE_{22})P(iiE_{19}) \text{ (для влияния).}$$

Союз слияния в простейшем виде в кусте отсутствует, только в паре с ветвлением ( $E_{11}, E_{14} Conflux E_{15}$ ). Ветвление будет рассмотрено ниже, а для слияния двух событий расчёт вероятностей не отличается от влияния, но с условием, что сумма вероятностей всех (в данном случае двух) исходных событий не превышает 1:  $P(iiE_{11}) + P(iiE_{14}) \leq 1$ .

Наконец, ветвление события  $A$  на  $n$  событий  $B_1, B_2, \dots, B_n$  в чистом виде предполагает, что

$$P(B_i) = \frac{P(B_i|A) P(A)}{P(A|B_i)} = P(B_i|A) P(A),$$

поскольку в кусте событий принимается, что  $P(A|B_i) = 1$ . Если же считать все  $n$  исходов равновероятными, тогда можно сказать, что

$$P(B_i) = \frac{P(B_i|A) P(A)}{P(A|B_i)} = P(B_i|A) P(A) = \frac{P(A)}{n}.$$

Условные вероятности  $P(B_i|A)$  могут задаваться и пользователями, но тогда необходимо следить, чтобы сумма всех  $P(B_i|A)$  была равна 1.

В то же время, в данной модели ветвление, производимое на два события ( $n=2$ ), всегда осложнено влиянием или слиянием, поэтому расчёт вероятностей, например, для случая  $iiE_{10} Furcation iiiE_{10}, iiE_{11}; iiE_{10}, ibE_8 Influx iiE_{11}$  будет выглядеть так:

$$P(iiiE_{10}) = P(iiiE_{10}|iiE_{10}) P(iiE_{10})(1 - P(ibE_8));$$

$$P(iiE_{11}) = P(iiE_{11}|iiE_{10}) P(iiE_{10}) + P(iiE_{10})P(ibE_8) = P(iiE_{10}) - P(iiiE_{10}).$$

Аналогично рассчитываются вероятности и для других случаев ветвления в модели, представленной на рис. 1.

## 3. Практическая реализация

Для вероятностных расчётов по кусту событий было создано приложение на языке JAVA, а сам куст был записан в формате JSON. Это позволяет осуществить импорт куста в данное приложение и его десериализацию с помощью шаблона JAVA Data Transfer Object (DTO). Куст с рассчитанными вероятностями сохраняется в отдельном файле, по умолчанию хранимом вместе с приложением.

Значения вероятностей определяются следующим образом. Безусловные вероятности событий  $iaE_1, iaE_2, iaE_5, ibE_6$  приравниваются к 1, событий  $iaE_3, iaE_4$  – либо к 1 (данные объекты наличествуют на рассматриваемой территории), либо к 0 (отсутствуют); вероятности событий  $ibE_7, ibE_8$  имеют ненулевую вероятность, определяемую

администратором системы: либо 1 (событие уже имеет место), либо  $0 < p < 1$  (в зависимости от того, в каком количестве близлежащих территорий со схожими условиями от общего их числа в регионе это событие уже возымело место).

Условные вероятности определяются по следующим правилам. Значения обратных вероятностей принимаются равными 1. Значения прямых вероятностей  $P(iiiE_i)|P(iaE_i)$ , а также  $P(iiE_j)|P(iaE_i \text{ и } ibE_6)$  тоже приравниваются к 1. Значения остальных прямых вероятностей вносятся в данное приложение из опросника, специально разработанного для данного куста событий. Опросник состоит из вопросов вида: «Оцените по десятибалльной шкале, насколько вероятно, что в вашем районе местные жители в течение нескольких лет полностью съедут из некоторых многоквартирных домов, если в районе поселятся выходцы из ..., будут активно жить по своим законам, но не будут увеличиваться в числе». Ответ на данный вопрос, в частности, даёт, при делении на десять, значение прямой условной вероятности  $P(iiE_{11}|iiE_{10})$  союза течения  $iiE_{10} Flux iiE_{11}$ .

Данное приложение может быть реализовано, в частности, в виде web-сервиса для местных органов власти или иных заинтересованных юридических лиц. Жители территории смогут заполнить опросник и тем самым выразить свои личные ожидания в случае тех или иных процессов. Отдельный модуль может накапливать и обобщать «личные» значения вероятностей. Данное приложение позволит улавливать настроения людей, предшествующие кризису, и поддерживать принятие решений на основе количественных оценок вероятностей, выражающих эти настроения.

### Список литературы

1. Бедрина Е.Б. Этнические анклавы на картах современных мегаполисов: причины формирования и последствия / Е. Б. Бедрина, Д. А. Паньшина. / Динамика социальной трансформации российского общества: региональные аспекты: материалы V Тюменского международного социологического Форума / ответственный редактор М. М. Акулич. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2017. – С. 553-557.
2. Николаенко Г.А. Причины возникновения и особенности таджикских моноэтнических анклавов в центре Санкт-Петербурга // Современный город: настройка социологической оптики. Сборник научных статей по итогам III Ежегодной социологической школы /Под ред. Е.С. Богомягковой. – СПб.: Издат. центр экономического ф-та СПбГУ, 2014. – С. 119-134.
3. Пшеничный К.А., Пшеничный Г.К. Методология инженерии знаний для создания системы прогнозной оценки изменений в городской среде под воздействием пассионарных представителей иных культур. Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 4. С. 304-309.
4. Пшеничный К.А., Спивак А.И. Метод куста событий в решении задач представления знаний: Учебно-методическое пособие. – Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2020. 35 с.

**АННОТАЦИИ  
ABSTRACTS****А.В. Репина, В.С. Минкин, Р.Х. Шагимуллин  
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ВУЛКАНИЗАТОВ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ  
С РАЗЛИЧНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ**

*Ключевые слова:* полисульфидные олигомеры, ЯМР-спектроскопия.

*Исследована молекулярная подвижность вулканизатов полисульфидных олигомеров, полученных с использованием различных наполнителей, используемых в промышленности. Показано влияние типа и количества вводимых наполнителей на изменение гибкости олигомерных цепей вулканизатов. Установлено влияние дисперсности вводимых наполнителей на характер их распределения в вулканизатах ПСО.*

**A.V. Repina, V.S. Minkin, R.H. Shagimullin  
MOLECULAR MOBILITY OF VULCANIZATES  
OF INDUSTRIAL POLYSULFIDE OLIGOMERS WITH  
VARIOUS FILLERS**

*Keywords:* polysulfide oligomers, NMR-spectroscopy.

*The molecular mobility of vulcanizates of polysulfide oligomers obtained using various fillers used in industry has been studied. The effect of the type and quantity of fillers introduced on the change in the flexibility of oligomeric vulcanizate chains is shown. The effect of the dispersion of the introduced fillers on the nature of their distribution in the vulcanizates of the PSO has been established.*

**М.Г. Алленов, Д.Г. Алленов, В.А. Кулагина, А.Н. Пушанов  
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ  
ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ НА ОСНОВЕ API  
QFORM И API CAD-СИСТЕМ**

*Ключевые слова:* моделирование, автоматизация, API QForm, функции сглаживания, объемная штамповка.

*В статье описывается методика автоматизации моделирования процессов поперечно-клиновой прокатки (ПКП) с использованием API QForm и SpaceClaim API. Обсуждаются основные этапы и технические аспекты реализации. Приводятся результаты моделирования и практического испытания, а также предложены методы обработки графиков силы с помощью функций сглаживания и подбора параметров.*

**M.G. Allenov, D.G. Allenov, V.A. Kulagina, A.N. Pushanov  
MODELLING AND OPTIMISATION OF CROSS WEDGE  
ROLLING PROCESSES BASED ON API QFORM AND  
API CAD SYSTEMS**

*Keywords:* modeling, automation, API QForm, smoothing functions, bulk forging.

*This paper describes the automation methodology for modeling cross-wedge rolling (CWR) processes using API QForm and SpaceClaim API. Key stages and technical aspects of implementation are discussed. The results of modeling and practical testing are presented, along with force graph processing methods using smoothing functions and parameter adjustments.*

**П.В. Антонова, Р.М. Гиздатуллин,  
А.С. Титовцев, М.В. Казаков  
РАЗРАБОТКА МЕТАМОДЕЛИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНСАМБЛЕВЫХ  
МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

*Ключевые слова:* система массового обслуживания, метамодель, машинное обучение, показатели производительности.

*В настоящей статье рассматривается проблема повышения эффективности анализа систем массового обслуживания, характеризующихся сложной структурой входных и выходных параметров. Основной целью исследования является разработка метамодели, базирующейся на ансамблевых методах машинного обучения, в числе которых используются алгоритмы Gradient Boosting, AdaBoost и StackingRegressor. Применение предложенного подхода позволяет заменить вычислительно затратные имитационные эксперименты на быстрое прогнозирование ключевых характеристик системы.*

**P.V. Antonova, R.M. Gizdatullin,  
A.S. Titovcev, M.V. Kazakov  
DEVELOPMENT OF A SURROGATE MODEL FOR  
QUEUEING SYSTEMS USING ENSEMBLE MACHINE  
LEARNING METHODS**

*Keywords:* queueing system, surrogate model, machine learning, performance metrics.

*This paper addresses the challenge of enhancing the analytical efficiency of queueing systems characterized by complex input and output parameter structures. The primary objective of the study is to develop a surrogate model based on ensemble machine learning methods, including algorithms such as Gradient Boosting, AdaBoost, and StackingRegressor. The proposed approach replaces computationally intensive simulation experiments with rapid predictions of key system characteristics.*

**Д.Л. Карелин, А.В. Болдырев, С.В. Болдырев,  
И.Ф. Гумеров, Л.И. Фардеев  
АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ЭЛЕМЕНТОВ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ВОДОРОДНЫМ  
ТОПЛИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*Ключевые слова:* электрохимический генератор, водородный топливный элемент, транспортное средство, компрессор, тепловой баланс.

*В статье приводится результат численного моделирования и оценка теплового и мощностного балансов энергетической системы с водородным топливным элементом (ТЭ) при режимах движения магистрального грузовика разрешенной массой 44000 кг по заданному маршруту. Определена средняя мощность 200 кВт, затрачиваемая грузовиком на маршруте. Получены характеристики электрохимического генератора с ТЭ на основе баланса средней затраченной грузовиком мощности, затрат энергии на работу компрессора, насоса охлаждающей жидкости и климатической системы, а также теплоты, выделяемой в процессе его работы в номинальном режиме и режиме максимальной мощности.*

**D.L. Karelin, A.V. Boldyrev, S.V. Boldyrev,  
I.F. Gumerov, L.I. Fardeev  
ANALYSIS OF THE THERMAL BALANCE OF THE  
ELEMENTS OF A POWER PLANT WITH A  
HYDROGEN FUEL CELL OF VEHICLES**

*Keywords:* electrochemical generator, hydrogen fuel cell, vehicle, compressor, thermal balance.

*The article provides a numerical estimate of the thermal and power balances of an energy system with a hydrogen fuel cell (TE) under the driving modes of a mainline truck with a permitted weight of 44,000 kg: along a given route. The average power of 200 kW consumed by a truck on the route has been determined. The characteristics of an electrochemical generator with a thermal power plant are obtained based on the balance of the average power consumed by the truck, the energy spent on the operation of the compressor, coolant pump and climate system, as well as the heat released during its operation in the nominal and maximum modes.*

О.В. Мкртычев, Д.С. Сидоров, М.И. Апухтин  
УЧЕТ ПЕРЕГОРОДОК ПРИ РАСЧЕТЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ  
К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Ключевые слова:* прогрессирующее обрушение, особое сочетание нагрузок, эксплуатационные нагрузки, предельное состояние, локальное разрушение.

В данной работе исследуется влияние межквартирных перегородок на напряженно-деформированное состояние несущих железобетонных конструкций здания, их учет при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Цель исследования заключается в анализе того, как «включение» перегородок в работу каркаса меняет характер деформирования здания, а также в оценке их роли в обеспечении несущей способности конструкций. Актуальность данной темы обусловлена тем, что несущие конструкции могут влиять на устойчивость к прогрессирующему обрушению и перераспределение усилий. В ходе исследования были рассмотрены перегородки из разных материалов с разными физико-механическими свойствами. Эта статья будет полезна как для специалистов в области строительной механики, так и для инженеров-конструкторов и архитекторов, стремящихся спроектировать надежные и безопасные монолитные железобетонные здания.

А.С. Титовцев, Р.М. Юсупов  
СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
С ОГРАНИЧЕННОЙ ОЧЕРЕДЬЮ И ВРЕМЕНЕМ ОЖИДАНИЯ

*Ключевые слова:* системы массового обслуживания, ограниченная очередь, время ожидания, управление ресурсами, эффективность, нагрузка, клиентские запросы.

В данной статье рассматриваются системы массового обслуживания (СМО) с ограниченной очередью и временем ожидания как инструмент для повышения эффективности управления ресурсами в условиях высокой нагрузки. Исследуются теоретические аспекты их построения, оцениваются преимущества и ограничения использования данных систем в практической деятельности. Предложенные выводы и рекомендации могут быть использованы для улучшения работы систем в различных секторах экономики.

Л.Н. Акимова  
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ  
ИТ-ПРОЕКТАМИ

*Ключевые слова:* системный анализ, управление ИТ-проектами, принципы, технологические решения, причинно-следственные связи.

На сегодняшний день одним из ключевых факторов, обеспечивающих успешное развитие инноваций является проектное управление. В свою очередь системный подход на основе системного анализа управления проектами имеет существенные преимущества. Решения, принятые с учетом их влияния на систему в целом, работают эффективнее, а определение верных точек вложения усилий для большего эффекта осуществляется путем анализа причинно-следственных связей между управленческим воздействием и реальным эффектом. Системный подход определяет проект как систему временных действий, направленных на достижение неповторимого, но в то же время определенного результата. В статье рассмотрен актуальный вопрос, связанный с решением задач управления ИТ-проектами на основе системного анализа.

И.Б. Бондаренко, Д.А. Пелих  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ  
СИСТЕМЫ В РЕШЕНИИ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ ГОРОДСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ

*Ключевые слова:* мультиагентные системы, управление городом, архитектура, функциональные элементы, функция

O.V. Mkrtychev, D.S. Sidorov, M.I. Apukhtin  
CONSIDERATION OF PARTITIONS IN THE  
CALCULATION OF RESISTANCE TO PROGRESSIVE  
COLLAPSE OF REINFORCED CONCRETE  
MONOLITHIC STRUCTURES

*Keywords:* progressive collapse, special combination of loads, operational loads, terminal condition, local destruction.

In this paper, the influence of inter-apartment partitions on the stress-strain state of load-bearing reinforced concrete structures of a building is investigated, taking them into account when calculating resistance to progressive collapse. The purpose of the study is to analyze how the "inclusion" of partitions in the work of the frame changes the nature of the deformation of the building, as well as to assess their role in ensuring the bearing capacity of structures. The relevance of this topic is due to the fact that curtain structures can affect the resistance to progressive collapse and the redistribution of efforts. Modern building codes provide requirements for accounting partitions in calculations. The study examined partitions made of different materials with different physical and mechanical properties. This article will be useful both for specialists in the field of structural mechanics, as well as for design engineers and architects seeking to design reliable and safe monolithic reinforced concrete buildings.

A.S. Titovtsev, R.M. Yusupov  
QUEUEING SYSTEMS WITH LIMITED QUEUE AND  
WAITING TIME

*Keywords:* queueing systems, limited queue, waiting time, resource management, efficiency, load, client requests.

This article discusses queueing systems (QS) with a limited queue and waiting time as a tool to improve resource management efficiency under high load conditions. The theoretical aspects of their construction are investigated, the advantages and limitations of using these systems in practice are evaluated. The proposed conclusions and recommendations can be used to improve the performance of systems in various sectors of the economy.

L.N. Akimova  
SYSTEM ANALYSIS IN SOLVING IT PROJECT  
MANAGEMENT PROBLEMS

*Keywords:* system analysis, IT project management, principles, technological solutions, cause-and-effect relationships.

Today, one of the key factors ensuring the successful development of innovation is project management. In turn, a systematic approach based on system analysis of project management has significant advantages. Decisions made taking into account their impact on the system as a whole work more efficiently, and the determination of the right points for investing efforts for greater effect is carried out by analyzing the cause-and-effect relationships between management influence and the real effect. The systems approach defines a project as a system of temporary actions aimed at achieving a unique, but at the same time, specific result. The article discusses a pressing issue related to solving IT project management problems based on system analysis.

I.B. Bondarenko, D.A. Pelikh  
DESIGNING THE ARCHITECTURE OF A MULTI-  
AGENT SYSTEM IN SOLVING SPECIFIC URBAN  
MANAGEMENT TASKS

*Keywords:* multi-agent systems, city management, architecture, functional elements, reward function, planning.

вознаграждения, планирование.

В работе приведены недостатки существующих систем управления городскими ресурсами. Изложены принципы функционирования и ограничения мультиагентных систем. Приведено описание компонентов. Построена архитектура мультиагентных систем управления городом в решении задачи оптимизации дорожного трафика. Описаны сложности проектирования и жизненный цикл разработки подобных систем.

Р.Р. Валиахметов, Р.Р. Зиятдинов, Н.А. Кузнецов  
АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЕТЕКЦИИ НЕРОВНОСТЕЙ  
ДОРОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Ключевые слова: детекция неровностей дорожного покрытия, беспилотное транспортное средство.

В данной работе собраны и проанализированы различные аппаратные средства позволяющие оценить состояние дорожного полотна для управления движением беспилотного транспортного средства.

А.В. Ганичева, А.В. Ганичев  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ  
КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: объект, признак, решение, класс, решение, иерархическая система, уровень.

В статье разработаны новая математическая модель процесса ликвидации неудовлетворительных оценок в образовательной организации и метод определения эффективности этого процесса. Процесс ликвидации неудовлетворительных оценок рассматривается как система массового обслуживания.

О.И. Гурьянова, И.А. Чупахин, И.В. Гурьянова  
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОТРУДНИКОВ ДЛЯ УЧАСТИЯ В  
ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УНИВЕРСИТЕТА

Ключевые слова: проектная деятельность, оценка сотрудников, компетенции, навыки, университет, стратегический проект.

В данной статье предлагается методика оценки сотрудников для участия в проектной деятельности университета, состоящая из трех шагов: оценка общих навыков для участия в проектной деятельности, для конкретных направлений проектной деятельности и для конкретных проектов. Данная методика поможет университету эффективно оценивать навыки сотрудников и направлять их на проекты, где они могут наилучшим образом внести свой вклад в достижение целей проекта и университета в целом.

Ю.Г. Кабалдин, М.С. Аносов, С.В. Иванов, А.А. Акулова  
ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С  
ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И  
АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ  
АЛГОРИТМАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ И  
ФРАКТАЛОВ

Ключевые слова: твердые сплавы, износостойкие покрытия, трещиностойкость, акустическая эмиссия, нейронные сети, фрактальный анализ, нелинейная динамика, вязкость разрушения.

На основе нейронной сети дана классификация сигналов АЭ и проведен их анализ алгоритмами теории фракталов и нелинейной динамики, для оценки трещиностойкости твердых сплавов с покрытием.

Д.Ю. Карандеев, Р.И. Баженов  
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ  
ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С  
УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ

Ключевые слова: методы глубокого обучения, оптимизация, распределительные сети, надежность, графовые нейронные

The article presents the disadvantages of existing urban resource management systems. The principles of functioning and limitations of multi-agent systems are described. The components are described. The architecture of multi-agent city management systems has been built to solve the problem of optimizing road traffic. The complexities of designing and the life cycle of developing such systems are described.

R.R. Valiakhmetov, R.R. Ziyatdinov, N.A. Kuznetsov  
HARDWARE FOR DETECTING ROAD SURFACE  
IRREGULARITIES

Keywords: detection of road surface irregularities, self-driving vehicle.

In this paper, various hardware tools are collected and analyzed to assess the condition of the roadway for controlling the movement of a self-driving vehicle.

A.V. Ganicheva, A.V. Ganichev  
MODELING THE PROCESS OF IMPROVING THE  
QUALITY OF EDUCATION

Keywords: object, feature, solution, class, solution, hierarchical system, level.

The article develops a new mathematical model of the process of eliminating unsatisfactory grades in an educational organization and a method for determining the effectiveness of this process. The process of eliminating unsatisfactory grades is considered as a mass service system.

O.I. Guryanova, I.A. Chupakhin, I.V. Guryanova  
METHODOLOGY FOR EVALUATION OF EMPLOYEES  
FOR PARTICIPATION IN UNIVERSITY PROJECT  
ACTIVITY

Keywords: project activity, employee evaluation, competencies, skills, university, strategic project.

This article proposes a methodology for evaluating employees for participation in university project activity, consisting of three steps: evaluation of general skills for participation in project activity, evaluation of skills for specific project activity directions, and evaluation of skills for specific projects. This methodology will help the university to effectively evaluate the skills of employees and direct them to projects where they can make the best contribution to the achievement of project and university goals as a whole.

Y.G. Kabaldin, M.S. Anosov, S.V. Ivanov, A.A. Akulova  
ASSESSMENT OF CRACK RESISTANCE OF COATED  
HARD ALLOYS BASED ON NEURAL NETWORK AND  
ACOUSTIC EMISSION SIGNAL ANALYSIS USING  
NONLINEAR DYNAMICS AND FRACTALS  
ALGORITHMS

Keywords: hard alloys, wear-resistant coatings, crack resistance, acoustic emission, neural networks, fractal analysis, nonlinear dynamics, fracture toughness.

Based on a neural network, AE signals are classified and analyzed using algorithms from the theory of fractals and nonlinear dynamics to assess the crack resistance of coated hard alloys.

D.Y. Karandeev, R.I. Bazhenov  
THE USE OF DEEP LEARNING METHODS TO  
OPTIMIZE THE DESIGN OF DISTRIBUTION  
NETWORKS, TAKING INTO ACCOUNT THE  
CRITERION OF STRUCTURAL RELIABILITY

Keywords: deep learning methods, optimization, distribution

сети.

В статье рассматривается проблема оптимизации распределительных сетей. Выявляются возможности применения методов глубокого обучения для оптимизации распределительных сетей с учетом критерия структурной надежности. Проводится анализ и выбор оптимального вида нейронной сети для решения поставленной задачи. Предлагается разработка новой нейросетевой архитектуры на базе алгоритмов глубокого обучения, при этом особое внимание уделяется вопросу учета критерия структурной надежности.

С.А. Ращепкина, В.Н. Попова

#### К РАСЧЕТУ ШАРОВОЙ ЕМКОСТИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИРА

**Ключевые слова:** металл, шаровая емкость, аналитический и компьютерный расчет, усилия, анализ.

В статье на основе приведенного сравнения усилий аналитического и компьютерного расчетов шаровой емкости выявлено, что значение усилий, рассчитанные аналитическим путем имеют близкие значения, с данными полученные в программном комплексе. Это позволит использовать программный комплекс Лира для расчета и анализа работы шаровой емкости на разные нагрузки и воздействия, что существенно сократит время на выполнение численных расчетов в процессе проектирования важной конструкции.

#### В.Н. Фиошина, К.И. Сенникова, А.А. Городов КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА

**Ключевые слова:** статистика, методы, решение задач, текстовые данные, анализ.

В данной работе предлагается обобщённая классификация задач, связанных со статистическим анализом текста. Описываются некоторые формулировки этих задач, а также рассматриваются их особенности. Особое внимание уделяется аспектам эффективного их применения.

#### К.А. Агафонов, А.А. Силаев АВТОМАТИЗАЦИЯ СТАНА ГОРЯЧЕГО ПРОКАТА БЕСШОВНЫХ ТРУБ

**Ключевые слова:** горячая прокатка труб, бесшовные трубы, непрерывный стан, средства автоматизации, контролируемые параметры, датчики.

Статья написана по теме: «Автоматизация стана горячего проката бесшовных труб». В ней рассмотрены основные контуры управления процессом, подобраны необходимые средства измерений. Кроме того, описан режим работы производственных мощностей, используемых для производства труб. Опубликованы данные, необходимые для дальнейшей разработки автоматизированной системы управления технологическим процессом проката труб.

#### А.К. Зайцев, Л.И. Медведева РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ ГАЗА И ВОЗДУХА В ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМИ БАЛКАМИ

**Ключевые слова:** печь, автоматизация, приборы.

В статье раскрываются способы достижения эффективной работы печи с шагающими балками за счёт корректного выбора приборов. Даются примеры отечественных датчиков и исполнительных механизмов. Особое внимание уделено системе автоматического регулирования соотношения расходов газ-воздух.

#### В.В. Земцов, Д.Ф. Буканов, А.В. Ивашенко СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ПИТАНИЯ БЕСПРОВОДНОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО КОМБИНИРОВАННОГО ДАТЧИКА

**Ключевые слова:** Интернет вещей, бетавольтаический

сети, надежность, графовые нейронные сети.

The article discusses the problem of designing optimal distribution networks. The possibilities of using deep learning methods to optimize the design of distribution networks, taking into account the criterion of structural reliability, are identified. The analysis and selection of the optimal type of neural network for solving the problem is carried out. It is proposed to develop a new neural network architecture based on deep learning algorithms, with special attention being paid to the issue of taking into account criteria of structural reliability.

#### S.A. Rashchepkin, V.N. Popova TO CALCULATION OF BALL CAPACITY IN LIRA SOFTWARE PACKAGE

**Keywords:** metal, ball capacity, analytical and computer calculation, effort, analysis.

In the article, based on the given comparison of forces of analytical and computer calculations of the ball capacitance, it was revealed that the value of forces calculated analytically have similar values to the data obtained in the software package. This will make it possible to use Lira's software package to calculate and analyze the operation of the ball tank for various loads and impacts, which will significantly reduce the time for performing numerical calculations during the design of an important structure.

#### V.N. Fiošina, K.I. Sennikova, A.A. Gorodov CLASSIFICATION OF TASKS IN STATISTICAL TEXT ANALYSIS

**Keywords:** statistics, methods, problem solving, text data, analysis.

This paper proposes a generalized classification of tasks related to statistical text analysis. Some formulations of these tasks are described, and their features are considered. Special attention is paid to the aspects of their effective application.

#### K.A. Agafonov, A.A. Silaev AUTOMATION OF HOT ROLLING MILL FOR SEAMLESS PIPES

**Keywords:** hot rolling of pipes, seamless pipes, continuous mill, automation tools, controlled parameters, sensors.

The article is written on the topic: "Automation of the hot rolled seamless pipe mill". It examines the main contours of the process control, selects the necessary measuring instruments. In addition, the operating mode of the production facilities used for the production of pipes is described. The data necessary for the further development of an automated control system for the technological process of pipe rolling has been published.

#### A.K. Zaitsev, L.I. Medvedeva DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR REGULATING THE RATIO OF GAS AND AIR FLOW RATES IN A FURNACE WITH WALKING BEAMS

**Keywords:** furnace, automation, appliances.

The article reveals ways to achieve efficient operation of a furnace with walking beams due to the correct choice of devices. Examples of domestic sensors and actuators are given. Special attention is paid to the system of automatic regulation of the gas-air flow ratio.

#### V.V. Zemtsov, D.F. Bukanov, A.V. Ivaschenko AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM OF WIRELESS OPTICAL-ELECTRONIC SPECTROMETRIC COMBINED SENSOR

**Keywords:** Internet of things, betavoltaic power source,

источник питания, бетавольтаический комплекс.

В работе представлена архитектура программно-аппаратного комплекса мониторинга инфраструктурных объектов на основе беспроводных оптико-электронных спектрометрических комбинированных датчиков. Для обеспечения автономной работы датчиков предложено использовать бетавольтаические источники питания.

Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Валиахметов, Д.В. Санников  
СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ  
СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ключевые слова: компьютерное зрение промышленных роботов, нейронные сети.

Необходимость повышения качества выпускаемой продукции, а также нехватка квалифицированного персонала на предприятиях приводит к увеличению потребности в автоматизации и роботизации производственных процессов. В статье показаны результаты разработки системы компьютерного зрения промышленных роботов на основе искусственных нейронных сетей для распознавания деталей.

В.К. Козлов, Д.М. Валиуллина, Р.А. Гиниатуллин  
КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ  
КИСЛОТНЫМ ЧИСЛОМ И КООРДИНАТАМИ ЦВЕТНОСТИ  
ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Ключевые слова: трансформаторное масло, кислотное число, ароматические соединения, координаты цветности масла, старение, деградация.

Изменение трансформаторного масла в процессе старения приводит к изменению нескольких параметров, включая кислотное число, тангенс угла диэлектрических потерь и цвет масла. Это в свою очередь может привести к ухудшению эксплуатационных свойств масла и снижению надежности изоляционной системы маслонаполненного оборудования. В рамках проведенных исследований были изучены изоляционные масла, определены их цветовые характеристики с использованием спектров пропускания и отражения в видимом диапазоне, а также установлена связь между этими характеристиками и кислотным числом.

К.А. Кузнецова, К.А. Воронин, А.К. Ильина,  
Л.О. Федосова, А.В. Золотов  
РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
КОЛЛАБОРАТИВНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Ключевые слова: коллаборативный робот, система технического зрения, захватное устройство, паллетирование. В работе представлены результаты изучения коллаборативных роботов совместно с интеллектуальными системами, а именно системой технического зрения для решения задач упаковки объектов и паллетирования коробок на производстве. Изучена поточная линия на предприятии ООО «Посуда» и предложен вариант автоматизации производственного участка. Проведен ряд экспериментов, показывающий эффективность и безопасность работы комплекса и человека.

К.Д. Семенов, В.Г. Сурикова  
ПЛАНИРОВАНИЕ ТРУДОЗАТРАТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
НАДЕЖНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО  
ПРОДАЖЕ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: надежность, медицинское оборудование, трудозатраты, программные системы.

В статье рассматриваются вопросы планирования трудозатрат на разработку надежной автоматизированной платформы для продажи медицинского оборудования. Проведено исследование зависимости надежности программного обеспечения от времени его тестирования на основе модели оценки трудозатрат. Полученные результаты

betavoltaic complex.

The paper presents the architecture of a hardware-software complex for monitoring infrastructure objects based on wireless optical-electronic spectrometric combined sensors. To ensure autonomous operation of the sensors, it is proposed to use betavoltaic power sources.

R.R. Ziyatdinov, R.R. Valiakhmetov, D.V. Sannikov  
OBJECT RECOGNITION SYSTEM FOR ROBOTIC  
SYSTEMS BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL  
NETWORK

Keywords: computer vision of industrial robots, neural networks.

The need to improve the quality of products, as well as the lack of qualified personnel at enterprises, leads to an increase in the need for automation and robotization of production processes. The article shows the results of developing a computer vision system for industrial robots based on artificial neural networks for part recognition.

V.K. Kozlov, D.M. Valiullina, R.A. Giniatullin  
CORRELATION DEPENDENCE BETWEEN THE ACID  
NUMBER AND THE COLOR COORDINATES OF  
TRANSFORMER OIL

Keywords: transformer oil, acid number, aromatic compounds, oil color coordinates, aging, degradation.

Changes in transformer oil during aging result in changes in several parameters, including acid number, dielectric loss tangent, and oil color. This, in turn, can lead to a deterioration in the performance properties of the oil and a decrease in the reliability of the insulation system of oil-filled equipment. As part of the research, insulating oils were studied, their color characteristics were determined using transmission and reflection spectra in the visible range, and a relationship was established between these characteristics and acid number.

K.A. Kuznetsova, K.A. Voronin, A.K. Ilyina,  
L.O. Fedosova, A.V. Zolotov  
DEVELOPMENT OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEM  
FOR COLLABORATIVE ROBOT BASED ON VISION  
SYSTEM

Keywords: collaborative robot, vision system, gripping device, palletizing.

The paper presents the results of the study of collaborative robots together with intelligent systems, namely the vision system for solving the tasks of packing objects and palletizing boxes in production. The flow line at the enterprise "Posuda" Ltd. was studied and the variant of automation of the production area was proposed. Experiments showing the efficiency and safety of the complex working together with a human were carried out.

K.D. Semenov, V.G. Surikova  
PLANNING OF LABOR COSTS IN THE  
DEVELOPMENT OF A RELIABLE AUTOMATED  
PLATFORM FOR THE SALE OF MEDICAL  
EQUIPMENT

Keywords: reliability, medical equipment, workload, software systems.

The article examines the workload planning for the development of a reliable automated platform for medical equipment sales. A study was conducted on the relationship between software reliability and testing duration based on a workload estimation model. The obtained results can be used

могут быть использованы для оптимизации процесса разработки и повышения качества программных систем.

Л.А. Феоктистова, Т.В. Рзаева  
ВЫБОР САД-СИСТЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРАФИЧЕСКИХ  
ДИСЦИПЛИН В РАМКАХ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

*Ключевые слова:* Инженерная графика, компьютерная графика, 3D-моделирование. AutoCAD, КОМПАС-3D.

В данной работе представлен краткий анализ применения графических программ в образовательном процессе. Проводится оценка целесообразности использования графических программ в образовательном процессе, а также определяется оптимальный вариант для изучения графических дисциплин.

Л.Б. Абибулаев, Д.В. Малыгин,  
Д.Н. Аблякимова, З.С. Сейдаметова  
АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Ключевые слова:* алгоритмы, оптимизация, распределенные системы, безопасность, инновации.

В статье рассмотрены алгоритмы оптимизации для распределенных вычислительных систем, включая методы консенсуса и балансировки нагрузки. Проанализированы эффективность различных подходов, направленных на улучшение производительности и надежности систем, а также децентрализованный подход и интеграция методов машинного обучения для динамической адаптации к изменениям нагрузки.

Т.А. Деменкова, В.А. Ланцевский  
МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ  
ПРИЛОЖЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
*Ключевые слова:* информационная система, тестирование, база данных, Fastkore, автоматизация, макросы, API, оптимизация запросов.

В статье рассматриваются подходы к тестированию приложения информационных систем на примере отечественной платформы Fastkore. Описаны этапы ручного тестирования, включая настройку ролей, доступов и создание тестовых сценариев. Исследованы вопросы автоматизации тестирования с использованием макросов на языке C# и методов API для работы с базой данных. Предложены рекомендации по оптимизации запросов к базе данных для повышения производительности тестирования. Рассмотрены методы API для обращения к базе данных, их влияние на время выполнения макросов и нагрузку на сервер.

С.Р. Ермаков, С.В. Зыков  
МЕТОД МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ  
ПОТОКОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ  
СИСТЕМЫ

*Ключевые слова:* методы машинного обучения, нормализация данных, масштабирование признаков, классификация, интеллектуальная образовательная система, потоковые данные.

В данной научной работе авторами предлагается метод масштабирования признаков для потоковой интеллектуальной образовательной системы. Описано функционирование метода и приведена схема. Проведено экспериментальное исследование метода, результаты которого отражены в виде графика. Полученные выводы подтверждают эффективность предложенного метода по сравнению с рассмотренными аналогами.

to optimize the development process and improve the quality of software systems. Based on the workload estimation model for developing a reliable system, a study was conducted on the relationship between software reliability and its testing duration.

L.A. Feoktistova, T.V. Rzaeva  
SELECTION OF CAD SYSTEMS WHEN STUDYING  
GRAPHIC DISCIPLINES IN THE CONTEXT OF  
TRAINING STUDENTS OF TECHNICAL SPECIALTIES

*Keywords:* Engineering graphics, computer graphics, 3D modeling. AutoCAD, COMPASS-3D.

This paper presents a brief analysis of the use of graphic programs in the educational process. An assessment is made of the feasibility of using graphic programs in the educational process, and the optimal option for studying graphic disciplines is determined.

L.B. Abibulaev, D.V. Malygin,  
D.N. Ablyakimova, Z.S. Seidametova  
OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR DISTRIBUTED  
COMPUTING SYSTEMS

*Keywords:* algorithms, optimization, distributed systems, security, innovation.

The paper considers optimization algorithms for distributed computing systems, including consensus and load balancing methods. The efficiency of various approaches aimed at improving the performance and reliability of systems is analyzed. Current trends and challenges faced by developers are discussed, as well as the prospects for further development of these algorithms in the context of cloud technologies and the Internet of Things.

T.A. Demenkova, V.A. Lantsevsky  
METHODS OF OPTIMIZING TESTING OF  
INFORMATION SYSTEMS APPLICATIONS

*Keywords:* information system, testing, database, Fastkore, automation, macros, API, query optimization.

The article discusses approaches to testing information systems applications using the example of the domestic Fastkore platform. The stages of manual testing are described, including setting up roles, accesses and creating test scripts. The issues of test automation using macros in C# and API methods for working with a database have been studied. Recommendations are offered for optimizing database queries to improve testing performance. API methods for accessing the database, their impact on the execution time of macros and the load on the server are considered.

S.R. Ermakov, S.V. Zykov  
FEATURE SCALING METHOD FOR A STREAMING  
INTELLIGENT EDUCATIONAL SYSTEM

*Keywords:* machine learning methods, data normalization, feature scaling, classification, intelligent educational system, streaming data.

In this scientific paper, the authors propose a feature scaling method for a streaming intelligent educational system. The functioning of the method is described and a diagram is provided. An experimental study of the method has been conducted, the results of which are shown in the form of a graph. The obtained conclusions confirm the effectiveness of the proposed method in comparison with the considered analogues.

Д.В. Жматов, К.И. Шутов

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОИСКА ПОТЕРЯННЫХ ТОВАРОВ НА СКЛАДЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

*Ключевые слова:* тензометрические датчики, имитационная модель, интернет вещей, оптимизация складских процессов, распределение Гаусса.

Статья посвящена разработке имитационной модели для оценки метода поиска потерянных товаров на складе с использованием тензометрических датчиков. Исследование подтвердило эффективность метода на уровне 96,7%, что демонстрирует его пригодность для применения на умных складах. Выявлены ограничения метода, связанные с весом и количеством товаров на стеллажах. Определены требования к складам, обеспечивающие наивысшую эффективность метода.

В.М. Образцов, С.А. Красников, О.Ю. Козлова

**ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

*Ключевые слова:* распределенная обработка данных, анализ данных, скорость обработки данных.

В работе представлены результаты анализа результативности применения новых технологий распределенной обработки данных в различных отраслях жизнедеятельности человека и общества. Приведен анализ эффективности применения распределенной обработки данных по сравнению с традиционными системами обработки данных.

А.К. Рыбников

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОАССЕССМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТАЛОСТИ В АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ**

*Ключевые слова:* нейроассессмент, арктические экспедиции, нейрокомпьютерные интерфейсы, НКИ, экстремальные условия.

В работе представлена математическая модель нейроассессмента, направленная на оценку когнитивного, физиологического и психологического состояния участников арктических экспедиций. Использование нейрокомпьютерных интерфейсов (НКИ) позволяет объективно выявлять усталость и стресс, что способствует повышению безопасности и эффективности в экстремальных условиях. Модель разрабатывалась с учётом задач Студенческого экспедиционного корпуса «Команда Арктики» и ориентирована на практическое применение в экспедиционных и других сложных климатических условиях.

К.В. Черенкова

**МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ МАТЕРИАЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА НА ОСНОВЕ МЕТОДА SPH**

*Ключевые слова:* аддитивное производство, SPH, плавление, фазовый переход, расщепление, лазерный источник.

В данной работе представлена численная методика для моделирования селективного лазерного плавления методом SPH. Течение расплавленного вещества описывается уравнениями Навье-Стокса. Тепловое состояние определяется из уравнения сохранения энергии. В процессе каждого момента времени определяется криволинейная подвижная поверхность, на которой происходит фазовый переход.

К.В. Черенкова

**РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ МАТЕРИАЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА**

*Ключевые слова:* селективное лазерное спекание, SPH, методика, хранение данных, параллельные вычисления, примеры расчетов.

В работе представлено описание программной реализации численной методики для моделирования селективного лазерного плавления методом SPH. Рассматриваются архитектура,

D.V. Zhmatov, K.I. Shutov

**DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR LOCATING LOST ITEMS IN A WAREHOUSE USING STRAIN GAUGE SENSORS**

*Keywords:* strain gauge sensors, simulation model, Internet of Things, warehouse process optimization, Gaussian distribution.

This article presents the development of a simulation model to evaluate the method of locating lost items in a warehouse using strain gauge sensors. The study demonstrated the method's efficiency at 96.7%, highlighting its suitability for implementation in smart warehouses. Limitations of the method were identified, including dependencies on the weight and quantity of items on shelves. Requirements for warehouses that ensure the maximum efficiency of the process were also defined.

V.M. Obratsov, S.A. Krasnikov, O.Yu. Kozlova

**APPLICATION OF DISTRIBUTED DATA PROCESSING**

*Keywords:* distributed data processing, data analysis, data processing speed.

The paper presents the results of an analysis of the effectiveness of the use of new technologies for distributed data processing in various sectors of human and society. The analysis of the effectiveness of distributed data processing in comparison with traditional data processing systems is presented.

A.K. Rybnikov

**MATHEMATICAL MODEL OF NEUROASSESSMENT FOR FATIGUE EVALUATION IN ARCTIC EXPEDITIONS**

*Keywords:* neuroassessment, Arctic expeditions, brain-computer interfaces, BCI, extreme conditions.

This paper presents a mathematical model of neuroassessment aimed at evaluating the cognitive, physiological, and psychological states of participants in Arctic expeditions. The use of brain-computer interfaces (BCI) enables objective identification of fatigue and stress, enhancing safety and efficiency in extreme conditions. The model was developed to address the needs of the Student Expeditionary Corps "Arctic Team" and is focused on practical application in expeditions and other challenging environments.

K.V. Cherenkova

**TECHNIQUE OF MODELING THE PROCESS OF MATERIAL SINTERING UNDER THE INFLUENCE OF A LASER BEAM BASED ON THE SPH METHOD**

*Keywords:* additive manufacturing, SPH, melting, phase transition, splitting, laser source.

This paper presents a numerical technique for modeling selective laser melting by the SPH method. The flow of the molten substance is described by the Navier-Stokes equations. The thermal state is determined from the energy conservation equation. In the process, at each moment of time, a curvilinear moving surface is determined on which the phase transition occurs.

K.V. Cherenkova

**DEVELOPMENT OF TOOLS FOR IMPLEMENTING THE METHOD OF SIMULATING THE PROCESS OF MATERIAL SINTERING UNDER THE INFLUENCE OF A LASER BEAM**

*Keywords:* selective laser sintering, SPH, method, data storage, parallel calculations, calculation examples.

The paper presents a description of the software implementation of the numerical method for simulating selective laser melting by the SPH method. The architecture,

организация вычислений, распараллеливание вычислений и балансировка. Приведены результаты моделирования численного расчета.

organization of calculations, parallelization of calculations and balancing are considered. The results of modeling the numerical calculation are provided.

Г.К. Пшеничный, И.М. Герасимович, К.А. Пшеничный  
СИСТЕМА РАСЧЁТА ОБЩЕСТВЕННЫХ ОЖИДАНИЙ ПРИ  
ИЗМЕНЕНИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
ПАССИОНАРНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ИНЫХ КУЛЬТУР

G.K. Pshenichny, I.M. Gerasimovich, C.A. Pshenichny  
COMPUTATION OF PUBLIC EXPECTATION OF  
ALIEN-INDUCED CHANGES IN URBAN LIFE

Ключевые слова: городская среда, сценарий, куст событий,  
субъективная вероятность, миграция.

Keywords: urban area, scenario, event bush, subjective  
probability, migration.

Ожидания людей – как положительные, так и отрицательные – это фактор, который в силу его крайне слабой формализуемости трудно учесть при выстраивании общественных отношений на уровне муниципальных образований. Особенно остро эта проблема стоит в случае общественных ожиданий от проникновения пассивных представителей иных культур. Тем не менее, ключ к её решению можно найти путём совместного применения достаточно репрезентативного метода концептуального сценарного моделирования, каковым является куст событий, и байесовской квантификации. В данной статье рассматривается общий подход к построению системы поддержки принятия решений для органов местной власти, реализуемой в форме web-приложения с открытым доступом.

Public expectation, including people's hopes and fears, especially those caused by penetration of aliens from other cultures and ethnicities, is rarely accounted for in social planning and policy-making because of its hardly formalized nature. However, scenario-based conceptual modeling by a reasonably representative method such as event bush, coupled with Bayesian quantification, provide a ground for building a web-based open-access technique to assist local and municipal decision-makers. This paper presents a general approach for building such system.

## **Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью**

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

## **Договор публичной оферты по обработке персональных данных**

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ**

**№2 2025**

**Направления:**

- 1.2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**
- 2.3.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**
- 2.3.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (технические науки)**
- 2.3.6. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(физико-математические науки)**

**[www.ntvprrt.ru](http://www.ntvprrt.ru)**

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732  
Подписано в печать 28.02.2025      Формат А4. Печать цифровая.  
Дата выхода в свет 28.02.2025  
12,1 усл.печ.л. 13,6 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 7241.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":  
420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.  
Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":  
420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.  
Цена свободная.

© Рашин Сайнс  
тел. (843) 216-30-35  
Отпечатано с готового оригинал-макета  
ООО «Рашин Сайнс»