

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СООРУЖЕНИЯ

Выпуск №1 (38), 2020

- ✚ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ
- ✚ ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
- ✚ ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
- ✚ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА
- ✚ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ
- ✚ ЭКСПЕРТИЗА И УПРАВЛЕНИЕ НЕДВИЖИМОСТЬЮ
- ✚ ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
- ✚ СЕРВИС ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ГОСТИНИЧНО-РЕСТОРАННЫХ, СПОРТИВНЫХ И ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
- ✚ ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ
- ✚ «ЗЕЛЁНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

Воронеж

**ISSN 2074-188X**

**SCIENTIFIC JOURNAL**

**ENGINEERING SYSTEMS  
AND CONSTRUCTIONS**

**Edition №1 (38), 2020**

- ✚ HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION
- ✚ WATER SUPPLY, THE WATER DRAIN, BUILDING SYSTEMS OF PROTECTION OF WATER RESOURCES
- ✚ FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY
- ✚ ECOLOGICAL SAFETY OF BUILDING AND MUNICIPAL ECONOMY
- ✚ DESIGNING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRFIELDS, BRIDGES AND TRANSPORT TUNNELS
- ✚ EXAMINATION AND MANAGEMENT OF REAL ESTATE
- ✚ TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF BUILDING
- ✚ SERVICE OF ENGINEERING SYSTEMS OF HOTEL-RESTAURANT, SPORTS AND SHOPPING MALLS
- ✚ INNOVATIVE MANAGEMENT
- ✚ «GREEN BUILDING»

**Voronezh**

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ & СООРУЖЕНИЯ

# ENGINEERING SYSTEMS & CONSTRUCTIONS

Научный журнал

Scientific journal

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель  
редакционного совета     **профессор С.А. Колодяжный**  
Главный редактор         **профессор О.А. Сотникова**  
Зам. главного редактора   **доцент К.Н. Чугунова**

Члены редколлегии:

**профессор М.М. Бродач**  
**профессор Н.С. Кобелев**  
**профессор Л.С. Ляхович**  
**профессор В.Н. Мелькумов**  
**профессор В.Я. Мищенко**  
**профессор Р.Раткович**  
**(Черногория)**  
**профессор О.Б. Рудаков**  
**доцент К.А. Скляр**  
**доцент Н.П. Умнякова**  
**Р.А. Исмаилов**  
**А.В. Хребтов (Белоруссия)**

Научный секретарь         **доцент Д.М. Чуудинов**  
Выпускающий редактор   **доцент С.Г. Тульская**  
Ответственный секретарь **инженер Е.В. Плаксина**

## EDITORIAL BOARD

The chairman of the  
editorial board                             **prof. S.A. Kolodyazhny**  
The editor-in-chief - D.Sc. in Eng., **prof. O.A. Sotnikova**  
The deputy the editor-in-chief - Ph.D. in Eng. **K.N. Chugunova**

Associate editors:

D.Sc. in Eng., **prof. M.M. Brodach**  
D.Sc. in Eng., **prof. N.S. Kobelev**  
D.Sc. in Eng., **prof. L.S. Lyakhovich**  
D.Sc. in Eng., **prof. V.N. Melkumov**  
D.Sc. in Eng., **prof. V.Ya. Mischenko**  
Ph.D., **prof. dr Rade Ratcovic**  
**(Montenegro)**  
D.Sc. in Eng., **prof. O.B. Rudakov**  
Ph.D. in Eng., **Assoc. Prof. K.A. Sklyarov**  
Ph.D. in Eng., **Assoc. Prof. N.P. Umnyakova**  
**R.A. Ismailov**  
**A.V. Hrebtov (Belarus)**

The scientific secretary **Ph.D. in Eng. Assoc. Prof. D.M. Chudinov**  
The letting out editor - **Ph.D. in Eng., Assoc. Prof. S.G. Tul'skaya**  
The responsible secretary - **engineer E.V. Plaksina**

## АДРЕС РЕДАКЦИИ

394006, Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84  
Т./ф.: **(473) 277-43-39**  
E-mail: **isis.journal@yandex.ru**

## THE EDITION ADDRESS

394006, Voronezh, street of 20 years of October, 84,  
T./f.: **(473) 277-43-39**  
E-mail: **isis.journal@yandex.ru**

## УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ФГБОУ ВО  
«Воронежский государственный технический университет»,  
г. Воронеж, Московский просп., 14

## THE FOUNDER OF THE JOURNAL

FSBEI HE  
«Voronezh State Technical University»,  
Voronezh, Moscow Ave., 14

## ПОПЕЧИТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ

Управление ЖКХ городского округа г. Воронеж,  
в лице руководителя **И.В. Черенкова**  
ЗАО ЦЧР «Гипроавтотранс», в лице  
генерального директора **Э.В. Макарычева**  
ООО «Агропромстрой», г. Воронеж, в лице  
Генерального директора **В.Н. Барина**

## BOARD OF GUARDIANS

Management of housing and communal services of city  
district Voronezh, in the person of the head **I.V. Cherenkov**  
Joint-Stock Company TSCHR "Giproavtotrans", in the  
person of general director **E.V. Makarychev**  
Open Company "Agropromstroj", Voronezh, in the person  
of general director **V.N. Barinov**

• Рукописи статей не возвращаются • Рукописи  
рецензируются • Ответственность за достоверность  
опубликованных в статьях сведений несут авторы •  
Перепечатка материалов журнала допускается только с  
разрешения редакции •

• Manuscripts will not be returned • Manuscripts are reviewed •  
Responsibility for reliability of the data published in articles  
bear authors • The reprint of materials of magazine it is  
supposed only with the permission of edition •

Разработка и поддержка web-сайта   **К.А. Скляр**  
Перевод   **К.Н. Чугунова**  
Дизайнер                                        **К.Н. Сладченко**

Website design and support               **K.A. Sklyarov**  
Transfer   **K.N. Chugunova**  
Designer                                        **K.N. Sladchenko**

16+

© Факультет Инженерных Систем в Строительстве  
ВГТУ, 2020

16+

© Department of Engineering Systems in Construction  
Voronezh State Technical University, 2020

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СООРУЖЕНИЯ

Научный журнал

Выпуск №1 (38), 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

### *Цифровые технологии в научных исследованиях*

**С.Л. Подвальный, М.А. Лихотин**

Моделирование усилителя мощности через цифровую обработку телекоммуникационного сигнала при помощи искусственных нейронных сетей 8

**П.А. Головинский**

Искусственный интеллект в цифровой экономике 14

**А.Н. Волков, А.С. Копырин, Н.В. Кондратьева, С.С. Валеев**

Информационная система экологического мониторинга в рекреационных зонах 20

**В.В. Волков, В.Н. Мелькумов, О.Б. Кукина**

Перспективные цифровые технологии на предприятиях строительного кластера 25

**С.Н. Кузнецов, Г.А. Кузнецова**

Математическое моделирование работы пилотного регулятора 32

**О.В. Черноусова, Р.Г. Черепахина, С.О. Садыков, О.Б. Рудаков**

Цифровая цветометрия сыпучих и полимерных материалов 37

**Е.С. Менкова, С.А. Олейникова**

Программно-информационный комплекс для поиска оптимального решения задачи о назначениях 46

**В.И. Захватов, С.Л. Подвальный, А.В. Михайлуков**

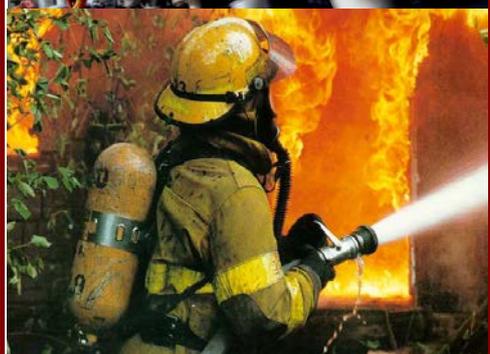
Полиномиальный регулятор с динамическим изменением коэффициентов 53

**Г.Н. Мартыненко, В.В. Ухлоva, З.Б. Абдулаев, А.Н. Черных**

Использование программных продуктов, зарегистрированных в отраслевом фонде алгоритмов и программ, в высшем профессиональном образовании 63

**Е.Ю. Бозюкова, С.А. Олейникова**

Реализация модели передвижения специализированного железнодорожного транспорта с помощью среды Anylogic 70



	<p><b>А.К. Донских, В.Ф. Барабанов</b> Цифровое управление искусственным интеллектом с использованием дерева поведения для расчета эвристик и проектирования стратегий UTILITY AI 78</p> <p><b>М.Н. Жерлыкина, Т.В. Шукина</b> Цифровое управление системой контроля качества воздуха помещения 83</p> <p><b>С.Н. Кузнецов, Г.А. Кузнецова</b> Цифровые модели управления надежностью газового оборудования 90</p> <p><b>Г.Н. Мартыненко, В.И. Лукьяненко, Н.И. Гудаков, О.С. Мальцева</b> Цифровое управление системой учета газопотребления частными потребителями на базе IT-технологий 95</p> <p><b>И.Н. Фильчакина, Н.С. Фильчакин</b> Опыт применения цифровых технологий в текстильной промышленности 102</p> <p><b>А.Н. Пустовгар, В.В. Волков, О.Б. Кукина, С.Н. Золотухин</b> Использование аддитивных технологий в строительстве 107</p> <p><b>М.А. Белых, Д.А. Вдовин, А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова</b> Анализ аспектов изучения технологии обработки облака точек 112</p> <p><b>И.А. Селищев, С.А. Олейникова</b> Программный комплекс для формирования расписания обслуживания заявок с ресурсными ограничениями 121</p> <p><b>А.В. Николайчик, К.А. Григорьева</b> Структура и особенности современной цифровой электроэнергетической системы 128</p> <p><b>Ю.А. Воробьева, Е.Э. Бурак, А.Н. Ишков, А.А. Скоркин</b> Использование цифровых технологий в сфере жилищно-коммунального хозяйства 137</p> <p><b>П.Н. Левин, П.А. Добрынин, О.А. Середкин</b> Секционирование распределительных сетей с помощью реклоузеров, с целью повышения уровня надежности электрических сетей 143</p>
	<b>Информационный раздел</b>
	<p>Правила оформления статей в журнале «Инженерные системы и сооружения» 147</p>
	<p>Состав редакционной коллегии журнала «Инженерные системы и сооружения» 150</p>

# Engineering systems and constructions

Scientific magazine

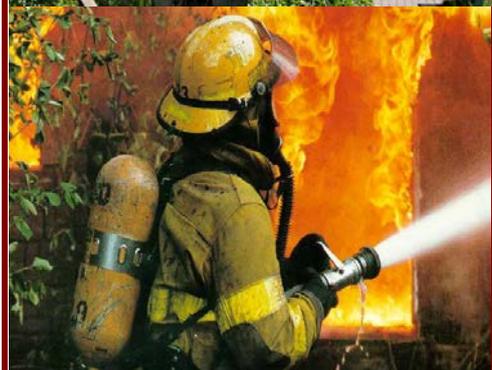
№1 (38), 2020

## THE CONTENT



### Digital technology in research

- S.L. Podvalny, M.A. Likhotin**  
Modeling a power amplifier through digital processing of a telecommunication signal using artificial neural networks 8
- P.A. Golovinski**  
Artificial intelligence in the digital economy 14
- A.N. Volkov, A.S. Kopyrin, N.V. Kondratyeva, S.S. Valeev**  
Ecological monitoring information system in recreational zones 20
- V.V. Volkov, V.N. Mel'kuvov, O.B. Kukina**  
Promising digital technologies at the enterprises of building clust 25
- S.N. Kuznetsov, G.A. Kuznetsova**  
Mathematical modeling of the pilot regulator 32
- O.V. Chernousova, R.G. Cherepakhina, S.O. Sadykov, O.B. Rudakov**  
Digital colorimetry of bulk and polymeric materials 37
- E.S. Menkova, S.A. Oleinikova**  
Software and information system for finding the Optimal solution to the Assignment problem 46
- V.I. Zakhvatov, S.L. Podvalny, A.V. Mikhailusov**  
Polynomial regulator with dynamic change of coefficients 53
- G.N. Martynenko, V.V. Uhlova, Z.B. Abdulaev, A.N. Chernykh**  
Use of software products registered in the Industrial foundation of algorithms and programs in the Higher vocational education 63
- E.YU. Bozukova, S.A. Oleinikova**  
Implementation of model of a specialized railway transport movements using anylogic environment 70
- A.K. Donskikh, V.F. Barabanov**  
Digital control of artificial intelligence using a behavior tree to calculate heuristics and design strategies of UTILITY AI SYSTEM 78



<b>M.N. Zherlykina, T.V. Shchukina</b> Digital room air quality control system	83
<b>S.N. Kuznetsov, G.A. Kuznetsova</b> Digital reliability management gas equipment	90
<b>G.N. Martynenko, V.I. Lukyanenko, N.I. Gudakov , O.S. Maltseva</b> Digital management of the Gas consumption system of private consumers on the Basis of IT-technologies	95
<b>I.N. Filchakina, N.S. Filchakin</b> Experience in the Application of digital technology in the Textile industry	102
<b>A.N. Pustovgar, V.V. Volkov, O.B. Kukina, S.N. Zolotuchin</b> The Use of additive technologies in construction	107
<b>M.A. Belykh, D.A. Vdovin, A.M. Nuzhnyi, N.I. Grebennikova</b> Analysis of aspects of studying technologies of dot cloud processing	112
<b>I.A. Selischev, S.A. Oleinikova</b> A software for creating a schedule for servicing applications with resource constraints	121
<b>A.V. Nikolaychik , K.A. Grigoreva</b> Structure and features of the Modern digital electricpower system	128
<b>Y.A. Vorob'eva, E.E. Burak, A.N. Ishkov, A.A. Skorkin</b> Use of digital technologies in the Field of housing and communal services	137
<b>P.N. Levin, P.A. Dobrynin, O.A. Seredkin</b> Section of distribution networks using advertisers, in order to increase the Reliability of electric networks	143
<b><i>Information section</i></b>	
Rules of registration of articles in journal «Engineering Systems and Constructions»	147
Structure of editorial board of journal «Engineering Systems and Constructions»	150

## Цифровые технологии в научных исследованиях

УДК 004.89.032.26

С.Л. ПОДВАЛЬНЫЙ<sup>1</sup>, М.А. ЛИХОТИН<sup>2</sup>

### МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЧЕРЕЗ ЦИФРОВУЮ ОБРАБОТКУ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО СИГНАЛА ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*Воронежский государственный технический университет<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Воронеж*

В данной работе приводятся результаты и обсуждаются проблемы моделирования телекоммуникационного усилителя мощности. Инструментом исследования является математический аппарат искусственных нейронных сетей. В работе рассматриваются различные подходы обработки имеющейся целевой информации для настройки весовых коэффициентов модели. Представлена совместная работа группы нейронных сетей, основанная на кластеризации аналогового сигнала, которая работает по принципу адаптивной резонансной теории Гроссберга. Сформулированы проблемы при использовании такого подхода к моделированию исследуемого процесса.

S.L. PODVALNY<sup>1</sup>, M.A. LIKHOTIN<sup>2</sup>

### MODELING A POWER AMPLIFIER THROUGH DIGITAL PROCESSING OF A TELECOMMUNICATION SIGNAL USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

*Voronezh State Technical University<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

This paper presents the results and problems of modeling a telecommunication power amplifier. The research tool is the mathematical apparatus of artificial neural networks. The paper discusses various approaches to the processing of available target information to adjust the weight coefficients of the model. The joint work of a group of neural networks based on the clustering of an analog signal, which works on the principle of the adaptive resonant Grossberg theory, is presented. Problems are formulated when using this approach to modeling the process under study.

**Ключевые слова:** модель, обучение, ошибка, усилитель мощности, нейронная сеть.

**Keywords:** model, study, error, power amplifier, neural network.

#### Введение

В настоящее время применение нейронных сетей довольно обширно. Они широко распространены в медицине, экономике, технике и т.д., а также крупными и известными корпорациями и компаниями, такими как Google, Microsoft, Yandex и многими другими. Использование такого математического аппарата будет оставаться актуальным ещё довольно долго, ведь предел применения нейронных сетей очень разнообразен. Так и в представленной работе инструментом для исследования была выбрана именно такая математическая модель.

В данной работе задача состояла в следующем: пусть на выходе телекоммуникационного канала существуют усилитель мощности, и имеется два массива данных: один из которых подавался на вход в исследуемый объект, а другой был получен на его выходе. Формат этих двух наборов данных был представлен в комплексном виде. Необходимо построить нейронную сеть, которая при подаче эталонной последовательности комплексных чисел на её вход выдаст на своём выходе набор соответственных данных, отличающихся от эталонных на значение средней квадратической ошибки -40 дБ. Формула ниже применяется для расчёта ошибок при моделировании.

$$EVM = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=1}^N |e_i|^2}{\sum_{i=1}^N |x_i|^2} \right),$$

где  $x$  – выход эталонной последовательности;  $e$  – разница между полученной информацией и  $x$ ;  $N$  – размер рассматриваемой выборки, количество сигналов.

Изначально перед настройкой весовых коэффициентов целевой набор данных обрабатывают. Так как полученная информация представлена в комплексном виде, то её стоит разделить на мнимые и действительные части. И также следует масштабировать полученные наборы данных. В рамках данного исследования будет применяться одна из популярных функций активации - сигмоидальная, представленная на рис. 1. Т.к. область её определения в промежутке от 0 до 1, то необходимо привести все данные для обучения к этим значениям. Для определения качества нейросетевой модели следует выделить тестовую выборку из всего набора данных. Для обучения был выбран стандартный алгоритм: обратное распространение ошибки (sgdm), так как на практике он демонстрирует один из лучших результатов работы [1].

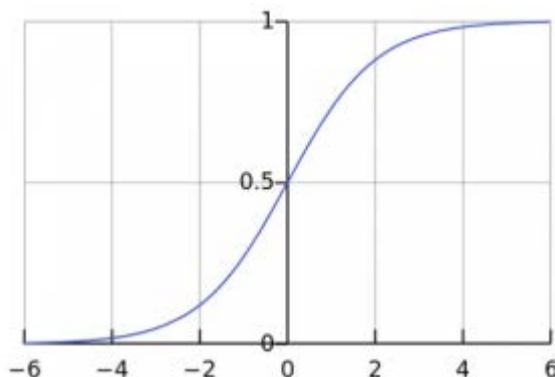


Рис. 1 – Сигмоидальная функция

### Экспериментальная часть

Подбирая оптимальные параметры для подстройки весовых коэффициентов модели, манипулируя скоростью обучения, архитектурой нейронной сети, объёмом подаваемых на вход данных, количеством эпох и т.д., было выявлено, что для обучения наиболее оптимальным будет применение двухслойной нейронной сети, где количество входных нейронов должно быть больше, чем на выходе. Алгоритмом обучения нейронной сети была обратная распространения ошибки, которая хорошо работает с методом ускорения обучения: методом импульса, который существенно увеличивает скорость схождения алгоритма.

Результатом работы такой сети на тестовой выборке данных была относительная ошибка в минус 24 дБ, что далеко ещё до требуемой точности.

Если детально исследовать обработанную информацию, построив график, то можно заметить, что наиболее зашумлённая часть данных находится в зоне низких значений

амплитуд сигнала, что является большой проблемой для нейронных сетей, которым очень сложно обобщать такое поведение. Пример обучающей выборки представлен на рис. 2.

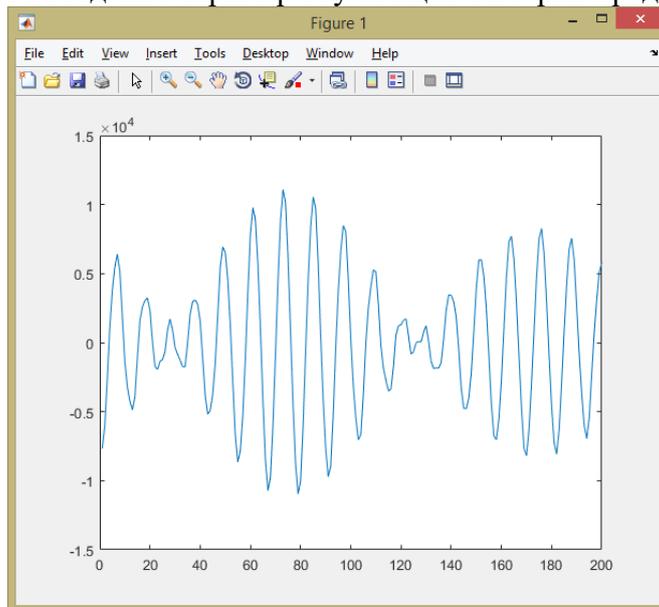


Рис. 2 - Пример обучающей выборки

Далее была идея в разделении входного набора данных на две категории: на значения высоких амплитуд сигнала и низких. Обучив модели соответствующим частям выборки, было получено, что нейронная сеть, подстраивающая свои весовые коэффициенты с высоким уровнем сигнала, показала на тестовом наборе данных более высокий результат, чем по всему набору. Но в значениях низких амплитуд модель ниже относительной ошибки в минус 12 дБ не смогла опуститься. Это связано как раз с шумовой составляющей рассматриваемого объекта исследования. При совместной работе этих двух нейронных сетей результирующая ошибка на тестовом наборе данных была даже хуже, чем при работе одной модели по всей выборке. Т.к. данные в модель подаются частями, то иногда сложно определить, какая именно нейронная сеть должна обработать очередную пачку данных, поскольку в ней может содержаться значения из обеих частей разбитой выборки. В связи с этим ошибка растёт.

### Применение адаптивной резонансной теории

Для минимизации относительной ошибки было принято решение попробовать ещё детальнее разбить набор данных на некоторое количество классов. Чтобы кластеризовать обучающую выборку, применялась адаптивная резонансная теория Гроссберга. Работа такой архитектуры сети заключается в разбиении аналогового сигнала по уровню схожести.

Стандартная адаптивная резонансная система представляет собой модель обучения без учителя. Как правило, она состоит из составленных из нейронов поля сравнения и поля распознавания, а также параметра бдительности и модуля сброса. На вход поля сравнения подается вектор чисел, для которого определяется соответствующий нейрон в поле распознавания, то есть тот, чьи веса больше всего похожи на входной вектор. Каждый нейрон поля распознавания тормозит другие нейроны из этого поля (сила воздействия пропорциональна степени соответствия) [2].

После классификации входа модуль сброса сравнивает степень соответствия при распознавании с параметром бдительности. В случае если порог преодолён, происходит обучение: веса победившего нейрона подгоняются к значениям входного вектора. Если же

порог не был преодолен, то победивший нейрон подавляется и запускается процедура поиска. В ходе этой процедуры распознающие нейроны отключаются один за другим с помощью функции сброса, пока порог бдительности не будет преодолен. На каждом цикле поиска выбирается наиболее активный распознающий нейрон и отключается, в случае если активация не достигает порога бдительности. Параметр бдительности имеет значительное влияние на систему: высокие значения создают высоко детализированную память (множество мелких категорий), тогда как небольшие значения создают более общие образы (меньшее количество более крупных категорий) [3]. На рис. 3 представлена блок-схема обучения АРТ сети.

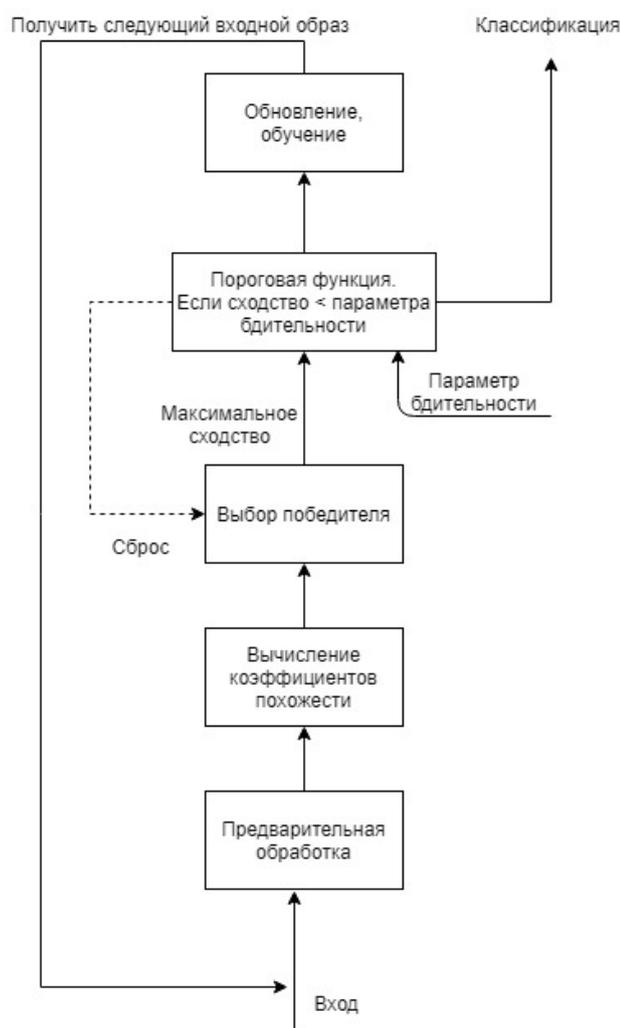


Рис. 3 – Блок-схема обучения АРТ сети

После того как выборка будет размечена по кластерам, обучение нейросетевых моделей будет происходить по соответствующим классам. Т.к. по результатам работы алгоритма адаптивной резонансной теории количество разбитых выборок может оказаться весьма значительным, то целесообразнее ограничить количество кластеров. На рис. 4 представлен пример одного такого класса сгруппированной выборки по уровню похожести.

Обучение таких нейронных сетей происходило значительно лучше: ошибка опускалась гораздо ниже, чем в рассмотренных ранее случаях. Но на тестировании результат оказался неудовлетворительным: относительная ошибка во многих моделях не достигла отрицательных значений. Это говорит о том, что нейросеть, обучаясь непосредственно

только однотипным шаблонам, переобучилась, в связи с этим её обобщающая способность довольно низкая, из-за чего во время тестирования количество ошибок накапливается, когда в сеть попадает немного отличающийся шаблон.

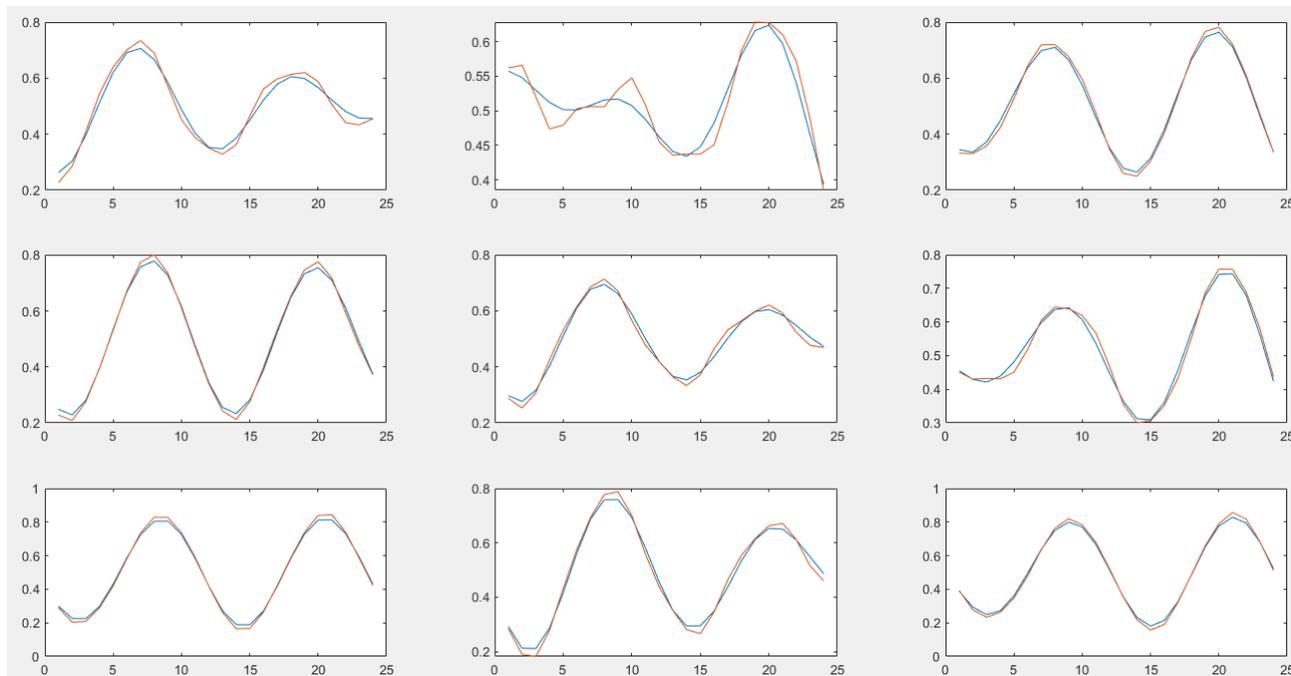


Рис. 4 – Пример кластеризованного сигнала

Если детально проанализировать работу сети адаптивной резонансной теории, то обнаруживаются существенные проблемы: если требуется запоминать сотни и тысячи реализаций одного и того же динамического процесса, то при малых значениях параметра сходства в режиме распознавания память нейронной сети не имеет достаточного объёма необходимой информации для принятия обоснованных решений. А при больших значениях этого параметра аналогичные изображения, отличающиеся небольшим числом второстепенных деталей, запоминаются как прототипы разных классов изображений [4].

### Выводы

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что нейронная сеть очень хорошо распознаёт динамику изменения сигнала, отлично аппроксимирует их, но из-за множественных зашумлённостей, которые мешают сети, её обобщающая способность падает, что ведёт к накоплению ошибки. Моделирование усилителя мощности по принципу «чёрного ящика» на данный момент не может дать требуемой точности работы. Необходимо учитывать промежуточные состояния системы или любую дополнительную информацию исследуемого процесса.

### Библиографический список

1. Быстро сходящиеся современные алгоритмы обучения нейронных сетей совсем не гарантируют достижения наилучшей обобщающей способности. - Электрон. дан. – Режим доступа : <http://neuropro.ru/memo346.shtml>.
2. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен; Перевод с англ. Ю. А. Зуева, В. А. Точенова; Под ред. А. И. Галушкина. - М. : Мир, 1992. – 236.

3. **Grossberg, S.** ART 2: Self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns / Carpenter, G.A., Grossberg, S. // Science Magazine. Optical Society of America. – 1987. № 26. - P. 4919-4930.

4. **Заковоротный А.Ю.** Новые архитектуры и алгоритмы обучения нейронных сетей адаптивной резонансной теории / А.Ю. Заковоротный // Сетевой журнал «Научный результат». Серия «Информационные технологии». - 2016. - Т.1. - №1. – С. 8.

### References

1. Bystro skhodyashchiesya sovremennye algoritmy obucheniya nejronnyh setej sovsem ne garantiruyut dostizheniya nailuchshej obobshchayushchej sposobnosti. - Elektron. dan. – Rezhim dostupa : <http://neuropro.ru/memo346.shtml>.

2. **Uossermen F.** Nejrokomp'yuternaya tekhnika: Teoriya i praktika / F. Uossermen; Perevod s angl. YU. A. Zueva, V. A. Tochenova; Pod red. A. I. Galushkina. - M. : Mir, 1992. – 236.

3. **Grossberg, S.** ART 2: Self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns / Carpenter, G.A., Grossberg, S. // Science Magazine. Optical Society of America. – 1987. № 26. - P. 4919-4930.

4. **Zakovorotnyj A.YU.** Novye arhitektury i algoritmy obucheniya nejronnyh setej adaptivnoj rezonansnoj teorii / A.YU. Zakovorotnyj // Setevoj zhurnal «Nauchnyj rezul'tat». Seriya «Informacionnye tekhnologii». - 2016. - Т.1. - №1. – С. 8.

УДК 004.8

**П.А. ГОЛОВИНСКИЙ<sup>1</sup>****ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ**

*Воронежский государственный технический университет<sup>1</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Рассматриваются перспективы искусственного интеллекта в связи с развитием цифровой экономики и проблема подготовки кадров в этой сфере. Дан обзор тенденций и ожидаемых результатов в области приложений искусственного интеллекта с горизонтом 10-15 лет. Делается вывод об основных направлениях создания универсального искусственного интеллекта. Обосновывается потребность в кадрах для работы в области искусственного интеллекта. Приводится информация о программе подготовки специалистов в области технологий искусственного интеллекта в Воронежском государственном техническом университете.

**P.A. GOLOVINSKI<sup>1</sup>****ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIGITAL ECONOMY**

*Voronezh State Technical University<sup>1</sup>  
Russia, Voronezh*

The prospects of artificial intelligence in connection with the development of the digital economy and the problem of training personnel in this area are considered. A review of trends and expected results in the field of artificial intelligence applications with a horizon of 10-15 years is given. The conclusion is drawn about the main directions of creating artificial general intellect. The need for personnel for work in the field of artificial intelligence is substantiated. Information is provided on the training program for specialists in the field of artificial intelligence technologies at Voronezh State Technical University.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, подготовка кадров.

**Keywords:** digital economy, artificial intelligence, machine learning, neural networks, personnel training.

**Введение**

Идея широкой компьютерной автоматизации процессов управления в государстве и экономике была высказана в СССР А.И. Китовым еще в 1959 году. Однако отсутствие необходимой технологической базы связи и вычислительной техники делали эту задачу в то время невыполнимой. Потребовалось длительное развитие компьютерной техники, создание Интернета и мобильных устройств, чтобы управление и принятие решений на основе цифровых технологий стало одним из магистральных направлений мирового технологического развития [1]. Современная цифровая экономика понимается как часть экономической продукции, получаемая за счет цифровых технологий с бизнес-моделью на основе цифровых товаров или услуг. В принятом Паспорте национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», рассчитанной до 2024 года, определены общие направления и целевые задачи развития в этом направлении. Задачи цифровизации в государственном секторе и частном бизнесе существенно отличаются. В государственном секторе основными целями деятельности являются создание инфраструктуры передачи, хранения и обработки данных, а так же использование ее для осуществления различных государственных функций управления, включая сбор налогов, здравоохранение и безопасность. Для частного бизнеса наибольший интерес представляет автоматизация и

оптимизация бизнес-процессов для повышения конкурентоспособности и прибыльности компаний.

Одним из ключевых направлений в развитии цифровой экономики становится использование технологий искусственного интеллекта, особенно актуальное при работе с большими данными (big data). Технологии искусственного интеллекта осуществляют обработку информации на основе алгоритмов, аналогичных процессам в коре головного мозга человека [2], путем самонастройки параметров компьютерной среды, обрабатывающих данные, в отличие от жесткого программирования, в котором весь ход обработки данных предписывается последовательностью фиксированных команд. Алгоритмы искусственного интеллекта могут быть реализованы на обычном компьютере, но при этом программируются не конкретные команды обработки данных, а среда и общий метод обработки. Более эффективным является создание специализированных нейропроцессоров. Характерным признаком систем искусственного интеллекта является наличие механизмов обучения и явлений самоорганизации.

### Машинное обучение и искусственные нейронные сети

Среди наиболее активно развиваемых методов искусственного интеллекта следует отметить машинное обучение (machine learning), представляющее собой класс методов работы с данными, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а его поиск на основе обучения по известным решениям множества сходных задач [3]. Для построения соответствующих алгоритмов используется математическая статистика, численные методы, методы оптимизации, теория вероятностей, теория графов, а также различные способы работы с данными в цифровой форме.

Ядро методов машинного обучения представляют искусственные нейронные сети, состоящие из отдельных нейроноподобных элементов, соединенных между собой [4]. Каждый искусственный нейрон имеет много входов и один выход. Входные сигналы  $x_j$  умножаются на некоторые коэффициенты  $w_j$  и суммируются:

$$u = \sum_j w_j x_j . \quad (1)$$

Далее от полученной суммы  $u$  вычисляется некоторая нелинейная передаточная функция  $f$ , чтобы получить сигнал на выходе

$$y = f(u) . \quad (2)$$

Чаще всего, функция  $f$  является монотонно растущей. Из теоремы Колмогорова-Арнольда следует, что любая непрерывная функция многих переменных может быть представлена с помощью многослойной нейронной сети с требуемой точностью [4]. Это служит теоретическим обоснованием широких возможностей применения нейронных сетей. Нахождение весовых коэффициентов нейронов по наборам данных представляет собой задачу обучения. Целью обучения является получение правильных откликов сети на выходе при самых различных наборах входных сигналов. Возможно обучение с учителем и без учителя. Обучение с учителем основано на том, что имеется достаточно обширный набор как входных, так и выходных данных, т.е. примеров для настройки параметров сети. Обучение без учителя обычно связано с задачами классификации, т.е. с разбиением данных на классы близких по свойствам элементов. Для обучения нейронных сетей разработаны различные методы, наиболее эффективным из которых является метод обратного распространения ошибки. Суть этого метода состоит в том, что разность между выходными значениями нейронов и истинными значениями может быть частично скомпенсирована за счет настройки параметров последнего слоя нейронов. Следующая поправка осуществляется за счет коррекции весов предшествующего слоя, и далее процесс продолжается послойно вглубь

сети. Такие методы получили название глубокого обучения [5]. Они позволяют эффективно обучать сложные многослойные нейронные сети.

При всем многообразии подходов, современные методы искусственного интеллекта позволяют решать всего три класса задач: классификации, распознавания образов и прогнозирования. Несмотря на ограниченность набора базовых подходов, их применение в различных комбинациях позволяет решать многочисленные практические проблемы. При использовании методов искусственного интеллекта применяются и другие алгоритмы, имеющие биологические прототипы, такие как генетические алгоритмы, модели роя частиц и ассоциативная память.

Большинство используемых в настоящее время алгоритмов искусственного интеллекта возникло более двадцати лет назад, но серьезный интерес к ним проявился только после создания необходимой технологической базы в виде Интернета, персональных компьютеров, мобильных устройств и суперкомпьютеров. Интернет представляет собой естественную среду для развития искусственного интеллекта, поскольку содержит огромное количество информации, нуждающейся в анализе и переработке. Увеличение объемов накопленных данных в государственном управлении, корпоративных и социальных сетях привело к задаче анализа больших данных, которая также не разрешима без использования методов искусственного интеллекта.

### **Создание прототипов универсального искусственного интеллекта**

Наряду с развитием и применением отдельных технологий искусственного интеллекта, в научном сообществе обсуждается возможность создания универсального искусственного интеллекта (Artificial general intelligence – GAI), способного рассуждать на человеческом уровне. Человеческий интеллект продолжает оставаться большой загадкой, и прогресс в его понимании многие исследователи связывают с возможностью воспроизведения интеллекта в искусственной форме. Такая система, кроме всего прочего, должна содержать собственные цели и критерии оценки внешних и внутренних процессов.

Создание подобной модели возможно, например, на основе подхода Д. Эдельмена [6]. Согласно его модели, основу обработки информации в человеческом мозге составляют вертикальные колонки нейронов, расположенные в коре головного мозга. Между колонками налажена глобальная связь [7], позволяющая осуществлять повторную обработку информации и ассоциативное мышление. Кроме того, важнейшую роль в управлении работой мозга играет система общих оценок, регулирующая переключение областей доминирующего возбуждения.

В моделировании интеллектуальных функций вертикальных колонок коры головного мозга достигнут большой прогресс, благодаря использованию рекуррентных сетей (рис. [4]). Одной из наилучших рекуррентных сетей является модель длинной краткосрочной памяти (LSTM) [8]. В ней на каждом шаге обработки последовательной цепочки информации происходит частичное стирание памяти, а затем происходит обработка сигнала с учетом новой запомненной информации и оставшегося содержимого памяти. Сети LSTM обладают большой предсказательной силой и используются, в частности, при создании систем автоматического перевода [9]. Глобальные динамические ассоциации могут воспроизводить, например, сети Хопфилда [4].

Что касается систем общей оценки, то они отсутствуют в архитектуре современных искусственных нейронных сетей. Их исследование непосредственно связано с проблемой эмоционального искусственного интеллекта, которая пока рассматривается в большей степени под углом распознавания человеческих эмоций и осуществления с учетом этого успешного контакта человека с машиной.

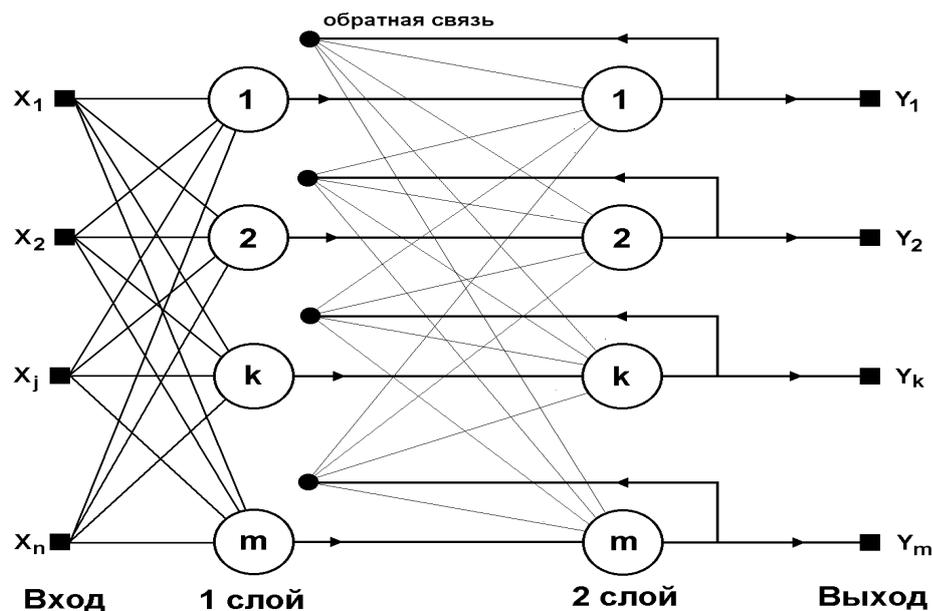


Рис. 1 – Рекуррентная сеть

В целом, теория и практика алгоритмов искусственного интеллекта находятся сейчас в стадии бурного развития. В то же время, фактическая реализация универсального искусственного интеллекта требует элементной базы и архитектуры, сопоставимой со строением человеческого мозга. Это предполагает создание компьютеров с размерами элементов в несколько нанометров и быстродействием  $\sim$  ПГц. Для создания процессоров нового поколения проводятся активные исследования в области нанофотоники и наноплазмоники. Соответствующие полностью оптические транзисторы с квантовым управлением (в парадигме не квантовых компьютеров), как ожидается, станут основой твердотельных процессоров нового поколения.

### Ближайшие результаты применения технологий искусственного интеллекта

В России действует национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, подразумевающая, в том числе, применение технологий искусственного интеллекта в цифровой экономике. Даже в относительно краткосрочной перспективе 10-15 лет трудно дать точный прогноз будущих результатов. В то же время, часть важных прикладных задач уже решена или близка к своему решению. Их полезно перечислить с тем, чтобы уточнить, где можно ожидать наиболее скорую коммерческую и социальную отдачу от инноваций искусственного интеллекта.

Близка к решению древняя задача Вавилона, т.е. многоязычный качественный устный и письменный перевод. Это решит проблему коммуникаций людей разных стран, разных культур и разных языков. Быстро развиваются методы диагностики в медицине и технике. Они позволят выявлять распространенные болезни человека и животных на ранних стадиях, повышая возможности успешного лечения. В технических системах системы диагностики с использованием искусственного интеллекта повысят сроки безопасной эксплуатации и снизят риски аварий, включая техногенные катастрофы, а также дадут инструмент управления при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Следует ожидать значительных успехов в интерактивном проектировании, включая компьютерное программирование. Беспилотный транспорт с управлением системами искусственного интеллекта уже проходит

апробацию, совершенствуется и близок к стадии массового применения. В первую очередь, следует ожидать его широкого использования в грузовом транспорте всех видов, военно-технических решениях и применения в общественном и личном транспорте. Получат дальнейшее развитие интерактивные системы поиска сложной информации. Это будет способствовать ускорению и повышению эффективности научных исследований и технологических разработок. Получат широкое распространение умные торговые автоматы, магазины и банки, в которых планируемое решение можно будет обсудить с системой искусственного интеллекта и получить необходимую информацию и рекомендации. Станут доступны удешевленные системы умного дома и домашние роботы. Технологии искусственного интеллекта изменят протезирование конечностей, слуха и зрения.

### **Кадры для технологий искусственного интеллекта**

Технологии искусственного интеллекта генерируют глобальный вызов для стран и экономик, включая Россию. Проблема практического развития искусственного интеллекта в России имеет несколько измерений. Так, Сбербанк, Яндекс, Mail.ru Group, Газпром нефть, МТС и Российский фонд прямых инвестиций (РФПИ) создали альянс для развития ИИ в России. Это говорит об осознанном интересе бизнеса к искусственному интеллекту, поскольку здесь можно ожидать кратной прибыли от инвестиций. Эта область является высоко конкурентной и инновационной, но указанные компании не слишком опасаются таких рисков. Мы видим многообещающие участие бизнеса в технологическом развитии страны.

Стратегическая программа государства в области искусственного интеллекта и заложенное значительное финансирование также представляют собой неплохую основу для успеха данного направления. В то же время, обращает на себя внимание отсутствие РАН в планировании и реализации программы развития искусственного интеллекта в России, отсутствие головного института РАН мирового уровня по данной проблематике, а заявленные в программе вузы имеют довольно слабое кадровое оснащение. В стране нет сложившегося сообщества разработчиков технологий искусственного интеллекта и серьезных профильных научных журналов. Наличие хороших программистов позволяет несколько смягчить остроту проблемы, и в достаточно короткие сроки осваивать известные алгоритмы, конвертируя их в те или иные приложения. Грядущая коммерциализация искусственного интеллекта рано или поздно закроет многие сейчас свободно распространяемые платформы искусственного интеллекта и ограничит возможности свободного обмена информацией в этой области. Наличие собственной научной и технологической школы искусственного интеллекта может стать в этой ситуации весомым конкурентным преимуществом.

### **Выводы**

В условиях острого дефицита кадров и ограниченного времени для их воспроизводства, целесообразно сосредоточить усилия на подготовке кадров для технологий искусственного интеллекта в ведущих университетах России. Наиболее быструю отдачу может принести магистратура, в которой на основе базового компьютерного или физико-математического образования, полученного в бакалавриате, студент сможет овладеть ключевыми компетенциями в области искусственного интеллекта. С этой целью в Воронежском государственном техническом университете запускается программа магистратуры по профилю «Технологии искусственного интеллекта». Обучение обеспечит освоение ключевых алгоритмов машинного и глубокого обучения на языке Python с

использованием современных платформ Google Colaboratory, TensorFlow, Micosoft MNTK, Caffe, Theano и PyTorch.

### Библиографический список

1. **Bukht R.** Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy [Text] / Bukht R., Heeks R. // Development Informatics Working Paper no. 68. – 2017.
2. **Floreano D.** Bio-Inspired Artificial Intelligence [Text] / Floreano D., Mattiussi C. – Cambridge: The MIT Press, 2008. – 659 p.
3. **Murphy K.P.** Machine Learning [Text] / Murphy K.P. – Cambridge: The MIT Press, 2012. – 1067 p.
4. **Haykin S.** Neural Networks and Learning Machines [Text] / Haykin S. – NY: Pearson Prentice Hall, 2009. - 906 p.
5. **Goodfellow I.** Deep Learning [Text] / Goodfellow I. [et al.] – Cambridge: The MIT Press, 2016. – 781 p.
6. **Edelman G. M.** Wider than the Sky [Text] / Edelman G. M. – New Haven: Yale Nota Bene, – 2005. – 200 p.
7. **Wedeen Van J.** The geometric structure of the brain fiber pathways [Text] / Wedeen Van J. [et al.] // Science. – 2012. – V. 335(6076). – P. 1628–1634.
8. **Hochreiter S.** Long short-term memory [Text] / Hochreiter S., Schmidhuber J. / Neural Computation. – 1997. – Vol. 9( 8). – P. 1735–1780.
9. **Wu Y.** Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation [Text] / Wu Y. [et al.] – 2016. – ArXiv, abs/1609.08144.

### References

1. **Bukht R.** Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy [Text] / Bukht R., Heeks R. // Development Informatics Working Paper no. 68. – 2017.
  2. **Floreano D.** Bio-Inspired Artificial Intelligence [Text] / Floreano D., Mattiussi C. – Cambridge: The MIT Press, 2008. – 659 p.
  3. **Murphy K.P.** Machine Learning [Text] / Murphy K.P. – Cambridge: The MIT Press, 2012. – 1067 p.
  4. **Haykin S.** Neural Networks and Learning Machines [Text] / Haykin S. – NY: Pearson Prentice Hall, 2009. - 906 p.
  5. **Goodfellow I.** Deep Learning [Text] / Goodfellow I. [et al.] – Cambridge: The MIT Press, 2016. – 781 p.
  6. **Edelman G. M.** Wider than the Sky [Text] / Edelman G. M. – New Haven: Yale Nota Bene, – 2005. – 200 p.
  7. **Wedeen Van J.** The geometric structure of the brain fiber pathways [Text] / Wedeen Van J. [et al.] // Science. – 2012. – V. 335. – No. 6076. – P. 1628–1634.
  8. **Hochreiter S.** Long short-term memory [Text] / Hochreiter S., Schmidhuber J. / Neural Computation. – 1997. – Vol. 9( 8). – P. 1735–1780.
- Wu Y.** Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation [Text] / Wu Y. [et al.] – 2016. – ArXiv, abs/1609.08144.

УДК 004.9

А.Н. ВОЛКОВ<sup>1</sup>, А.С. КОПЫРИН<sup>2</sup>, Н.В. КОНДРАТЬЕВА<sup>3</sup>, С.С. ВАЛЕЕВ<sup>4</sup>**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ***Сочинский государственный университет<sup>1,2,3,4</sup>  
Россия, г. Сочи*

Рассматривается задача построения информационной системы экологического мониторинга рекреационной зоны, в которой используются данные дистанционного зондирования земли, аэрофотосъемки, съемки с беспилотных летательных аппаратов, внутреннего мониторинга состояния объектов рекреационной зоны, а также статистические данные.

A.N. VOLKOV<sup>1</sup>, A.S. KOPYRIN<sup>2</sup>, N.V. KONDRATYEVA<sup>3</sup>, S.S. VALEEV<sup>4</sup>**ECOLOGICAL MONITORING INFORMATION SYSTEM IN RECREATIONAL ZONES***Sochi State University<sup>1,2,3,4</sup>  
Russia, Sochi*

The principles of building an information system for environmental monitoring of the recreational zone, which uses data from remote sensing of the earth, aerial photography, surveys from unmanned aerial vehicles, internal monitoring of the state of the objects of the recreational zone, as well as statistical data, are considered.

**Ключевые слова:** рекреационная зона, энергопотребление, качество воздуха, большие данные  
**Keywords:** recreational areas, energy consumption, air quality, big data

**Введение**

В зависимости от сезона экологическое состояние рекреационных зон существенно меняется. В климатических условиях, в которых находятся морские рекреационные зоны, тепловые выбросы и выбросы вредных веществ транспортными системами в летний сезон значительно выше, чем в зимний сезон. Одной из экологических проблем рекреационных зон является возникновение пиковых нагрузок на экологическое состояние окружающей среды, связанное с сезонным повышением и понижением температуры воздуха [1-5]. В некоторых случаях это приводит к сбоям в системах энергоснабжения и принудительному введению графиков подачи электроэнергии. Эти обстоятельства влияют на уровень предоставляемых рекреационных услуг, а также экологическое состояние курортной зоны. Бережливое отношение к экологическому состоянию и снижение вредных выбросов различной природы является чрезвычайно актуальной научной и практической задачей.

На рис. 1 представлена карта выбросов вредных веществ транспортными системами в курортных зонах Испании в зимний период, показаны зоны повышенной концентрации вредных веществ на побережье  $Z_1$  и  $Z_2$ . Определение площади этих зон позволяет качественно оценить уровень загрязнения на основе экспертных оценок. Как следует из рис. 2, площадь зон с повышенным уровнем вредных веществ в высокий сезон значительно больше, чем в низкий сезон. Это обусловлено несколькими причинами, среди которых климатические условия рассматриваемого рекреационного региона и увеличение спроса на услуги в определенные периоды года. Из этого можно сделать вывод, что необходимо учитывать динамику экологического состояния и возможные потери на отопление и охлаждение воздуха в помещениях с учетом зональных климатических условий рекреационной зоны.

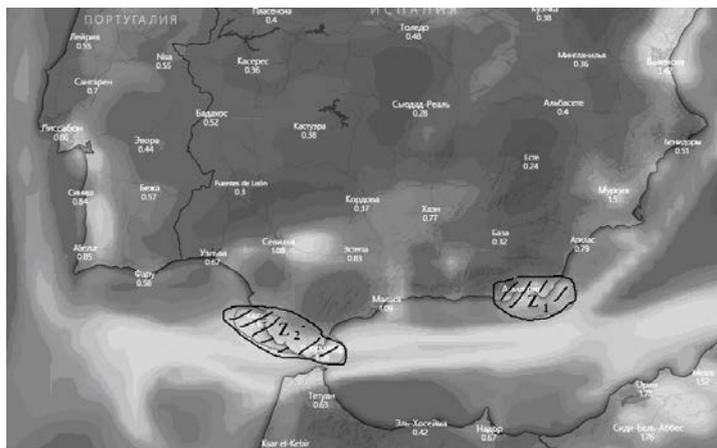


Рис. 1 - Карта распределения вредных выбросов в рекреационных зонах побережья Испании в зимний период

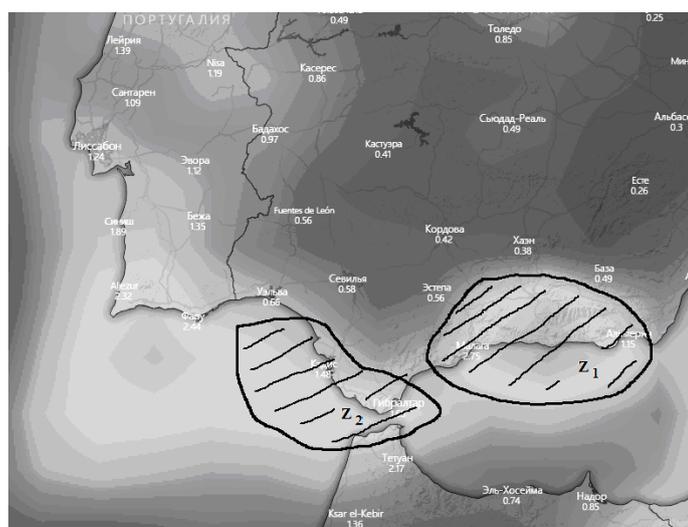


Рис. 2 - Карта распределения вредных выбросов в рекреационных зонах побережья Испании в летний период

Эффективность решения задачи повышения энергоэффективности при отоплении и охлаждении может быть достигнута с использованием современных технологий и методов. Среди них реконструкция существующего строительного фонда, сети централизованного теплоснабжения и внедрение систем охлаждения нового поколения. Следует отметить, что особенностью рекреационных зон морских побережий является наличие в общем фонде объектов рекреационной инфраструктуры множества небольших частных гостиниц с ограниченными возможностями применения инновационных энергосберегающих технологий. Другой особенностью рекреационных зон является специфичность транспортной инфраструктуры, которая перегружается в пиковые сезоны, что приводит к образованию пробок и увеличению выбросов вредных веществ. Концентрация выбросов значительно зависит от розы ветров, а также от времени суток и времени года. Таким образом, следует отметить, что в летний сезон требуются дополнительные активные меры по контролю вредных выбросов транспортными средствами.

### Задача анализа объема вредных выбросов

Потребление энергии для нужд отопления и охлаждения можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 S_H &= \sum_m \oint_H xdy, S_H \leq S_H^S \\
 S_C &= \sum_n \oint_C xdy, S_C \leq S_C^S \\
 S_O &= \sum_k \oint_O xdy, S_O \leq S_O^S \\
 R &= S_H + S_C + S_O
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $R$  - общий уровень потребления различных видов энергии;  $S_H$  - энергопотребление на отопление;  $S_C$  - потребление энергии на нужды охлаждения;  $S_O$  - потребление энергии для других нужд.

Объем выбросов характеризуется площадью и концентрацией вредных веществ. Предполагается, что сбор данных, выполняемый стационарными системами измерения, позволяют получить среднюю величину с учетом сезона.

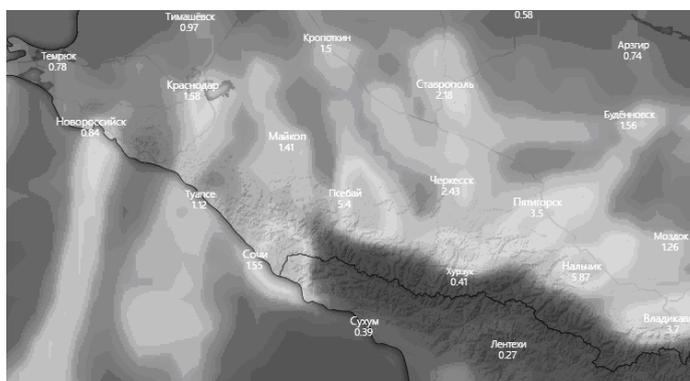


Рис. 3 - Карта распределения вредных выбросов

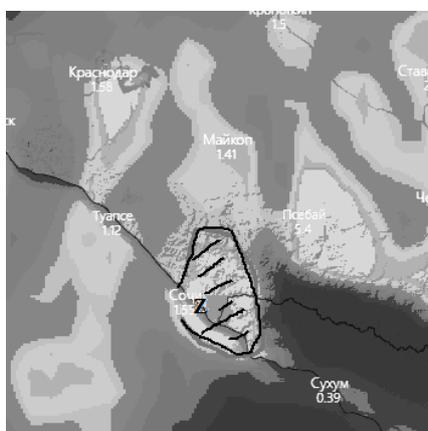


Рис. 4 - Концентрация вредных выбросов в высокий сезон

На рис. 3 представлена карта выбросов вредных веществ в высокий сезон. Для оценки допустимой концентрации вредных выбросов используются стационарные системы замера качества воздуха. Площадь  $Z$  и объемные расходы выбросов и, следовательно, создаваемые ими концентрации определяются экспертами с учетом имеющихся данных (рис. 4). В совокупности тепловые выбросы в окружающую среду и выбросы вредных веществ транспортными системами приводят к значительному ухудшению экологического состояния курортной зоны. Для анализа и составления эффективного прогноза необходимо активное использование систем сбора и обработки большого объема данных.

Для решения рассматриваемой задачи предлагается использование многоуровневой системы сбора информации об экологических характеристиках рекреационной зоны. В данной системе сбора и обработки данных концентрируется информация, получаемая на основе анализа спутниковых снимков, используются результаты аэрофотосъемки, данные внутреннего мониторинга теплового состояния объектов инфраструктур, а также уровня концентрации вредных веществ в курортной зоне в различное время суток и время года.

Для решения задач обработки разнородной информации большого объема возлагаются определенные надежды на их решение с помощью технологий больших данных. Это связано с успешной практической разработкой новых технологий передачи данных, внедрением систем управления данными на базе технологий NoSQL, а также успешным внедрением распределенной обработки данных на основе облачных вычислений.

В рамках использования технологий больших данных перспективным является применение алгоритмов определения потерь энергии и уровня загрязнений на основе результатов анализа изображений и статистических результатов моделирования экологической обстановки. В связи с этим разработка системы сбора данных о потреблении энергии может обеспечить эффективность процедуры разработки плана по генерации тепловой энергии для нужд отопления и охлаждения, и оптимальных планов загрузки транспортных артерий региона с учетом розы ветров и климатических условий.

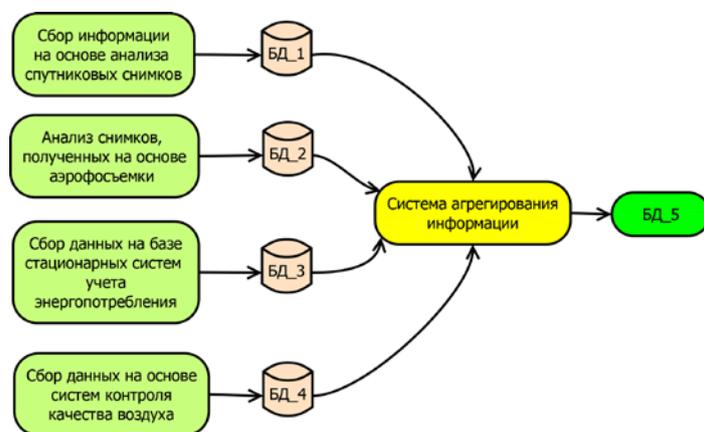


Рис. 5 - Обобщенная схема трехуровневой системы сбора данных результатов мониторинга

На рис. 5 представлена обобщенная архитектура трехуровневой системы сбора данных мониторинга потребления энергии, используемой при отоплении, охлаждении объектов рекреационной зоны в различных климатических условиях и сбора данных о качестве воздуха. Особенностью организации вычислительных процессов и хранения данных в рассматриваемой системе является необходимость обработки данных о тепловом состоянии курортной зоны, тепловом состоянии объектов курортной зоны и внутреннем тепловом состоянии объектов, представленных в различных форматах. Сложность решения данной задачи обусловлена необходимостью достоверной локализации объектов и привязки всей доступной информации к этим объектам.

Система агрегирования данных (рис. 5) включает в себя подсистемы обработки изображений, определения уровня теплового состояния объектов, локализации объектов. Агрегированная информация размещается в базе данных БД\_5.

Таким образом, рассматриваемая проблема связана, в первую очередь, с организацией сбора информации о тепловом состоянии объектов курортной зоны и состоянии качества воздуха. Сложность решения рассматриваемой задачи обусловлена необходимостью хранения разнородной информации и необходимостью решения задачи локализации объектов курортной зоны, определения тепловых потерь в разных климатических условиях с

учетом особенностей использования энергии на различные нужды.

### Выводы

Рассматривается проблема, связанная с организацией сбора информации об экологическом состоянии курортной зоны. Сложность решения обусловлена необходимостью организации хранения разнородной информации и решения проблемы локализации объектов курортной зоны, определения тепловых потерь в различных климатических условиях с учетом особенностей использования энергоресурсов, а также проблемы анализа состояния качества воздуха в условиях динамики качественного состояния окружающей среды. Обсуждается многоуровневая система сбора данных, использующая данные дистанционного зондирования Земли, аэрофотосъемки и съемки с беспилотных летательных аппаратов, а также данные внутреннего мониторинга как теплового состояния объектов в зоне отдыха, так и качества воздуха.

### Библиографический список

1. **Видищева Е.В.**, Дрейзис Ю.И., Копырин А.С. Анализ теоретических подходов к оценке устойчивости развития курортных регионов (территорий) [Текст] // Вестник академии знаний. – 2019. – № 4 (33). – С. 79-86.
2. **Volkov A.N.**, Leonova A.N., Karpanina E.N., Gura D.A. Energy performance and energy saving of life-support systems in educational institution [Text] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – № 28. – P. 931-944.
3. **Kopyrin A.** Simulation modelling of the municipal sanatorium-tourist branch [Text] // В сборнике: MATEC Web of Conferences, Ser. "International Science Conference SPbWOSCE-2017 "Business Technologies for Sustainable Urban Development". – 2018. – P. 01030.
4. **Kondratyeva N.V.**, Valeev S.S. Simulation of the life cycle of a complex technical object within the concept of Big Data // CEUR Proceedings of 3rd Russian Conference Mathematical Modeling and Information Technologies. – 2016. – P. 216-223.
5. Volkov A., Kopyrin A., Kondratyeva N., Valeev S. Multilevel Data Acquisition System of Energy Losses in Recreation Areas [Text] // 2019 Twelfth International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD), Moscow, Russia. – 2019. – P. 1-4.

### References

1. **Vidishcheva Ye.V.**, Dreyzis Yu.I., Kopyrin A.S. Analiz teoreticheskikh podkhodov k otsenke ustoychivosti razvitiya kurortnykh regionov (territoriy) [Tekst] // Vestnik akademii znaniy. – 2019. – № 4 (33). – S. 79-86.
  2. **Volkov A.N.**, Leonova A.N., Karpanina E.N., Gura D.A. Energy performance and energy saving of life-support systems in educational institution [Text] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – № 28. – P. 931-944.
  3. **Kopyrin A.** Simulation modelling of the municipal sanatorium-tourist branch [Text] // MATEC Web of Conferences, Ser. "International Science Conference SPbWOSCE-2017 "Business Technologies for Sustainable Urban Development". – 2018. – P. 01030.
  4. **Kondratyeva N.V.**, Valeev S.S. Simulation of the life cycle of a complex technical object within the concept of Big Data // CEUR Proceedings of 3rd Russian Conference Mathematical Modeling and Information Technologies. – 2016. – P. 216-223.
- Volkov A.**, Kopyrin A., Kondratyeva N., Valeev S. Multilevel Data Acquisition System of Energy Losses in Recreation Areas [Text] // 2019 Twelfth International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD), Moscow, Russia. – 2019. – P. 1-4.

УДК (658.2)

**В.В. ВОЛКОВ<sup>1</sup>, В.Н. МЕЛЬКУМОВ<sup>2</sup>, О.Б. КУКИНА<sup>3</sup>****ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ  
СТРОИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2,3</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Быстрое развитие цифровых технологий привело к появлению новых требований к различным отраслям экономики. Одним из драйверов развития является строительство, которое должно переконфигурироваться на всех этапах под новые требования. Эти этапы должны включать научную и образовательные сферы.

**V.V. VOLKOV<sup>1</sup>, V.N. MEL'KUVOV<sup>2</sup>, O.B. KUKINA<sup>3</sup>****PROMISING DIGITAL TECHNOLOGIES AT THE ENTERPRISES OF BUILDING  
CLUSTER***Voronezh state technical university<sup>1,2,3</sup>  
Russia, Voronezh*

The rapid development of digital technologies has led to new requirements for various sectors of the economy. One of the drivers of development is construction, which must be reconfigured at all stages to meet new requirements. These stages should include scientific and educational areas.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, сквозное проектирование, технологии умного производства.  
**Keywords:** digital technology, smart design, smart manufacturing.

**Введение**

Быстрое развитие вычислительных систем преобразовало окружающий мир человека, появились малогабаритные вычислительные комплексы, цифровые технологии управления и хранения данными, “облачные” вычисления и виртуальные пространства. Экономики мира отреагировали на появившиеся возможности переформатирования стандартных решений, основанных на классических технологиях. Это касается финансового сектора, обрабатывающей промышленности, военного применения и строительного комплекса. В этих динамически изменяющихся условиях правительство РФ выработало стратегию: осуществление цифровой трансформация государственной экономики и создание сквозных цифровых технологий внутри государства.

Наиболее распространенное определение цифровой технологии трактуется как дискретная система, которая базируется на способах кодирования и трансляции информационных данных, позволяющих решать разнообразные задачи за относительно короткие отрезки времени. Очевидно, что данное определение не полностью раскрывает созданный потенциал технологического роста.

Ключевая цель проекта – обеспечение технологической независимости государства, возможности коммерциализации отечественных исследований и разработок, а также ускорение технологического развития российских компаний и обеспечение конкурентоспособности разрабатываемых ими продуктов и решений на глобальном рынке.

Оператором мер поддержки данного направления выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. Средства выделяются российским организациям в виде субсидий для возмещения части затрат на разработку цифровых

платформ и программных продуктов в целях создания и (или) развития производства высокотехнологичной промышленной продукции.

Цифровые технологии, направленные на развитие “цифровой экономики” РФ [1,2]:

1. Технологии виртуальной и дополненной реальностей.
2. Нейротехнологии и искусственный интеллект.
3. Квантовые технологии.
4. Новые производственные технологии.
5. Компоненты робототехники и сенсорики.
6. Системы распределенного реестра
7. Технологии беспроводной связи.

Это обеспечивается соответствием комплексного сквозного проекта целям и задачам подпрограммы «Содействие проведению научных исследований и опытных разработок в гражданских отраслях промышленности» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» [1-3].

Обеспечение соответствия мировому уровню технических характеристик, создаваемых технологий цифровых платформ и программных продуктов. Корреляция новизны результатов интеллектуальной деятельности в сфере информационно-коммуникационных технологий относительно национального и мирового уровня. Выработка потребности в цифровых платформах и программных продуктах, обеспечивающих поддержку развития отраслей. Наличие у организации результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, связанных с субтехнологиями сквозных цифровых технологий. Генерация направлений внедрения и коммерческого использования, разработанных в рамках реализации комплексного проекта цифровых платформ и программных продуктов [1,4].

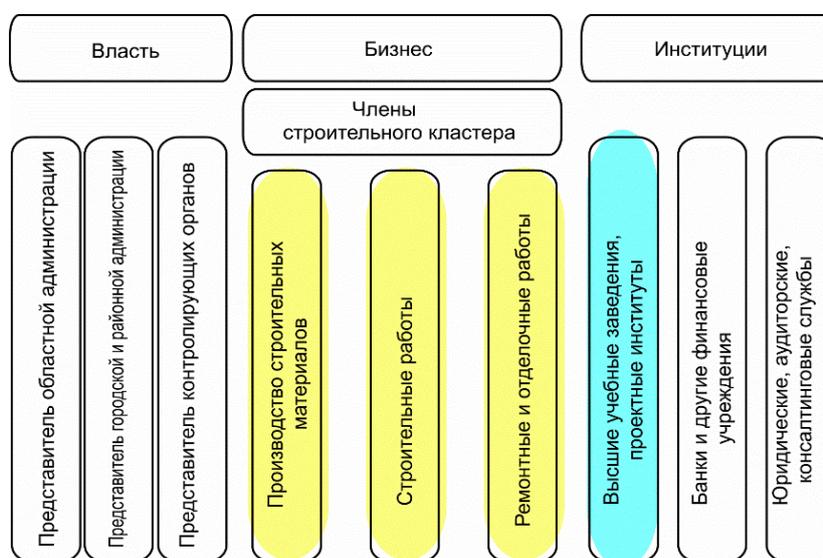


Рис. 1 – Примерная схема строительного кластера

На рис.1 показана примерная схема строительного кластера, на которой выделены бизнес-связанные элементы примерного строительного производства и институциональная часть для высших учебных заведений, проектных институтов и т.д. Очевидно, что связь между цифровыми технологиями и строительством осуществляется через научный и образовательный процесс, выраженный основными направлениями кафедр и лабораторий.

### Анализ использования сквозных цифровых технологий

Основной задачей является деятельность в области создания и внедрения любых типов цифровой продукции, связанных со строительным кластером, создания и развития информационных технологий и современных технических средств, обладающая кадровыми, материально-техническими, организационными и иными ресурсами, обеспечивающими высокий инновационный потенциал и лидирующие позиции [3].

В качестве одной из динамически развиваемой и ранее упомянутой сквозной «технологии виртуальной и дополненной реальностей» в соответствии с [5] можно отнести:

1. Средства разработки VR/AR-контента и технологии совершенствования пользовательского опыта (UX) со стороны разработчика.
2. Платформенные решения для пользователей: редакторы создания контента и его дистрибуции.
3. Технологии захвата движений в VR/AR и фотограмметрии.
4. Интерфейсы обратной связи и сенсоры для VR/AR.
5. Технологии графического вывода.
6. Технологии оптимизации передачи данных для VR/AR.

Приоритетными отраслями применения VR/AR-технологий и субтехнологий, важными для социального развития и экономического роста, являются:

- градостроительство;
- графика, конструирование и информационные технологии в промышленном дизайне;
- дизайн;
- жилищно-коммунальное хозяйство;
- землеустройство и геодезия;
- сохранение архитектурно-градостроительного наследия;
- металлические и деревянные конструкции;
- технология строительных материалов, изделий и конструкций;
- архитектурная графика;
- проектирование автомобильных дорог и мостов;
- проектирование зданий и сооружений;
- строительная механика;
- строительной техники и инженерной механики;
- строительные конструкции, основания и фундаменты;
- строительство и эксплуатация автомобильных дорог;
- практика архитектурного проектирования;
- теплогасоснабжения и нефтегазового дела;
- технология, организация строительства, экспертизы и управления недвижимостью;
- техносферная и пожарная безопасность;
- гидравлика, водоснабжение и водоотведение.

Повышение гибкости моделирования, инженерных расчетов, разработка нового программного обеспечения должны опираться на развитие «нейротехнологии и искусственного интеллекта» где в соответствии с [6] рассматриваются основные направления:

1. Компьютерное зрение.
2. Обработка естественного языка.
3. Распознавание и синтез речи.
4. Рекомендательные системы и интеллектуальные системы поддержки принятия решений.
5. Перспективные методы и технологии в ИИ.

Развитие указанных направлений позволит внедрить сквозные цифровые решения в отраслевые задачи:

- поддержки в принятии решений;
- автоматизации опасных видов работ;
- поддержки коммуникаций между людьми;
- проектирования автомобильных дорог и мостов;
- строительства и эксплуатации автомобильных дорог;
- проектирования зданий и сооружений;
- интеграции строительной механика;
- совершенствования строительной техники и инженерной механики;
- создания высоконадежных строительных конструкций, оснований и фундаментов;
- практики архитектурного проектирования;
- поддержки теплогазоснабжения и нефтегазового дела;
- создания высокоэффективных технологий и организации строительства;
- точной экспертизы и управления недвижимостью;
- повышения техносферной и пожарной безопасности.

Возрастающая потребность в вычислительных мощностях, обеспечения скорости расчетов и вычислений может быть обеспечена развитием квантовых технологий и согласно [7] к ним относятся следующие субтехнологии:

1. Квантовые вычисления.
2. Квантовые коммуникации.
3. Квантовые сенсоры и метрология.

Указанные выше субтехнологии можно развивать и в случае институционального использования с последующим внедрением по следующим направлениям:

- инноватика и строительная физика;
- землеустройства и геодезии;
- интеллектуальные технологии проектирования;
- проектирование автомобильных дорог и мостов;
- строительная механика;
- строительство и эксплуатация автомобильных дорог;
- теплогазоснабжение и нефтегазовое дело;
- технология строительных материалов, изделий и конструкций;
- техносферная и пожарная безопасность;
- химия и химическая технология материалов.

Реализация цифровой технологии завершается конечным продуктом, в виде набора решений, имеющих свойства новых производственных технологий описанных в [8] и выраженных в:

1. Цифровом проектировании, математическом моделировании и управлении жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design).
2. Технологии умного производства (Smart Manufacturing).
3. Манипуляторах и технологиях манипулирования.

Технология «цифровой двойник» (Digital Twin, DT, ЦД) является технологией-интегратором практически всех «сквозных» цифровых технологий и субтехнологий, выступает технологией-драйвером, обеспечивает технологические прорывы и позволяет высокотехнологичным компаниям переходить на новый уровень технологического и устойчивого развития на пути к промышленному лидерству на глобальных рынках.

Приоритетными направлениями применения данной технологии является:

- жилищно-коммунальное хозяйство;
- металлические и деревянные конструкции;

- технология строительных материалов, изделий и конструкций;
- проектирование автомобильных дорог и мостов;
- проектирование зданий и сооружений;
- строительная механика;
- строительной техники и инженерной механики;
- строительные конструкции, основания и фундаменты;
- строительство и эксплуатация автомобильных дорог;
- теплогасоснабжения и нефтегазового дела;
- техносферная и пожарная безопасность;
- гидравлика, водоснабжение и водоотведение;
- 3D-аддитивные технологии.

Обеспечение тактильного и сенсорно активного взаимодействия между элементами строительных технологических площадок поддерживается дорожной картой развития «сквозной» цифровой технологии «Компоненты робототехники и сенсорики» [9]:

1. Сенсоры и цифровые компоненты РТК для человеко-машинного взаимодействия.
2. Технологии сенсорно-моторной координации и пространственного позиционирования.
3. Сенсоры и обработка сенсорной информации.

Данная технология позволяет реализовать специфический набор «контактного взаимодействия» цифрового пространства и реальных объектов строительного кластера:

- мониторинг и контроль строительной площадки;
- демонтаж и разрушение строений и конструкций, уборка стройплощадок;
- земляные работы;
- перемещение и установка плоских материалов (сэндвич-панели, остекление);
- внутренняя и внешняя отделка/штукатурные работы/малярные работы;
- сборка;
- погрузка/разгрузка;
- нанесение клея и распыление;
- упаковка, укладка и паллетирование;
- маркировка;
- образовательные программы;
- обучение на физических симуляторах/конструкторах.

Цифровое пространство невозможно без обеспечения сохранности большого объема разнотипных данных с прозрачным доступом и повышенной защищенностью. Это осуществляется в рамках исполнения дорожной карты развития «сквозной» цифровой технологии «Системы распределенного реестра» [10], включающая:

1. Технологии обеспечения целостности и непротиворечивости данных (консенсус): отвечает за пропускную способность систем распределенного реестра, обеспечение неизменности данных, возможность обеспечения полной конфиденциальности транзакций, поддержку криптографии по ГОСТ, защищенность от киберугроз и захвата вычислительных мощностей сети. Технологии создания и исполнения децентрализованных приложений и смарт-контрактов.

2. Технологии создания и исполнения децентрализованных приложений и смарт-контрактов: отвечает за цифровизацию процессов, а также определяет возможности гибкой настройки прав и ролей различных пользователей.

3. Технологии организации и синхронизации данных: отвечает за время синхронизации и развертывание полных нод (блокчейна) требования к вычислительным мощностям для развертывания полных нод, а также количество полных нод, которые могут функционировать в рамках сети на базе технологии.

Гибкость управления, скорость передачи данных и управляющих последовательностей, обеспечение обратной связи цифровых потоков в реальном времени с

возможностью гибкого конфигурирования обеспечивается технологией беспроводной связи [11]:

1. WAN (Wide Area Network).
2. LPWAN (Low Power Wide Area Network).
3. WLAN (Wireless Local Area Network).
4. PAN (Personal Area Network).
5. Спутниковые технологии связи (СТС).

Каждая из субтехнологий отражает разнообразие возможностей доставки данных в цифровом виде от каждого участника цифрового потока к системам новых производственных технологий.

### Выводы

Таким образом, используя стратегию цифровой трансформации экономики и образования и сквозные технологии в строительном кластере, опирающуюся на сквозное цифровое проектирование строительных технологий и научного аудита, можно обеспечить технологию «цифрового двойника», интегрируя практически весь спектр цифровых технологий и субтехнологий, выступая технологией-драйвером. Это позволит высокотехнологичным компаниям переходить на новый уровень технологического и устойчивого развития на пути к промышленному лидерству.

### Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2019 г. № 529 «Об утверждении Правил предоставления субсидий российским организациям на возмещение части затрат на разработку цифровых платформ и программных продуктов в целях создания и (или) развития производства высокотехнологичной промышленной продукции». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72137228/>
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 3 мая 2019г. № 551 «О государственной поддержке программ деятельности лидирующих исследовательских центров, реализуемых российскими организациями в целях обеспечения разработки и реализации дорожных карт развития перспективных "сквозных" цифровых технологий». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72140582/>
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 3 мая 2019г. № 549 «О государственной поддержке компаний – лидеров по разработке продуктов, сервисов и платформенных решений на базе "сквозных" цифровых технологий». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72140586/>
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 августа 2019 № 1127 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 3 мая 2019 г. № 554». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72584436/>
5. Дорожная карта развития "сквозной" цифровой технологии "Технологии виртуальной и дополненной реальности". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6654/>
6. Дорожная карта развития "сквозной" цифровой технологии "Нейротехнологии и искусственный интеллект". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6658/>
7. Дорожная карта развития "сквозной" цифровой технологии "Квантовые технологии". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6650/>
8. Дорожная карта развития "сквозной" цифровой технологии "Новые производственные технологии". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6662/>
9. Дорожная карта развития "сквозной" цифровой технологии "Компоненты робототехники и сенсорики". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6666/>
10. Дорожная карта развития "сквозной" цифровой технологии "Системы распределенного реестра". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6670/>
11. Дорожная карта развития "сквозной" цифровой технологии "Технологии беспроводной связи". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6674/>

## References

1. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 30 aprelya 2019 g. № 529 «Ob utverzhdenii Pravil predostavleniya subsidij rossijskim organizacijam na vozmeshchenie chasti zatrat na razrabotku cifrovych platform i programmnyh produktov v celyah sozdaniya i (ili) razvitiya proizvodstva vysokotekhnologichnoj promyshlennoj produkcii». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72137228/>
2. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 3 maya 2019g. № 551 «O gosudarstvennoj podderzhke programm deyatel'nosti lideruyushchih issledovatel'skih centrov, realizuemych rossijskimi organizacijami v celyah obespecheniya razrabotki i realizacii dorozhnyh kart razvitiya perspektivnyh "skvozhnyh" cifrovych tekhnologij».
3. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72140582/>
4. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 3 maya 2019g. № 549 «O gosudarstvennoj podderzhke kompanij – liderov po razrabotke produktov, servisov i platformennyh reshenij na baze "skvozhnyh" cifrovych tekhnologij».
5. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72140586/>
6. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 31 avgusta 2019 № 1127 «O vnesenii izmenenij v postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 3 maya 2019 g. № 554». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72584436/>
7. Dorozhnaya karta razvitiya "skvozhnoj" cifrovoj tekhnologii "Tekhnologii virtual'noj i dopolnennoj real'nosti". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6654/>
8. Dorozhnaya karta razvitiya "skvozhnoj" cifrovoj tekhnologii "Nejrotekhnologii i iskusstvennyj intellekt". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6658/>
9. Dorozhnaya karta razvitiya "skvozhnoj" cifrovoj tekhnologii "Kvantovye tekhnologii". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6650/>
10. Dorozhnaya karta razvitiya "skvozhnoj" cifrovoj tekhnologii "Novye proizvodstvennye tekhnologii". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6662/>
11. Dorozhnaya karta razvitiya "skvozhnoj" cifrovoj tekhnologii "Komponenty robototekhniki i sensorika". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6666/>
12. Dorozhnaya karta razvitiya "skvozhnoj" cifrovoj tekhnologii "Sistemy raspredelenogo reestra". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6670/>  
Dorozhnaya karta razvitiya "skvozhnoj" cifrovoj tekhnologii "Tekhnologii besprovodnoj svyazi". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6674/>

УДК 622.692.1

С.Н. КУЗНЕЦОВ<sup>1</sup>, Г.А. КУЗНЕЦОВА<sup>2</sup>**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПИЛОТНОГО РЕГУЛЯТОРА***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Одним из важных компонентов газового оборудования является пилотный регулятор, подключаемый к распределительному блоку. Регулятор предназначен для автоматического сброса управляющего газа из системы управления при снижении или повышении давления природного газа по сравнению с заданными значениями.

Используя предположение, что движение газа в импульсной трубке, передающей импульс давления природного газа мембране и движение антиадгезионного силиконового масла в импульсной трубке, передающей давление антиадгезионного силиконового масла исполнительному механизму, является одномерным и нестационарным, т.е. все местные скорости считаются равными средней скорости и зависят от времени, разработана математическая модель пилотного регулятора, учитывающая наличие пульсаций широкого спектра в потоке природного газа.

С использованием математической модели пилотного регулятора определены его амплитудная и фазовая частотные характеристики.

Амплитудная и фазовая частотные характеристики позволяют выбрать оптимальные конструктивные параметры пилотного регулятора в зависимости от характеристик потока природного газа.

S.N. KUZNETSOV<sup>1</sup>, G.A. KUZNETSOVA<sup>2</sup>**MATHEMATICAL MODELING OF THE PILOT REGULATOR***Voronezh state technical university<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

One of the important components of gas equipment is a pilot regulator connected to the distribution block. To reduce the pressure or increase the pressure of natural gas compared to the set values.

Using the assumption that the gas movement in the pulse tube, which transfers the pressure pulse of natural gas to the membrane and the movement of silicone adhesive oil in the pulse tube, which transfers the pressure of silicone oil to the actuator, is one-dimensional and unsteady, i.e. all local speeds are considered equal to the average speed and depend on time, a mathematical model of the pilot controller is developed, taking into account the presence of pulsations of a wide spectrum in the flow of natural gas.

Using the mathematical model of the pilot controller, its amplitude and phase frequency characteristics are determined.

The amplitude and phase frequency characteristics make it possible to select the optimal design parameters of the pilot controller depending on the characteristics of the natural gas flow.

**Ключевые слова:**газовое оборудование, поток газа, пульсации газового потока, математическое моделирование.

**Keywords:**gas equipment, gas flow, gas flow pulsations, mathematical modeling.

**Введение**

Одним из важных компонентов газового оборудования является пилотный регулятор, подключаемый к распределительному блоку. Регулятор предназначен для автоматического

сброса управляющего газа из системы управления при снижении или повышении давления природного газа по сравнению с заданными значениями.

Поток природного газа сопровождается пульсациями широкого спектра. Пилотный регулятор может работать с отклонениями, если в его конструкции не учтены эти факторы. Поэтому необходимо рассчитать параметры работы пилотного регулятора до выполнения конструкторских работ [1, 2, 4, 5].

### Математическая модель

Пневмогидравлическая система пилотного регулятора представляет собой последовательно соединенные:

- импульсную трубку, передающую импульс давления природного газа мембране;
- мембрану, передающую импульс давления газа антиадгезионному силиконовому маслу;
- импульсную трубку, передающую давление антиадгезионного силиконового масла исполнительному механизму;
- направляющий элемент, состоящий из штока, на который воздействует давление антиадгезионного силиконового масла с одной стороны, и пружины - с другой стороны.

В устройстве используется антиадгезионное силиконовое масло, имеющее кинематическую вязкость  $30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Это позволяет предположить, что при колебаниях антиадгезионного силиконового масла в трубке сохраняется ламинарный режим течения, можем применить соответствующий этим условиям импеданс системы [1, 3]:

$$\tilde{Z}_{PG}(j\omega) = \frac{P_1(j\omega) - P_2(j\omega)}{G(j\omega)}, \quad (1)$$

где  $P_1(j\omega)$  - давление на входе в пилотный регулятор;  $P_2(j\omega)$  - давление на шток пилотного регулятора;  $G(j\omega)$  - расход антиадгезионного силиконового масла;  $\omega$  - частота колебаний потока природного газа.

Давление на шток пилотного регулятора составит:

$$P_2(j\omega) = P_1(j\omega) - \tilde{Z}_{PG}(j\omega)G(j\omega). \quad (2)$$

Уравнение движения штока пилотного регулятора:

$$m_{\text{ш}}x'' + kx = FP_2, \quad (3)$$

где  $m_{\text{ш}}$  - масса штока пилотного регулятора;  $F$  - площадь штока;  $k$  - жесткость пружины пилотного регулятора.

Решая уравнение (3), получим:

$$\left(\frac{k}{F} - \frac{m_{\text{ш}}\omega^2}{F}\right)x(j\omega) = P_2(j\omega). \quad (4)$$

Расход антиадгезионного силиконового масла в трубке при движении штока пилотного регулятора составит:

$$G = Fx'. \quad (5)$$

Тогда:

$$G(j\omega) = j\omega Fx(j\omega). \quad (6)$$

Преобразуя, получим:

$$\left( \frac{k}{F} - \frac{m_{\text{ш}}\omega^2}{F} + j\omega F \left( \hat{Z}_{PG_1}(j\omega) + \hat{Z}_{PG_2}(j\omega) \right) \right) x(j\omega) = P_1(j\omega), \quad (7)$$

где  $Z_{PG1}(j\omega)$  и  $Z_{PG2}(j\omega)$  - соответственно импеданс импульсной трубки, заполненной газом, и трубки, заполненной антиадгезионным силиконовым маслом.

Преобразуя получим:

$$1 - \frac{\omega^2 m_{\text{ш}}}{k} \left( 1 + \frac{F^2 \varepsilon_{P1} \beta_1 \rho_1 l_1}{m_{\text{ш}} \pi r_{01}^2} + \frac{F^2 \varepsilon_{P2} \beta_2 \rho_2 l_2}{m_{\text{ш}} \pi r_{02}^2} \right) + j \left( \frac{8F^2 \omega \varepsilon_{P1} \rho_1 \nu_1 l_1}{k \pi r_{01}^4} + \frac{8F^2 \omega \varepsilon_{P2} \rho_2 \nu_2 l_2}{k \pi r_{02}^4} \right) = \frac{P_1(j\omega)}{\frac{k}{F} x(j\omega)}, \quad (8)$$

где  $\rho_1$  - плотность природного газа;  $\rho_2$  - плотность антиадгезионного силиконового масла;  $l_1$  - длина импульсной трубки, заполненной природным газом;  $l_2$  - длина трубки, заполненной антиадгезионным силиконовым маслом;  $\nu_1$  - кинематическая вязкость природного газа;  $\nu_2$  - кинематическая вязкость антиадгезионного силиконового масла;  $r_{01}$  - внутренний радиус импульсной трубки,  $r_{02}$  - внутренний радиус трубки, заполненной антиадгезионным силиконовым маслом.

Примем обозначения:

соотношение массы природного газа и антиадгезионного силиконового масла:

$$s = 1 + \frac{F^2 \varepsilon_{P1} \beta_1 \rho_1 l_1}{m_{\text{ш}} \pi r_{01}^2} + \frac{F^2 \varepsilon_{P2} \beta_2 \rho_2 l_2}{m_{\text{ш}} \pi r_{02}^2}, \quad (9)$$

собственная частота колебаний штока:

$$\omega_{\text{шс}} = \sqrt{\frac{k}{s m_{\text{ш}}}}. \quad (10)$$

Преобразуя, получим:

$$\frac{k}{F} \left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_{\text{шс}}^2} + j \frac{\omega \zeta}{\omega_{\text{шс}}} \right) x(j\omega) = P_1(j\omega). \quad (12)$$

Полученное соотношение позволяет получить амплитудно-фазовую характеристику пилотного регулятора:

$$W_{xp}(j\omega) = \frac{x(j\omega)}{P_1(j\omega)} = \frac{F}{k \left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_{\text{шс}}^2} + j \frac{\omega \zeta}{\omega_{\text{шс}}} \right)}. \quad (13)$$

Соотношение перемещения штокапилотного регулятора, изменения давления их разность фаз определяются по их амплитудной и фазовой частотным характеристикам.

Тогда амплитудная частотная характеристика пилотного регулятора составит:

$$A_{xp}(\omega) = \text{mod} W_{xp}(j\omega) = \frac{F}{k \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{nc}^2}\right)^2 + \frac{4\zeta_n^2 \omega^2}{\omega_{nc}^2}}}, \quad (14)$$

фазовая частотная характеристика пилотного регулятора составит:

$$\varphi_{xp}(\omega) = -\text{arctg} = \frac{2\omega\zeta}{\omega_{nc}\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{nc}^2}\right)}. \quad (15)$$

Максимального значения амплитудная частотная характеристика пилотного регулятора достигает при резонансной частоте, которая связана с собственной частотой колебаний соотношением:

$$\omega_{np} = \omega_{no} \sqrt{1 - 2\zeta_n^2}.$$

Преобразуя, находим:

$$A_{xp}(\omega) = \frac{F}{2c_{np} \sqrt{1 - 2\zeta_n^2}}.$$

В случае, если  $\omega = \omega_{no}$

$$A_{xp}(\omega) = \frac{F}{2c_{np} \zeta_n}.$$

### Выводы

Одним из важных компонентов газового оборудования является пилотный регулятор, подключаемый к распределительному блоку. Регулятор предназначен для автоматического сброса управляющего газа из системы управления при снижении или повышении давления природного газа по сравнению с заданными значениями.

Используя предположение, что движение газа в импульсной трубке, передающей импульс давления природного газа мембране и движение антиадгезионного силиконового масла в импульсной трубке, передающей давление антиадгезионного силиконового масла исполнительному механизму, является одномерным и нестационарным, т.е. все местные скорости считаются равными средней скорости и зависят от времени, разработана математическая модель пилотного регулятора, учитывающая наличие пульсаций широкого спектра в потоке природного газа.

С использованием математической модели пилотного регулятора определены его амплитудная и фазовая частотные характеристики.

Амплитудная и фазовая частотные характеристики позволяют выбрать оптимальные конструктивные параметры пилотного регулятора в зависимости от характеристик потока природного газа.

**Библиографический список**

1. **Мелькумов В.Н.** Исследование работы элементов пилотного устройства [Текст]/В.Н. Мелькумов, И.Г. Лачугин, С.Н. Кузнецов// Известия высших учебных заведений. Строительство. -2002. - № 1-2 (517-518). - С. 135-141.
2. **Мелькумов В.Н.** Математическое моделирование полей концентраций вредных веществ при производстве строительных материалов [Текст]/В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. -2013. -№ 1 (29). -С. 99-107.
3. **Кузнецова Г.А.** Продолжительность эксплуатации внутридомового газового оборудования [Текст] / Г.А. Кузнецова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2016. - № 1 (22). - С. 54-58.
4. **Кузнецова Г.А.** Технологическая надежность газового оборудования [Текст] / Г.А. Кузнецова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. - № 1 (22). - С. 25-29.
5. **Колосов А.И.** Управление работой аварийно-восстановительных служб газораспределительной организации [Текст] / А.И. Колосов, Г.А. Кузнецова, О.А. Гнездилова // Научный журнал строительства и архитектуры. -2018. -№ 1 (49). -С. 29-36.

**References**

1. **Mel'kumov V.N.** Issledovanie raboty elementov pilotnogo ustrojstva [Tekst]/V.N. Mel'kumov, I.G. Lachugin, S.N. Kuznecov// Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. - 2002. - № 1-2 (517-518). - S. 135-141.
2. **Mel'kumov V.N.** Matematicheskoe modelirovanie polej koncentracij vrednyh veshchestv pri proizvodstve stroitel'nyh materialov [Tekst]/V.N. Mel'kumov, S.N. Kuznecov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. -2013. -№ 1 (29). -S. 99-107.
3. **Kuznecova G.A.** Prodolzhitel'nost' ekspluatatsii vnutridomovogo gazovogo oborudovaniya [Tekst] / G.A. Kuznecova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. - 2016. - № 1 (22). - S. 54-58.
4. **Kuznecova G.A.** Tekhnologicheskaya nadezhnost' gazovogo oborudovaniya [Tekst] / G.A. Kuznecova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. 2016. - № 1 (22). - S. 25-29.
5. **Kolosov A.I.** Upravlenie rabotoj avarijno-vosstanovitel'nyh sluzhb gazoraspre-delitel'noj organizacii [Tekst] / A.I. Kolosov, G.A. Kuznecova, O.A. Gnezdilova // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. -2018. -№ 1 (49). -S. 29-36.

УДК 543.683

**О.В. ЧЕРНОУСОВА<sup>1</sup>, Р.Г. ЧЕРЕПАХИНА<sup>2</sup>, С.О. САДЫКОВ<sup>3</sup>, О.Б. РУДАКОВ<sup>4</sup>****ЦИФРОВАЯ ЦВЕТОМЕТРИЯ СЫПУЧИХ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ***ФГБУ ГЦАС «Воронежский»<sup>1</sup>**Россия, г. Воронеж**Воронежский государственный технический университет<sup>2,3,4</sup>**Россия, г. Воронеж*

Цифровая цветометрия, совмещенная с нормально-фазовой ТСХ, использовалась для определения экотоксикантов - бисфенола А, триклозана и нонилфенола в полимерных материалах бытового и строительного назначения. Определение цвета, белизны с использованием планшетного сканера и цифровой фотокамеры применялись для оценки качества сухих смесей, шпатлевок, красок. Цифровая цветометрия с использованием смартфонов позволяет оперативно и непосредственно на месте хранения, продажи или использования цемента выполнять анализ содержания минеральных добавок в цементе, в так называемых «полевых условиях». В работе изучили возможность контролировать содержание в цементе таких минеральных добавок, как: мел, известь пушонка (строительная), зола уноса, шлак. Сочетание цифровой цветометрии с ТСХ применили для контроля процесса отверждения эпоксидной смолы с определением в ней свободного бисфенола А.

**O.V. CHERNOUSOVA<sup>1</sup>, R.G. CHEREPAKHINA<sup>2</sup>, S.O. SADYKOV<sup>3</sup>, O.B. RUDAKOV<sup>4</sup>****DIGITAL COLORIMETRY OF BULK AND POLYMERIC MATERIALS***Voronezh FSBI SCAS<sup>1</sup>**Russia, Voronezh**Voronezh state technical university<sup>2,3,4</sup>**Russia, Voronezh*

Digital colorimetry combined with normal phase TLC was used to determine the ecotoxicants of bisphenol A, triclosan, and nonylphenol in polymeric materials for household and construction purposes. The determination of color, whiteness using a flatbed scanner and digital camera was used to assess the quality of dry mixes, fillers, paints. Digital colorimetry using smartphones allows you to quickly and directly at the place of storage, sale or use of cement to analyze the content of mixed mineral additives. In the work the following mineral additives were used: chalk, building lime, fluff, fly ash, slag. A method of determination of free bisphenol A by use TLC in combination with digital colorimetry was used to control the curing process of epoxy resin.

**Ключевые слова:** цифровая цветометрия, строительные материалы, смартфоны.**Keywords:** digital colorimetry, building materials, smartphone.**Введение**

Метод цветометрии впервые стал применяться в лакокрасочной и текстильной промышленности для анализа состава смесей из нескольких красителей [1]. В химическом анализе цветометрия используется около 30 лет [2]. В настоящее время метод, в основе которого лежит цифровой анализ изображений, активно применяется также в фармацевтической и пищевой химии, для анализа строительных материалов и в экологии [1-7]. В литературе цифровой цветометрии (ЦЦМ) посвящено несколько обзорных статей, отражающих его успехи [1, 8-11]. В статье [9] провели анализ около 2 тыс. рефератов периодических изданий и подробно исследовали 800 публикаций по данному методу. Можно

сказать, что число исследований в этой области в течение 20-30 лет растет экспоненциально.

Важными преимуществами ЦЦМ являются невысокая стоимость, экспрессность, отсутствие требования высокой квалификации оператора, возможность электронной документации (хранения и передачи) первичных данных и их обработки с помощью программного обеспечения. В отличие от визуальной колориметрии, рекомендуемой действующими ГОСТ на многую продукцию, например, при оценке цвета белых и цветных портландцементов, ЦЦМ исключает субъективность этой оценки, позволяет проводить не только качественный тест-анализ, но и полноценный количественный анализ.

Целью работы являлось изучение возможности применения ЦЦМ для контроля качества строительных сыпучих и полимерных материалов.

### Анализ содержания бисфенола А, триклозана и нонилфенола в полимерных материалах бытового и строительного назначения

Бисфенол А является отвердителем и стабилизатором в полимерных материалах, применяется как мономер для эпоксидных смол и поликарбонатных пластиков. 4-нонилфенол является отвердителем, пластификатором, стабилизатором при получении полимерных материалов. Триклозан – хлорпроизводное фенола, используется как антибактериальная добавка в полимеры. Данные соединения способны накапливаться в живых организмах, в том числе и человека, оказывать негативное воздействие на здоровье.

Применение тонкослойной хроматографии (ТСХ) в сочетании с ЦЦМ в экспрессном анализе производных фенола в полимерных материалах экономично, характеризуется простотой выполнения и применяемой аппаратуры, подходит для цеховых и мобильных лабораторий [12].

Для ТСХ применяли пластины Sorbfil, в качестве элюента использовали смесь хлороформ-этилацетат-уксусная кислота (50:50:1). Для проявления полученных хроматограмм использовали цветные реакции: 1) смесь хлорида железа (III) – феррицианид калия (в результате на пластине проявляются синие пятна); 2) 0,1 н раствор перманганата калия в разбавленной уксусной кислоте (на пластинах проявляются желтые пятна аналитов на розовом фоне). Схема анализа отражена на рисунке 1.

Цветометрические характеристики рассчитывали в цветовой системе RGB, результаты представляли в виде лепестковых диаграмм (ЛД). На ЛД откладывали значения интенсивностей цветовых компонент  $R_1, R_2, G_1, G_2, B_1, B_2$ , где 1 и 2 означают номер цветной реакции. Затем для ЛД получали значения периметра и площади. Форма лепестковых диаграмм для каждого соединения уникальна, поэтому геометрическое различие оценивали по близости векторных массивов  $\varepsilon$ , за эталон взяли фенол ( $\varepsilon=0$ ). Установлены зависимости периметра и площади ЛД от концентрации производных фенола. Они имеют линейный вид, подходящий для градуировки (см. таблицу 1).

Таблица 1

Зависимости периметра (P) и площади (S) ЛД от концентрации фенольных соединений и степени аппроксимации ( $R^2$ )

Соединение	Уравнение	$R^2$
фенол	$S=[(-68.3\pm 0.9)C+(55.3\pm 0.7)]\times 10^3$	0,998
	$P=[(-550\pm 26)C+(1002\pm 45)]\times 10^2$	0,985
бисфенол А	$S=[(-34.5\pm 1.1)C+(15.0\pm 0.9)]\times 10^3$	0,991
	$P=[(-7.4\pm 0.2)C+(5.1\pm 0.3)]\times 10^2$	0,983
триклозан	$S=[(-28.0\pm 2.0)C+(12.6\pm 1.5)]\times 10^3$	0,993
	$P=[(-6.5\pm 42)C+(4.6\pm 0.5)]\times 10^2$	0,998
нонилфенол	$S=[(-30.3\pm 2.0)C+(12.9\pm 1.5)]\times 10^3$	0,996
	$P=[(-6.2\pm 0.4)C+(4.8\pm 0.2)]\times 10^2$	0,989

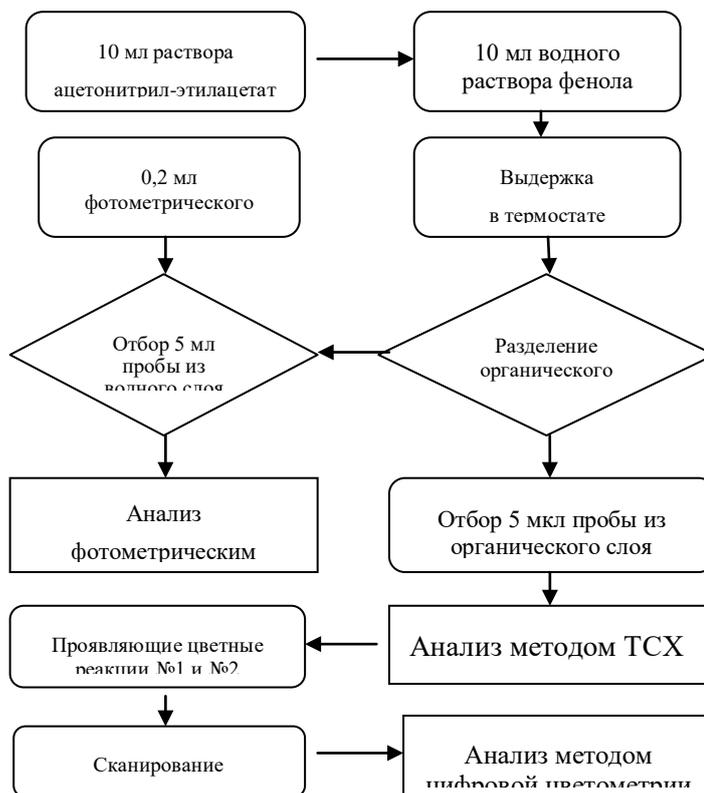


Рис. 1 - Схема методики определения производных фенолов методом ТСХ с использованием ЦЦМ

Таким образом, сочетание низкотемпературной жидкостно-жидкостной экстракции и ТСХ, подкрепленной ЦЦМ, увеличивает количество регистрируемых аналитических сигналов, а значит, повышает надежность идентификации, сокращает время анализа, упрощает применяемое оборудование и имеет хорошие метрологические характеристики.

### Определение белизны сыпучих материалов

Для определения степени белизны при контроле качества порошкообразных материалов (например, сухих смесей, шпатлевок, белых цементов) также перспективно использование цифровых фотокамер (ЦФК), планшетных сканеров (ПС) и смартфонов или мобильных телефонов с ЦФК. Оценка степени белизны по нормативным документам проводится визуально или измерением коэффициентов отражения на спектральных фотометрах. При инструментальной оценке измеряют абсолютные коэффициенты отражения, например на спектрофотометре СФ-18.

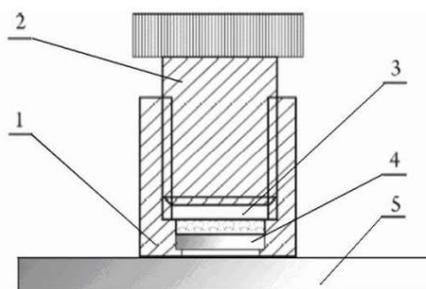


Рис. 2 - Ячейка для определения белизны порошков на планшетном сканере: 1- корпус ячейки, 2 – пуансон для уплотнения порошка, 3 – образец, 4 – стеклянное дно ячейки, 5 – стекло сканера

Белизну порошкообразных материалов (таблица 2) в работе [6] измеряли с помощью планшетного сканера в специальной цилиндрической ячейке с прозрачным дном (рис.2). Материалы предварительно гомогенизировали в агатовой ступке при помощи пестика.

Таблица 2

Степень белизны различных материалов, определенная цветометрически на ПС

Наименование	F <sub>i</sub>			W <sub>r</sub>	S <sub>r</sub>
	R	G	B		
гипс	240±3	254±1	254±1	97.8±0.4	0.002
мел	237±1	251±2	254±1	97.0±0.2	0.001
гальк	233±2	246±2	253±1	95.7±0.6	0.004
сульфат бария	245±2	254±1	253±1	98.3±0.4	0.002

Определение белизны на ПС сравнили с результатами, полученными на промышленном белизномере БЛИК-РЗ (см. таблицу 3). Сканерметрическое определение является более точным, чем визуальное наблюдение, но обладает более низкой чувствительностью, чем измерения на белизномере.

Таблица 3

Белизна материалов, измеренная визуально, на промышленном белизномере и на ПС

Наименование	Описание	W <sub>r</sub>	
		Блик-РЗ	ПС
сульфат бария	белый или почти белый	100.0	98.3±0.4
гипс	белый или почти белый	98.2	97.8±0.4
мел	белый	90.9	97.0±0.2

Применение ПС позволяет уйти от субъективной оценки белизны сыпучих материалов, документировать процесс измерения.

### Определение содержания минеральных добавок в цементах

Согласно ГОСТ в качестве минеральных добавок в цемент возможно использование гранулированного шлака, пуццоланов (природных или искусственных), топливных зол, в том числе кислых или основных зол уноса, микрокремнезема, глиежа и обожженных сланцев, а также известняка. Количественно минеральные добавки в цементе определяют согласно ГОСТ Р 51795 «Цементы. Методы определения содержания минеральных добавок». При этом требуется в зависимости от наличия той или иной добавки осуществление сложных и продолжительных процедур гравиметрического, титриметрического, рентгенодифрактометрического, фотометрического анализов, наличие сложного оборудования, дорогостоящих реактивов и посуды (например, платиновых тиглей).

В работе [13] использовали портландцемент без минеральных добавок марки ЦЕМ I 42,5Н, ГОСТ 31108. Для приготовления смесей применяли мел марки МТД-2, ТУ 5743-020-05346453, известь пушонку (строительную), ГОСТ 9179, золу уноса Воронежской ТЭЦ-1 ГОСТ 25818, шлак Воронежской ТЭЦ-1 по ГОСТ 25592. Содержание добавок в цементе варьировалось с шагом 5% в пределах от 0 до 30%. Общее содержание добавок составляло в тройных системах от 10 до 30%. В качестве образца сравнения использовали порошок BaSO<sub>4</sub>, ч.д.а., ГОСТ 3158, который нередко применяется как эталон белизны [14].

Цифровые изображения регистрировали на смартфонах Huawei P Smart и Huawei Honor 5C. Значения цветности рассчитывали в цветовой системе RGB.

Результаты измерения цветности образцов цемента, мела, извести, шлака и золы уноса представлены в таблице 4. Для нивелирования возможных погрешностей определения параметров цветности  $F_R$ ,  $F_G$  и  $F_B$  анализируемого образца, связанных с освещением и техническими характеристиками  $F_i$  цветорегистрирующего устройства, использовали относительные значения интенсивности компонент цветности ( $F_i$ ) и эталона ( $F_{i,e}$ )

$$F'_i = F_i / F_{i,e}$$

Например, относительная интенсивность красной компоненты для образца золы уноса  $F'_R = F_R(\text{зола}) / F_R(\text{BaSO}_4) = 56 / 232 = 0.241$ .

Таблица 4

Относительные интенсивности компонент цветности образцов  $F'_i$ ,  
Huawei P Smart, ПО RGB. Android

Наименование образца	$F'_R$	$F'_G$	$F'_B$
Цемент	0.552±0.009	0.544±0.021	0.508±0.025
Мел	0.914±0.009	0.917±0.008	0.901±0.012
Известь	0.920±0.009	0.924±0.004	0.927±0.008
Шлак	0.530±0.009	0.548±0.008	0.504±0.017
Зола уноса	0.241±0.022	0.253±0.021	0.231±0.021

В таблице 5 приведены зависимости относительных величин цветности  $F'_R$ ,  $F'_G$  и  $F'_B$  от содержания в цементе индивидуальных добавок.

Таблица 5

Градуировочные уравнения для определения содержания цемента (%) в смеси с добавками с помощью смартфона Huawei P Smart, ПО RGB. Android

Добавка	Градуировочное уравнение $F'_i = a + bC$	Степень аппроксимации, $R^2$
Мел (0-30%)	$F'_R = 0.007 \times C + 0.520$ (1)	0.99
	$F'_G = 0.007 \times C + 0.500$ (2)	0.99
	$F'_B = 0.009 \times C + 0.433$ (3)	0.99
Известь (0-30%)	$F'_R = 0.007 \times C + 0.518$ (4)	0.99
	$F'_G = 0.007 \times C + 0.506$ (5)	0.97
	$F'_B = 0.009 \times C + 0.451$ (6)	0.92
Зола уноса (0-100%)	$F'_R = 0.537 - 0.003 \times C$ (7)	0.99
	$F'_G = 0.526 - 0.003 \times C$ (8)	0.97
	$F'_B = 0.502 - 0.003 \times C$ (9)	0.99

Для количественной оценки состава смесей цемента с мелом пригодны линейные градуировочные уравнения  $F'_i = a + bC$  для всех трех компонент цветности  $F'_R$ ,  $F'_G$  и  $F'_B$ . (степень аппроксимации  $R^2 \geq 0.99$ ). Для смесей цемента с известью угол наклона прямых и степень аппроксимации  $R^2 \geq 0.92$  также достаточны для количественных оценок содержания добавок в смеси. В то же время, уверенно определять добавки шлака по параметрам цветности в цементе практически невозможно из-за слишком незначительной разности в показателях цветности цемента и шлака. Для золы уноса наблюдается самый широкий диапазон линейности от 0 до 100%, пригодный для построения градуировочных зависимостей с высокой степенью аппроксимации  $R^2 \geq 0.98$ . При сравнении относительных интенсивностей цветности, вычисленных в нескольких программах обработки (ПО)

изображений и на разных смартфонах, установлено, что для Huawei P Smart, ПО RGB. Android для цемента, мела, извести и шлака характерны более низкие значения, чем для смартфона Huawei Honor 5C, ПО ColorGrab. При этом относительные интенсивности цветности для золы уноса в обоих случаях имеют почти одинаковые величины, что говорит об одинаковой чувствительности камер смартфонов в темной области изображений, т.е. при низких значениях цветности. Также изучено как изменяются параметры цветности цемента, содержащего не одну, а две минеральных добавки. Зависимости интенсивности компонент цветности при увеличении доли мела или извести при параллельном уменьшении доли золы уноса носят сложный S-образный или выпуклый вид.

### Контроль процесса отверждения эпоксидной смолы с определением в ней бисфенола А

Эпоксидные смолы (ЭС) используются для изготовления половых покрытий, а также при производстве торцевых паркетных изделий. Смолы получают при поликонденсации эпихлоргидрина с фенолами, в т.ч. со свободным 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропаном (бисфенолом А). В работе [15] предлагается использовать методику определения бисфенола А в ЭС методом ТСХ совместно с ЦЦМ. На хроматограмме при этом для проявления хроматографических пятен и анализа их площади применяют две цветные реакции:

1) обработка 0,1 н раствором  $KMnO_4$  в разбавленной уксусной кислоте (желтые пятна на розовом фоне);

2) обработка феррицианидом калия с хлоридом железа (III) (синий цвет).

Данные, полученные при сканировании хроматограмм, выдавали в виде ЛД. ЛД состояли из 6 осей, представляющих значения цветовых координат в цветовой системе RGB. Для ЛД рассчитывали значения периметра  $P$  и площади  $S$ . Площадь и периметр диаграммы зависели от концентрации бисфенола А линейно и могут быть использованы для градуировки.

$$S = [(-34.2 \pm 1.1)C + (15.0 \pm 0.9)] \cdot 10^3, R^2 = 0.991$$

$$P = [(-7.4 \pm 0.2)C + (5.1 \pm 0.3)] \cdot 10^2, R^2 = 0.983.$$

Диапазон, в котором могут применяться зависимости, находится в интервале от 0.05 до 0.5 г/л. Пользуясь градуировочными зависимостями, можно найти содержание бисфенола А на разных стадиях отверждения ЭС. Чем полнее отверждение, тем меньше бисфенол А выделяется в окружающую среду.

### Выводы

Разработанный цифровой цветометрический метод позволяет определять относительную белизну проб самых разных сыпучих материалов, устраняется субъективность визуальной характеристики белизны. Методика оценки цветности или белизны материалов мобильна, не требует высокой квалификации персонала, может заменить существующие методы контроля. Для проверки аутентичности марки портландцемента по цветовым характеристикам и для контроля содержания в нем минеральных добавок, заметно отличающихся от него по параметрам цветности (мел, известь, зола уноса), может быть использована цифровая цветометрия, реализованная с помощью смартфонов. Если в двойных смесях «цемент - добавка» примесь можно определить количественно, то в случае тройных систем ее наличие можно выявить только качественно. Сочетание определения производных фенолов в полимерных материалах методом тонкослойной хроматографии и цифровой цветометрии повышает информативность анализа в результате регистрации большего числа аналитических сигналов. При этом все разработанные цифровые методики характеризуются простотой приемов и оборудования, сокращением времени анализа, имеют хорошие метрологические характеристики.

## Библиографический список

1. **Иванов В.М.** Химическая цветометрия: возможности метода, области применения и перспективы [Текст] / Иванов В.М., Кузнецова О.В. // Успехи химии. – 2001. – Т.70. – №5. – С.411-428.
2. **Химченко С.В.** Цветометрия в инструментальном и визуальном тест-анализе [Текст] / Химченко С.В., Экспериандова Л.П. – Lambert Academic Publishing, 2014. – 220 с.
3. **Байдичева О.В.** Определение цветности воды с использованием цифровых технологий [Текст] / Байдичева О.В., Рудаков О.Б., Хрипушин В.В., Барсукова Л.Г. // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – №1. – С.23-25.
4. **Hirayama E.** Visual and Colorimetric Lithium Ion Sensing Based on Digital Color Analysis [Текст] / Hirayama E., Sugiyama T., Hisamoto H., Suzuki K. // Analytical chemistry. – 2000. – V.72. – №3. – P.465-474. DOI: 10.1021/ac990588w
5. **Морозко С.А.** Тест-методы в аналитической химии. Раздельное определение меди и цинка методом цветометрии [Текст] / Морозко С.А., Иванов В.М. // Журнал аналитической химии. – 1997. – Т.52. – №8. – С.858-865.
6. **Рудаков О.Б.** Цифровой цветометрический контроль качества строительных материалов [Текст] / Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Грошев Е.Н., Чан Хай Данг, Селиванова Е.Б. // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2013. – № 7. – С. 104-120.
7. **Рудаков О.Б.** Усовершенствование способа определения фенолов по цветным реакциям с применением цифровых технологий [Текст] / Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Кудухова И.Г. и др. // Аналитика и контроль. – 2012. – Т.16. – №4. – С. 570-579.
8. **Prasad K.** Basic aspects and application of tristimulus colorimetry [Текст] / Prasad K., Raheem S., Vijayalekshmi P., Sastri C. // Talanta. –1996. – 43(8). – P. 1187-1206. DOI: 10.1016/0039-9140(96)01871-1.
9. **Чеботарев А.Н.** Анализ тенденций развития метода химической цветометрии [Текст] / Чеботарев А.Н., Снигур Д.В., Бевзюк Е.В., Ефимова И.С. // Методы и объекты химического анализа. – 2014. – Т.9. – №1. – С.4-11.
10. **Апяри В.В.** Использование бытовых цветометрирующих устройств в количественном химическом анализе [Текст] / Апяри В.В., Горбунова М.В., Исаченко А.И., и др. // Журнал аналитической химии. – 2017. – Т.72. – №11. – С. 963-977.
11. **Моногарова О.В.** Цветометрия в химическом анализе [Текст] / Моногарова О.В., Осолок К.В., Апяри В.В. // Журнал аналитической химии. – 2018. – Т.73. – № 11. – С. 857-867. DOI: 10.1134/S0044450218110063.
12. **Рудаков О.Б.** Определение бисфенола А, триклозана и нонилфенола в материалах и экстрактах методом ТСХ, совмещенным с цифровой цветометрией [Текст] / Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Чан Хай Данг, Рудакова Л.В. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2016. – Т.16. – №5. – С.686-694.
13. **Рудаков О.Б.** Цветометрический контроль цементов мобильными устройствами [Текст] / Рудаков О.Б., Черноусова О.В., Вострикова Т.О., Усачев С.М. // Химия, физика и механика материалов. – 2019. – №3 (22). – С. 35-48.
14. **Люттов В.П.** Цветоведение и основы колориметрии [Текст] / Люттов В.П., Четверкин П.А., Головастик Г.Ю. - М.: Юрайт. – 2018. – 168 с.

15. **Рудаков О.Б.** Контроль отверждения эпоксидной смолы по содержанию свободного бисфенола А методом ТСХ [Текст] / Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Глазков С.С., Хорохордин А.М., Губин А.С. // Аналитика и контроль. – 2017. – Т.21. – №2. – С.135-143.

### References

1. **Ivanov V.M.** Khimicheskaya tsvetometriya: vozmozhnosti metoda, oblasti primeneniya i perspektivy [Tekst] / Ivanov V.M., Kuznetsova O.V. // Uspekhi khimii. – 2001. – Т.70. – №5. – С.411-428.

2. **Khimchenko S.V.** Tsvetometriya v instrumental'nom i vizualnom test-analize [Tekst] / Khimchenko S.V., Eksperiandova L.P.. – Lambert Academic Publishing, 2014. – 220 s.

3. **Baidicheva O.V.** Opredeleniye tsvetnosti vody s ispolzovaniyem tsifrovyykh tekhnologiy [Tekst] / Baidicheva O.V., Rudakov O.B., Khripushin V.V., Barsukova L.G. // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti. – 2009. – №1. – С.23-25.

4. **Hirayama E.** Visual and Colorimetric Lithium Ion Sensing Based on Digital Color Analysis [Текст] / Hirayama E., Sugiyama T., Hisamoto H., Suzuki K. // Analytical chemistry. – 2000. – V.72. – №3. – P.465-474. DOI: 10.1021/ac990588w

5. **Morozko S.A.** Test-metody v analiticheskoy khimii. Razdelnoye opredeleniye medi i tsinka metodom tsvetometrii [Tekst] / Morozko S.A., Ivanov V.M. // Zhurnal analiticheskoy khimii. – 1997. – Т.52. – №8. – С.858-865.

6. **Rudakov O.B.** Tsifrovoy tsvetometricheskii kontrol kachestva stroitelnykh materialov [Tekst] / Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Groshev E.N., Chan Khay Dang, Selivanova E.B. // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-khimicheskiye problemy i vysokiye tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya. – 2013. – № 7. – С. 104-120.

7. **Rudakov O.B.** Uovershenstvovaniye sposoba opredeleniya fenolov po tsvetnym reaktsiyam s primeneniym tsifrovyykh tekhnologiy [Tekst] / Rudakov O.B., Rudakova L.V., Kudukhova I.G., Golovinskiy P.A., Khorokhordina E.A., Groshev Ye.N. // Analitika i kontrol. – 2012. – Т.16. – №4. – С. 570-579.

8. **Prasad K.** Basic aspects and application of tristimulus colorimetry [Tekst] / Prasad K., Raheem S., Vijayalekshmi P., Sastri C. // Talanta. –1996. – 43(8). – P. 1187-1206. DOI: 10.1016/0039-9140(96)01871-1.

9. **Chebotarev A.H.** Analiz tendentsiy razvitiya metoda khimicheskoy tsvetometrii [Tekst] / Chebotarev A.N., Snigur D.V., Bevzyuk E.V., Yefimova I.S. // Metody i obyekty khimicheskogo analiza. – 2014. – Т.9. – №1. – С.4-11.

10. **Apyari V.V.** Ispolzovaniye bytovyykh tsvetometriruyushchikh ustroystv v kolichestvennom khimicheskom analize [Tekst] / Apyari V.V., Gorbunova M.V., Isachenko A.I., Dmitriyenko S.G., Zolotov YU.A. // Zhurnal analiticheskoy khimii. – 2017. – Т.72. – №11. – С. 963-977.

11. **Monogarova O.V.** Tsvetometriya v khimicheskom analize [Tekst] / Monogarova O.V., Oskolok K.V., Apyari V.V. // Zhurnal analiticheskoy khimii. – 2018. – Т.73. – № 11. – С. 857-867. DOI: 10.1134/S0044450218110063.

12. **Rudakov O.B.** Opredeleniye bisfenola А, triklozana i nonilfenola v materialakh i ekstraktakh metodom TSKH, sovmeshchennym s tsifrovoy tsvetometriyey [Tekst] / Rudakov O.B.,

Khorokhordina E.A., Chan Khay Dang, Rudakova L.V. // Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy. – 2016. – Т.16. – №5. – S.686-694.

13. **Rudakov O.B.** Tsvetometrichekiiy kontrol tsementov mobilnymi ustroystvami [Tekst] / Rudakov O.B., Chernousova O.V., Vostrikova T.O., Usachev S.M. // Khimiya, fizika i mekhanika materialov. – 2019. – №3 (22). – S. 35-48.

14. **Lyutov V.P.** Tsvetovedeniye i osnovy kolorimetrii [Tekst] / Lyutov V.P., Chetverkin P.A., Golovastikov G.YU. - M.: Yurayt. – 2018. – 168 s.

15. **Rudakov O.B.** Kontrol otverzheniya epoksidnoy smoly po sodержaniyu svobodnogo bisfenola A metodom TSKH [Tekst] / Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Glazkov S.S., Khorokhordin A.M., Gubin A.S. // Analitika i kontrol. – 2017. - Т.21. - №2. – S.135-143.

УДК 518.854.2

Е.С. МЕНКОВА<sup>1</sup>, С.А. ОЛЕЙНИКОВА<sup>2</sup>**ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОИСКА  
ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИЯХ***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Объектом исследования является задача о назначениях. Целью работы является реализация алгоритма для поиска ее оптимального решения и разработка программно-информационного комплекса на основе данного алгоритма. Для достижения данной цели проанализированы особенности задачи и возможные подходы к ее решению. В результате, для программной реализации алгоритма был выбран Венгерский метод. Алгоритм задачи о назначениях был положен в основу программно-информационного комплекса, одной из основных задач которого является оптимальное распределение работ между исполнителями. Представлен общий вид программного комплекса, а также текущие результаты его работы. В заключении исследованы перспективы развития как самой задачи, так и разрабатываемого программного комплекса.

E.S. MENKOVA<sup>1</sup>, S.A. OLENIKOVA<sup>2</sup>**SOFTWARE AND INFORMATION SYSTEM FOR FINDING THE OPTIMAL SOLUTION  
TO THE ASSIGNMENT PROBLEM***Voronezh state technical university<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

The object of research is the assignment problem. The aim of the work is the implementation of an algorithm to find its optimal solution and the development of a software-information complex based on this algorithm. To achieve this goal, the features of the problem and possible approaches to its solution are analyzed. As a result, the Hungarian method was chosen for the software implementation of the algorithm. The algorithm of the assignment problem was the basis of the software and information complex, one of the main tasks of which is the optimal distribution of jobs among the performers. The general view of the software package is presented, as well as the current results of its work. In conclusion, the development prospects of both the task itself and the software package being developed are investigated.

**Ключевые слова:** задача о назначениях, оптимизация, венгерский метод, программно-информационный комплекс.

**Keywords:** assignment problem, optimization, Hungarian method, software and information complex.

**Введение**

Для любых производственных или обслуживающих систем важнейшей задачей является грамотное распределение исполнителей по имеющимся работам. Данная задача называется задачей о назначениях. Наилучшее закрепление работы исполнителю позволит использовать трудовые ресурсы с максимальной эффективностью и, как следствие, повысить качество выполняемых работ, что, очевидно, положительно скажется на репутации компании и поможет привлечь новых клиентов. В связи с этим, актуальность наличия алгоритма решения задачи о назначениях и ее практическая значимость не вызывают сомнений.

В настоящее время данная задача достаточно полно исследована. В частности, было получено, что для классической задачи о назначениях, подразумевающей распределение  $n$  работ по  $n$  исполнителям наиболее эффективным является Венгерский метод [1]. Поскольку математическая модель представляет собой линейную целевую функцию и линейные

ограничения, данную задачу можно также решать с помощью симплекс-метода [2]. Однако, в силу дискретности исходных данных, симплекс-метод может быть лишь некоторым базисом, который позволит получить промежуточное непрерывное решение задачи, после чего с помощью каких-либо механизмов релаксации, его необходимо преобразовать в дискретный результат.

Однако, тенденции развития современных предприятий диктуют все новые требования к ограничениям, что может усложнить классическую задачу о назначениях [3]. В частности, выполнение определенной работы данным исполнителем может описываться с помощью нескольких факторов, что приводит к многокритериальной задаче о назначениях. Зачастую возникают ситуации, когда количество исполнителей больше, чем число работ [5]. Это может произойти в случае, когда задача решается в рамках одной из подсистем, входящих в комплексную систему управления предприятием, которая предназначена для нахождения целого множества разнообразных решений (назначение работ, составление оптимального расписания, прогнозирование функционирования системы и т.д.). Для каждого из таких случаев требуется существенная модификация существующих или разработка новых алгоритмов для решения.

### Постановка задачи и ее особенности

В общем виде задачу о назначениях можно сформулировать следующим образом. Имеется множество исполнителей  $i, i=1, \dots, n$ , каждый из которых может выполнять одну из работ  $j, j=1, \dots, n$  с разной степенью результативности. Задана матрица, которая представляет собой эффективность выполнения работ исполнителями. В зависимости от критерия, это может быть время, затрачиваемое на выполнение работы, затраты (например, зарплата) для выполнения работы  $j$  исполнителем  $i$  и т.д. Необходимо определить такую работу каждому исполнителю, чтобы суммарные затраты (или суммарная прибыль) от всех работ была бы оптимальной.

Классическую задачу о назначениях можно представить в виде задачи линейного программирования. Пусть элементы матрицы, описывающей целевую функцию – это  $c_{ij}$ . Каждый такой элемент означает эффективность выполнения работы  $j$  исполнителем  $i$ . Введем вспомогательные переменные  $x_{ij}$ , которые будут определяться следующим образом:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если исполнитель } i \text{ назначен на ра} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

Тогда целевую функцию можно описать следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min (\max). \quad (2)$$

Исследуемая задача будет решаться при следующих ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (3)$$

и

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1. \quad (4)$$

Ограничение (3) говорит о том, что каждый исполнитель должен выполнить одну работу, а ограничение (4) о том, что работа должна быть выполнена одним исполнителем.

Кроме того, ввиду специфики определения матрицы  $x$  с помощью формулы (1), очевидным будет следующее ограничение:

$$x_{ij} \in \{0,1\}. \quad (5)$$

Тогда задача будет сформулирована следующим образом:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \\ x_{ij} \in \{0,1\} \end{cases} \quad (6)$$

Проанализируем возможные подходы к решению данной задачи. Без ограничения (5) задача являлась бы обычной задачей линейного программирования, которую можно решать с помощью симплекс-метода [4]. В данном же случае возможна либо релаксация полученного решения непрерывной задачи, либо разработка методов, ориентированных изначально на данный дискретный вариант.

Среди методов решения данной задачи необходимо выделить Венгерский метод, который был разработан с учетом специфики целевой функции (1) и ограничений (2)-(5). Его суть заключается в том, чтобы определить, какую работу предпочтительнее всего выполнять каждому исполнителю и какой исполнитель лучше всего подойдет для выполнения каждой работы. Для этого исходная матрица  $C$  специальным образом преобразовывается таким образом, чтобы в каждой строке и в каждом столбце присутствовали нулевые элементы. Именно они указывают наилучший результат (работу для исполнителя и исполнителя для работы). Данная процедура называется редукцией. В редких случаях возникает ситуация, когда количество нулевых элементов  $n$  и каждый из них в строке и в столбце встречается только один раз. Это значит, что уже на предварительном этапе найдено однозначное соответствие между специалистами и работами [1]. Однако зачастую количество нулевых элементов больше. Два нулевых элемента в строке говорят о том, что данный исполнитель лучше всех подходит как для одной, так и для другой работы. Но в силу ограничений (3) и (4) подобная ситуация невозможна. Следовательно, возникает необходимость дальнейшего преобразования матрицы и поиска взаимно-однозначных соответствий между исполнителями и работами.

Рассмотрим алгоритм Венгерского метода.

1. Проведение редукции с исходной матрицей  $C$ .
2. Если возможно получение взаимно-однозначного соответствия между исполнителями и работами, то выдать ответ, иначе перейти к шагу 3.
3. Минимальным числом прямых вычеркнуть все нули в матрице. Среди невычеркнутых элементов необходимо найти минимальный.
4. Преобразовать матрицу, прибавив его к элементам, стоящим на пересечении прямых, и вычтя из всех невычеркнутых элементов.
5. Переход к пункту 2.

Детализируем отдельные этапы данного алгоритма. Для выполнения редукции над матрицей определяются минимальный элемент в каждой строке, после чего из каждого элемента строки вычитается минимальный. После этого осуществляется проверка, остались ли столбцы с ненулевыми элементами. Для каждого такого столбца также определяется минимальный элемент (но теперь уже в столбце), который вычитается из всех элементов данного столбца.

Проверка соответствия на взаимную однозначность осуществляется следующим образом. На вход метода подается матрица. Осуществляется «проход» по строкам. Если текущая строка не содержит ни одного нулевого элемента, то назначение невозможно. Иначе, если в строке существует только один нулевой элемент, необходимо сформировать матрицу меньшей размерности, вычеркнув строку и столбец, на пересечении которых находится нулевой элемент.

Если в результате от исходной матрицы не останется ни одного элемента, то взаимно-однозначное соответствие найдено. В противном случае необходимо констатировать невозможность проведения данного соответствия.

Следующий этап заключается в «вычеркивании» нулевых элементов минимальным количеством прямых. Очевидно, чтобы прямых было меньше требуется, чтобы каждая прямая вычеркивала максимальное количество нулей. Поэтому данный этап заключается в следующем:

Пока есть нулевой элемент

Нц

Пройти по всем строкам

Пройти по всем столбцам

Определить строку или столбец с наибольшим числом нулей

«Вычеркнуть» данную строку или столбец

Кц

Реализуем представленный алгоритм программно.

### Разработка программно-информационного комплекса

Разработаем программно-информационный комплекс, предназначенный для поиска оптимального решения задачи о назначениях.

Общий вид программного средства представлен на рис. 1.

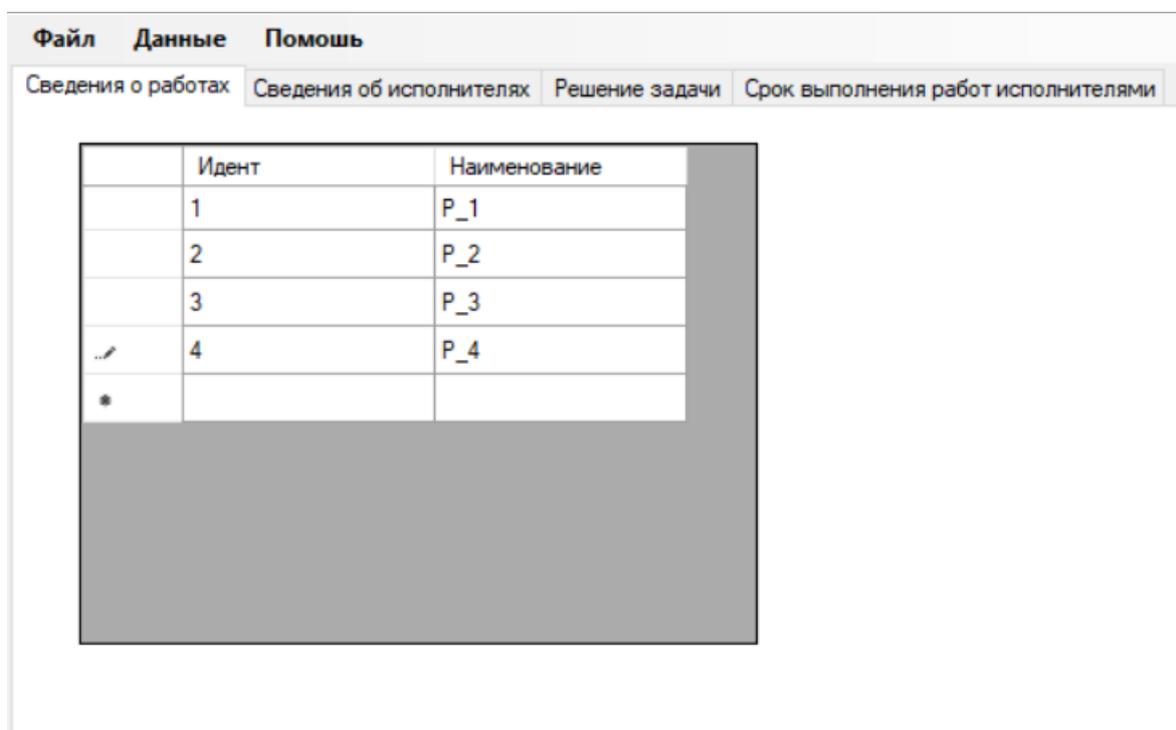


Рис. 1 – Общий вид программно-информационного комплекса

В качестве исходных данных для работы приложения должно поступать:

- множество исполнителей;
- множество работ;
- матрица, определяющая эффективность выполнения работ исполнителями (рис. 2).

На данном этапе число исполнителей и работ совпадают. На выходе должно получиться решение, представляющее собой закрепление каждым исполнителем определенной работы.

	Исп	P_1	P_2	P_3
1		24	10	21
2		14	22	10
3		15	17	20
4		11	10	14

Рис. 2 – Ввод данных о выполнении времени выполнения исполнителями работ

Подменю Файл позволяет открыть какой-либо рассмотренный ранее вариант решения. Подменю Данные предназначено для возможности загрузки данных из базы данных. Подменю Помощь содержит сведения об алгоритме решения задачи и об особенностях программы.

Рассмотрим основное окно программно-информационного комплекса более подробно. Оно представляет собой многостраничный блокнот, содержащее следующие вкладки:

- сведения о работах, где есть возможность ввода и редактирования данных о выполняемых работах (представлена на рис.1);
- сведения об исполнителях - аналогичная вкладка, где есть возможность редактирования данных об исполнителях;
- эффективность выполнения работ исполнителями (без ограничения общности, на данном этапе рассматривается время выполнения работ, и решается задача на минимум; при решении задачи на максимум необходимо в алгоритм добавить еще одну подпрограмму для преобразования исходной матрицы к задаче на минимум) – рис.2;
- решение задачи (представлено на рис.3).

Рассмотрим результаты более подробно. В данной программно-информационной системе оно представлено в виде массива, каждый элемент  $i$  которого определяет номер работы, которую будет выполнять исполнитель с идентификатором  $i$ .

	Исп	Работа
▶	1	2
	2	3
	3	1
	4	4
*		

Детализация решения

Рис. 3 – Результаты решения задачи

Таким образом, разработан программно-информационный комплекс, предназначенный для поиска оптимального решения задачи о назначениях. В качестве основного алгоритма в данном комплексе используется Венгерский метод.

Данный программный комплекс может использоваться как автономно, так и в составе программной системы управления предприятием. В данном случае целесообразно использовать базу данных, в которую каждая из подсистем будет помещать свое локальное решение.

### **Перспективы развития программно-информационного комплекса**

Рассмотрим дальнейшие перспективы, связанные с развитием программно-информационного комплекса. Ближайшей целью является решение так называемой многокритериальной задачи о назначениях. Будет подразумеваться, что возможно существование  $k$  критериев эффективности закрепления определенной работы за данным специалистом. Необходимо будет выбрать такое соответствие между исполнителями и работами, которое бы было оптимальным с точки зрения всех представленных критериев.

Проанализируем возможные подходы к решению подобной задачи. Наиболее целесообразным представляется некоторый синтез двух подходов: свертки критериев и Венгерского метода. В частности, достаточно распространенным является метод линейной свертки, позволяющий привести несколько частных критериев к единой интегральной целевой функции [2]. Однако вопросы о возможности его применения к данной задаче и специфике самого синтеза на сегодняшний момент остаются открытыми.

Кроме того, весьма интересным и практически значимым является возможный анализ данной задачи в динамике. Данный вариант предполагает, что задачи поступают в систему через определенные (постоянные или случайные) промежутки времени. Имеется некоторая загрузка исполнителей. Необходимо в данный момент времени решать задачу о назначениях, чтобы некоторый обобщенный критерий эффективности (возможно, за некоторый срок) достигал бы своего оптимального значения.

### **Выводы**

Объектом исследования в данной работе являлась задача о назначениях. Целью являлась разработка программно-информационной системы, предназначенной для поиска оптимального решения данной задачи. В результате получены следующие итоги:

- исследована специфика задачи и проанализированы возможные методы ее решения;
- в качестве основы для решения задачи выбран Венгерский метод;
- разработан программно-информационный комплекс для поиска оптимального решения задачи Венгерским методом;
- проанализированы дальнейшие перспективы развития данного комплекса.

### **Библиографический список**

1. **Беленький А.С.** Исследование операций в транспортных системах: идеи и схемы методов оптимизации планирования [Текст] - М.: Мир, 1992. - 582 с.
2. **Вагнер Г.** Основы исследования операций. Т. 1. Пер. с англ. [Текст]— М.: Мир, 1972. — 336 с.
3. **Болнокина Е.В.** Определение оптимального состава исполнителей для многостадийной обслуживающей системы [Текст]/ Болнокина Е.В., Олейникова С.А. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7, № 1. [https://moit.vivt.ru/?page\\_id=3002&lang=ru](https://moit.vivt.ru/?page_id=3002&lang=ru).
4. **Таха, Хемди А.** Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. [Текст] – М.: «Вильямс», 2005. – 912 с.

5. **Reuven Cohen**, Liran Katzir, and Danny Raz. An Efficient Approximation for the Generalized Assignment Problem // Information Processing Letters, Vol. 100, Issue 4, November 2006. - pp. 162–166.

### References

1. **Belenkiy A.S.** Issledovanie operatsiy v transportnyh sistemah: idei i shemy metodov optimizatsii planirovaniya [Tekst] / Belenkiy A.S. – M: Mir, 1992. – 582s.
2. **Vagner G.** Osnovy issledovaniya operatsiy. T.1. Per. s angl. [Tekst] - M: Mir, 1972. – 336s.
3. **Bolnokina E.V.** Opredelenie optimalnogo sostava ispolniteley dlya mnogostadiynoy obsluzhivavshey sistemy [Tekst] / Bolnokina E.V., Oleinikova S.A. // Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tehnologii. 2019. T.7., № 1. [https://moit.vivt.ru/?page\\_id=3002&lang=ru](https://moit.vivt.ru/?page_id=3002&lang=ru).
4. **Taha, Hemdi A.** Vvedenie v issledovanie operatsiy, 7-e izdanie.: Per. s angl. [Tekst] – M.: Williams, 2005. – 912 s.
5. **Reuven Cohen**, Liran Katzir, and Danny Raz. An Efficient Approximation for the Generalized Assignment Problem // Information Processing Letters, Vol. 100, Issue 4, November 2006. - pp. 162–166.

УДК 681.5.013

**В.И. ЗАХВАТОВ<sup>1</sup>, С.Л. ПОДВАЛЬНЫЙ<sup>2</sup>, А.В. МИХАЙЛУСОВ<sup>3</sup>****ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР С ДИНАМИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2,3</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Рассмотрена задача повышения качества управления сложными объектами на базе полиномиального регулятора с динамическим изменением настроек на примере обратного маятника на каретке. Построена математическая модель объекта управления, синтезирован полиномиальный регулятор с помощью метода символьных вычислений систем дифференциальных уравнений с дополнительным входом для задания среднегеометрического корня извне и подобраны настройки ПИД-регулятора для управления положением каретки стандартными средствами MATLAB Simulink. Для анализа качества и параметров созданной системы управления были созданы модель обратного маятника на каретке и модели регуляторов с помощью визуальной среды моделирования MATLAB Simulink. В результате моделирования была получена прямая зависимость времени установки положения маятника от значения среднегеометрического корня, что подтверждает возможность внешнего управления быстродействием представленной системы управления. Также исследована и подтверждена возможность контроля уровня управляющих воздействий для предотвращения насыщения исполнительных устройств. Фактически была создана система внешнего параметрического управления динамикой процессов, причем описанный регулятор не требует адаптации и обучения.

**V.I. ZAKHVATOV<sup>1</sup>, S.L. PODVALNY<sup>2</sup>, A.V. MIKHAILUSOV<sup>3</sup>****POLYNOMIAL REGULATOR WITH DYNAMIC CHANGE OF COEFFICIENTS***Voronezh state technical university<sup>1,2,3</sup>  
Russia, Voronezh*

The problem of improving the quality of control of complex objects based on a polynomial controller with a dynamic change of settings on the example of a reverse pendulum on a carriage is considered. A mathematical model of the control object is constructed, a polynomial controller is synthesized using the symbol calculation method of systems of differential equations with an additional input for setting the geometric root from the outside, and the PID controller settings for controlling the position of the carriage using standard MATLAB Simulink tools are selected. As a result of the simulation, a direct dependence of the pendulum position installation time on the geometric mean root value was obtained, which confirms the possibility of external control of the speed of the presented control system. And the described controller does not require adaptation and training.

**Ключевые слова:** система управления, полиномиальный регулятор, параметрическое управления, обратный маятник, сложный объект

**Keywords:** control system, polynomial controller, parametric control, reverse pendulum, complex object

**Введение**

Из-за непрерывного увеличения сложности разрабатываемых систем усложняются и средства управления протекающими в них динамическими процессами. Это приводит к невозможности отказа от применения компьютерных средств разработки на всех этапах проектирования, отладки и эксплуатации. Из-за этого значительно увеличивается список

требований к системам автоматизации технических процессов, протекающих обычно в условиях информационной и значительной структурно-параметрической неопределенности.

И особую сложность представляет управление структурно-неустойчивыми объектами, которые часто являются неминимально-фазовыми. Также данный тип объектов называют сложными, так как управление ими обуславливает необходимость в создании регуляторов, способных работать в различных режимах для обеспечения максимальной области притяжения. Примером таких объектов служат балансирующие механизмы, различного рода двигатели, движение кранов с подвешенным грузом и др.

Повышение качества управления сложными объектами зачастую требует управления динамикой процессов, а также контроля управляющих воздействий для предотвращения насыщения исполнительных устройств [1, 2].

Классическим примером сложного объекта является обратный маятник на каретке. Разные положения маятника требуют различного режима управления, что делает невозможным использование статического регулятора в случае необходимости в максимальной области притяжения.

### Постановка задачи и методы исследования

Основной решаемой задачей был выбран вопрос синтеза полиномиального регулятора с параметрическим управлением, который бы позволил обеспечить требуемое время установки, контроль уровня управляющих воздействий, изменение полосы пропускания системы без повторного синтеза регулятора и минимальный порядок конечной передаточной функции системы управления.

В ходе проектирования системы управления использовалось средство визуального моделирования MATLAB Simulink, которое позволило эффективно проводить моделирование и оценку работу регулятора.

Данный инструментарий позволил моделировать работу линейных и нелинейных объектов, что актуально для синтеза и проверки системы управления обратным маятником на каретке.

Оценка результатов работы регулятора осуществлялась за счет стандартных средств визуализации MATLAB Simulink (осциллографы, датчики уровня и т.д.).

### Построение математической модели маятника

Руководствуясь распределением действующих сил, показанных на рисунках 1, 2 и 3, была построена математическая модель обратного маятника на каретке.

Положения маятника управляется силой  $F$ , приложенной к каретке (подобная система рассмотрена в [3]).

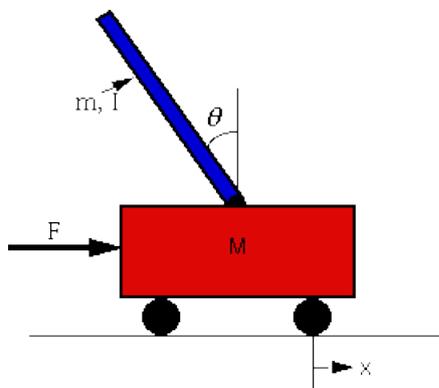


Рис. 1 – Общий вид системы

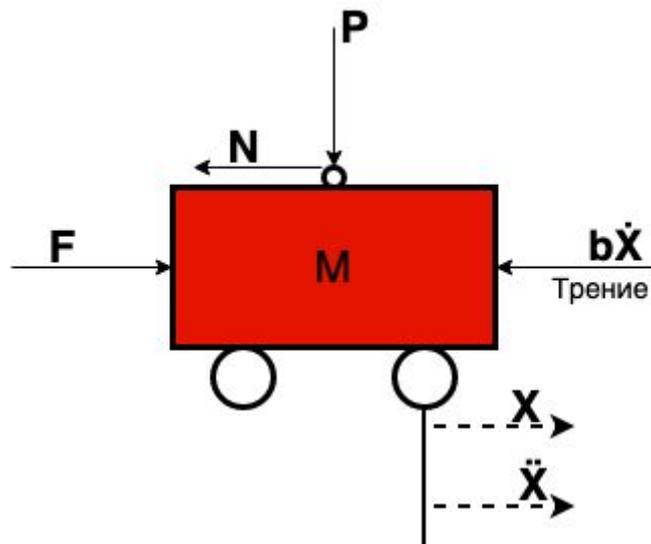


Рис. 2 – Распределение сил каретки

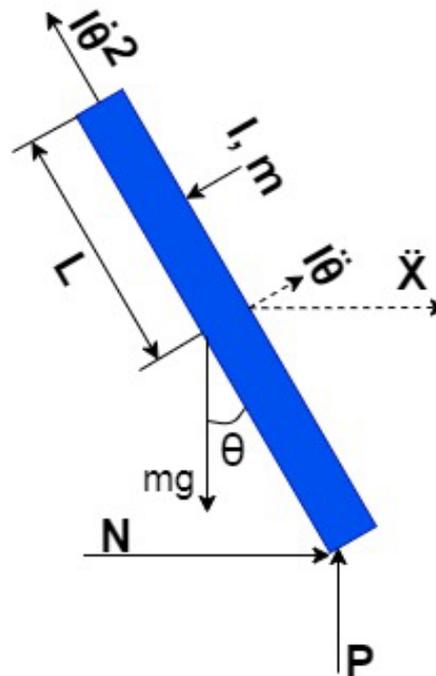


Рис. 3 – Распределение сил маятника

Опишем параметры системы:

- $M$  (масса тележки – 0,5 кг);
- $m$  (масса маятника – 0,2 кг);
- $b$  (трение тележки – 0,1 Н/м/с);
- $L$  (длина до центра масс маятника – 0,3 м);
- $I$  (инерция маятника – 0,006 кг м<sup>2</sup>);
- $F$  (сила, приложенная к тележке);
- $x$  (координата положения корзины);
- $\theta$  (угол маятника от вертикали).
- (скорость каретки);
- (ускорение каретки);
- (угловая скорость маятника);

- (угловое ускорение маятника);
- Р (сумма вертикально действующих сил);
- N (сумма горизонтально действующих сил);
- g (ускорение свободного падения).

Модель обратного маятника на каретке была описана через законы Ньютона в уравнениях (1, 2) для обеих степеней свободы.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{M} \sum_{cart} F_x = \frac{1}{M} (F - , \quad (1)$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{I} \sum_{pend} \tau = \frac{1}{I} (NL \cos(\theta) + PL \sin(\theta)), \quad (2)$$

$$P = m \left( \frac{d^2y_p}{dt^2} + g \right), \quad (3)$$

$$N = m \frac{d^2x_p}{dt^2}, \quad (4)$$

$$\frac{d^2x_p}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2} + L \sin(\theta) \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 - L \cos(\theta) \frac{d^2\theta}{dt^2}, \quad (5)$$

$$\frac{d^2y_p}{dt^2} = -L \cos(\theta) \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 - L \sin(\theta) \frac{d^2\theta}{dt^2}. \quad (6)$$

### Линеаризация системы

После построения математической модели требовалась ее линеаризация для последующего синтеза регулятора.

По причине того, что положение маятника стабилизируется около нулевого угла отклонения, появляется возможность произвести ряд замен.

Подстановка дала новые уравнения движения (7) и (8).

$$(I + ml^2)\ddot{\phi} - mgl\phi = ml\ddot{x}, \quad (7)$$

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} - ml\ddot{\phi} = u. \quad (8)$$

Затем было проведено преобразование Лапласа и получены уравнения (9) и (10).

$$(I + ml^2)\Phi(s)s^2 - mgl\Phi(s) = mlX(s)s^2, \quad (9)$$

$$(M + m)X(s)s^2 + bX(s)s - ml\Phi(s)s^2 = U(s). \quad (10)$$

### Получение передаточной функции

После получения линеаризованных уравнений была получена возможность построения передаточной функции обратного маятника на каретке.

В качестве входа системы была выбрана  $U(s)$  (прикладываемая сила),  $X(s)$  – положение каретки на прямой, а выходом установлен  $\Phi(s)$  (угол отклонения маятника от нулевого положения). Далее было составлено уравнения положения коретки (11).

$$X(s) = \left[ \frac{(I+ml^2)}{ml} - \frac{g}{s} \right] \cdot U(s) \quad (11)$$

Для большего удобства была произведена замена (12).

$$q = [(M+m)(I+ml^2) - (ml)^2]. \quad (12)$$

И результатом замены стала передаточная функция (13).

$$\frac{\Phi(s)}{U(s)} = \frac{\frac{ml}{q}s^2}{s^4 + \frac{b(I+ml^2)}{q}s^3 - \frac{(M+m)mgl}{q}s^2 - \frac{bmgl}{q}s} \quad (13)$$

После сокращения был получен законченный вид передаточной функции (14).

$$\frac{\Phi(s)}{U(s)} = \frac{\frac{ml}{q}s}{s^3 + \frac{b(I+ml^2)}{q}s^2 - \frac{(M+m)mgl}{q}s - \frac{bmgl}{q}} \quad (14)$$

А в уравнение (15) демонстрирует передаточную функцию положения каретки:

$$\frac{X(s)}{U(s)} = \frac{\frac{(I+ml^2)}{q}s^2 - \frac{mlg}{q}}{s^4 + \frac{b(I+ml^2)}{q}s^3 - \frac{(M+m)mgl}{q}s^2 - \frac{bmgl}{q}s} \quad (15)$$

После простого анализа уравнений (14) и (15) можно понять, что был получен объект неминимально-фазового типа. Задача управления такими объектами была описана в большом количестве источников, которые, в свою очередь, также использовали средства моделирования MATLAB Simulink [4]. Типовым решением данной задачи является создание системы адаптивного управления с наблюдателем или эталонной моделью [5, 6]. Это мотивирует производить поиск более простых в реализации регуляторов, поэтому далее и рассматривается получение максимально простой системы управления.

### Метод полиномиальных уравнений и символьных вычислений при проектировании алгоритмов управления

Синтез регуляторов, управляющих сложными системами, является многокритериальной проблемой, которую затруднительно ограничить одним критерием оптимизации.

Использование в качестве координатного базиса пространства состояний также не всегда возможно, так как зачастую точная модель объекта не всегда доступна. Синтез классическими операторными методами в настоящее время становится все более популярным и привлекает исследователей [6, 7]. Из-за явной нехватки доступных для инженерной практики методов проектирования, позволяющих обеспечить высокую эффективность и точность управляемых систем, возникает насущная потребность в их разработке.

В развитии популярных алгебраических методов синтеза регуляторов изучаются возможности численно-аналитического подхода на основе решения систем нелинейных алгебраических уравнений и неравенств [8]. Новым подходом является использование математического инструментария компьютерной алгебры и полиномиальных уравнений.

Стандартной является задача синтеза системы управления методом численного решения систем линейных полиномиальных уравнений относительно комплексной переменной  $p$ , для объекта с передаточной функцией  $W_0(p)=B(p)/A(p)$  и желаемого эталона (характеристического полинома) системы управления  $C(p)$ , заданных в численном виде, которая заключается в следующем [7, 8].

Требуется найти численные значения неизвестных параметров передаточной функции  $W(p)=Y(p)/X(p)$ , доставляющего ту или иную степень приближения свойств замкнутой системы к желаемому эталону. Все желаемые полюсы системы, являющиеся корнями полинома  $C(p)$ , устанавливаются заранее. Полиномиальное уравнение синтеза (16) решается в численном виде относительно неизвестных полиномов  $X(p), Y(p)$ :

$$A(p)X(p)+B(p)Y(p)=C(p). \quad (16)$$

Новая постановка задачи численно-аналитического синтеза состоит в замене численных значений параметров объекта и эталона на аналитические эквиваленты. Для объекта и желаемого эталона системы управления  $Z(p, \alpha_i, \beta_j, \gamma_j)$ , заданных в аналитическом либо в численно-аналитическом виде, необходимо найти численно-аналитические значения параметров регулятора  $W(p)=Y(p)/X(p)$ , а затем, после анализа полученных аналитических соотношений, можно определить те численные значения параметров, которые отвечают комплексу технических требований к управляемой системе при ее текущем состоянии в данный момент времени. Полиномиальное уравнение синтеза (17) решается в символьном либо в численно-аналитическом виде относительно неизвестных полиномов  $X(p), Y(p)$  и  $Z(p)$ :

$$\begin{aligned} A(p)X(p) + B(p)Y(p) &= Z(p, \alpha_i, \beta_j, \gamma_j), \\ Z(p, \alpha_i, \beta_j, \gamma_j) &= \prod_{i,j} (p + \alpha_i) * (p^2 + \beta_j p + \gamma_j). \end{aligned} \quad (17)$$

При этом параметры эталона  $\alpha_i, \beta_j, \gamma_j$ , определяющие величины желаемых полюсов синтезируемой замкнутой системы, должны иметь вещественные положительные значения. С учетом этого, и приравнивая коэффициенты при различных степенях переменной  $p$  в уравнении синтеза, получаем систему нелинейных уравнений и неравенств. Решение последней позволяет определить, существует ли в пространстве варьируемых параметров эталона и регулятора заданного порядка, такая точка или область, которая удовлетворяет построенной системе нелинейных уравнений и неравенств.

Метод полиномиальных уравнений дает возможность получить регулятор для объекта сколь угодно высокого порядка и с любым порядком астатизма.

Особенность аналитически заданного эталона – области локализации корней характеристического полинома являются в общем случае неопределенными и рассредоточенными в комплексной полуплоскости. При необходимости обеспечения требуемых динамических свойств проектируемой системы, часть доминирующих корней эталона  $Z(p, \alpha_i, \beta_j, \gamma_j)$  может быть назначена в численном виде.

### Синтез регулятора

В ходе выполнения представленной работы решалась задача синтеза полиномиального регулятора минимального порядка, который отвечал бы всем поставленным требованиям по качеству управления [11,12].

С целью уменьшения порядка передаточной функции каретки было отброшено трение каретки. Результирующее уравнение показано в (18).

$$\frac{\Phi(s)}{U(s)} = \frac{\frac{ml}{q}}{s^2 - \frac{(M+m)mgI}{q}} \quad (18)$$

После подстановки начальных условий получена (19).

$$w_0 = \frac{50}{11s^2 - 343} \quad (19)$$

Благодаря тому, что (21) имеет второй порядок, возможен синтез полиномиального регулятора первого порядка, посредством метода символьного решения систем дифференциальных уравнений по методике, показанной в [7].

Используя описание синтеза полиномиального регулятора, представленное в [12], была получена передаточная функция регулятора  $W_p$ .

В процессе синтеза в систему уравнений был введен еще один параметр, который являлся дополнительным входом итогового регулятора. Этот параметр представляет собой среднегеометрический корень характеристического уравнения ( $\Omega$ ), через который возможно управление полосой пропускания.

Результирующая передаточная функция регулятора  $W_p$  с дополнительным параметром  $\Omega$  представлена в (20).

$$W = \frac{(0.66\Omega^2 + 6.86)s + (0.22\Omega^3 + 20.58\Omega)}{s + 3\Omega} \quad (20)$$

#### Анализ работы системы

В результате построения работоспособной модели всей системы управления было необходимо получить зависимость времени установки от начального угла, а так же зависимость времени установки от полосы пропускания.

Далее временем установки называется время, которое требовалось маятнику для установки в положение с углом отклонения менее 0.01 радиан.

На рис. 6 приведена осциллограмма, посредством которой производится оценка времени установки маятника. В качестве начального был выбран угол 0.5 радиан, а среднегеометрический корень равен 36.

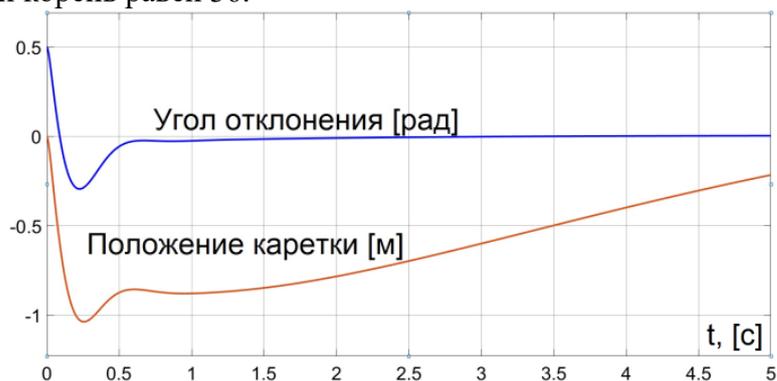
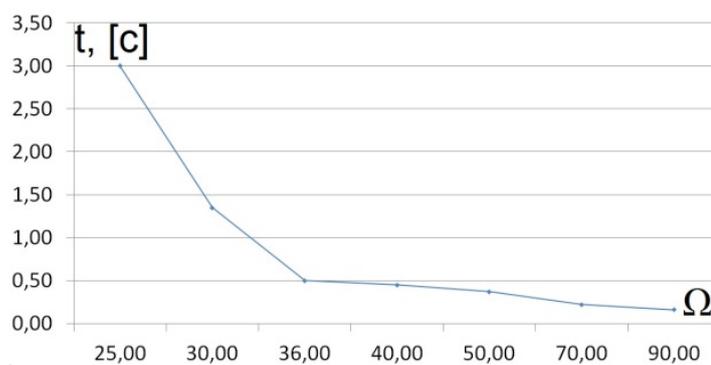


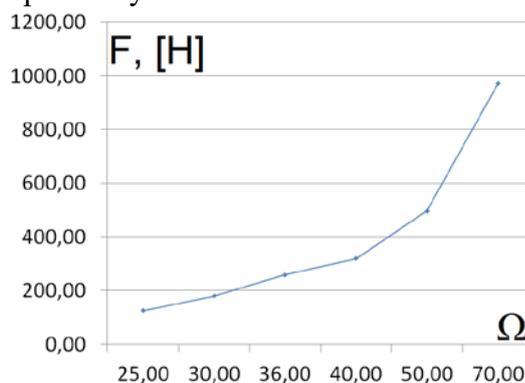
Рис. 4 - Осциллограмма выхода маятника

Анализируя рисунок 4, можно сделать выводы, что время установки составило две секунды. Это значение обусловлено небольшим значением среднегеометрического корня и значительным углом начального отклонения.

А после проведения серии экспериментов при начальном угле отклонения равном 0.3 радианы. Был получен график зависимости времени установки от  $\Omega$ , представленный на рисунке 5.

Рис. 5 - График зависимости времени установки от  $\Omega$ 

На рис. 6 показана зависимость максимального уровня управляющих воздействий от значения  $\Omega$  при неизменном стартовом угле.

Рис. 6 - Зависимость максимального уровня управляющих воздействий от значения  $\Omega$ 

Для проверки области притяжения были проведен ряд экспериментов, которые показали, что при применении регулятора каретки, оказывающего существенное воздействие на ее положение, она ограничена углом отклонения в один радиан.

### Выводы

В ходе моделирования синтезированной системы управления и последующих экспериментов была установлена прямая зависимость скорости установки от среднегеометрического корня.

Также подтверждена возможность управления уровнем управляющих воздействием, что позволило контролировать насыщение исполнительных устройств.

Сравнение полиномиального регулятора с ПИД-регулятором показало, что при малых углах отклонения регуляторы работают с сопоставимым качеством, но, при увеличении начального угла маятника, полиномиальный регулятор работает лучше.

Фактически была подтверждена возможность внешнего параметрического управления динамикой процессов, причем описанный регулятор не требует адаптации и обучения.

### Библиографический список

1. **Boubaker O.** The Inverted Pendulum Benchmark in Nonlinear Control Theory: A Survey// International Journal of Advanced Robotic Systems – 2013. – Volume: 10, issue: 5.
2. **Krishna N.** Modeling and controller design of cart inverted pendulum system using MRAC scheme // Frontiers of current trends in engineering and technology – 2016. – SI:1, pp. 21 – 24.

3. **Гудвин, Г. К.**: Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо // М. : БИНОМ. Лаборатория знаний – 2004. – 911 с.
4. **Андриевский Б.Р.** Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке Matlab / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков // СПб. : Наука – 1999. – 467 с.
5. **Изерман Р.** Цифровые системы управления // М.: Мир – 1984. – 541 с.
6. **Круглов С.П.** Адаптивное управление неминимально-фазовым скалярным объектом второго порядка с обеспечением заданных характеристик переходного процесса // Научный вестник НГТУ – 2016 – т. 65, №4 – С. 33-53.
7. **Гайдук А.Р.** Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления – М.: Физматлит – 2012. – 360 с.
8. **Ким Д.П.** Алгебраические методы синтеза систем автоматического управления. – М.: Физматлит – 2014. -164 с.
9. **Захватов В.И.** Развитие алгебраических методов синтеза систем управления // Некоторые вопросы анализа, алгебры, геометрии и математического образования. – 2016 – № 5-1. С. 133-134.
10. **Михайлузов А.В.** К задаче полиномиального синтеза цифровых систем управления // Воронеж: МКМИТУ. – 2016 – С. 138-142.
11. **Тарарыкин С. В.** Методика проектирования цифровых полиномиальных регуляторов электромеханических систем // Вестник ИГЭУ – 2005. – Вып. 3. – С. 23-29.
12. **Захватов В.И.** Методы компьютерной алгебры полиномов в задачах автоматического управления // Сборник трудов. XIII Всероссийское совещание по проблемам управления М.: ИПУ РАН. – 2019 – С. 141-147.

### References

1. **Boubaker O.** The Inverted Pendulum Benchmark in Nonlinear Control Theory: A Survey// International Journal of Advanced Robotic Systems – 2013. – Volume: 10, issue: 5.
2. **Krishna N.** Modeling and controller design of cart inverted pendulum system using MRAC scheme // Frontiers of current trends in engineering and technology – 2016. – SI:1, pp. 21 – 24.
3. **Gudvin, G. K.** Proektirovanie system upravleniya / G. K. Gudvin, S. F. Grebe, M. E. Sal'gado // М. : BINOM. Laboratoriya znaniy – 2004. – 911 s.
4. **Andrievskij B.R.** Izbrannye glavy teorii avtomaticheskogo upravleniya s primerami na yazyke Matlab / B.R. Andrievskij, A.L. Fradkov // SPb. : Nauka – 1999. – 467 s.
5. **Izerman R.** Cifrovye sistemy upravleniyam // М.: Mir – 1984. – 541 s.
6. **Kruglov S.P.** Adaptivnoe upravlenie neminimal'no-fazovym skalyarnym ob"ektomvtorogo poryadka s obespecheniem zadannyh harakteristik perekhodnogo processa // Nauchnyj vestnik NGTU – 2016 – t. 65, №4 – S. 33-53.
7. **Gajduk A.R.** Teoriya i metody analiticheskogo sinteza sistem avtomaticheskogo upravleniya – М.: Fizmatlit – 2012. – 360 s.
8. **Kim D.P.** Algebraicheskie metody sinteza sistem avtomaticheskogo upravleniya. – М.: Fizmatlit – 2014. -164 s.
9. **Zahvatov V.I.** Razvitie algebraicheskikh metodov sinteza sistem upravleniya // Nekotorye voprosy analiza, algebrы, geometrii i matematicheskogo obrazovaniya. – 2016 – № 5-1. S. 133-134.
10. **Mihajlusov A.V.** K zadache polinomial'nogo sinteza cifrovyh sistem upravleniya // Voronezh: MKMITU. – 2016 – S. 138-142.

11. **Tararykin S. V.** Metodika proektirovaniya cifrovyyh polinomial'nyh regulyatorov elektromekhanicheskikh sistem // Vestnik IGEU – 2005. – Vyp. 3. – S. 23-29.
12. **Zahvatov V.I.** Metody komp'yuternoj algebry polinomov v zadachah avtomaticheskogo upravleniya // Sbornik trudov. XIII Vserossijskoe soveshchanie po problemam upravleniya M.: IPU RAN. – 2019 – S. 141-147.

УДК 681.121.84

**Г.Н. МАРТЫНЕНКО<sup>1</sup>, В.В. УХЛОВА<sup>2</sup>, З.Б. АБДУЛАЕВ<sup>3</sup>, А.Н. ЧЕРНЫХ<sup>4</sup>****ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ  
В ОТРАСЛЕВОМ ФОНДЕ АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ,  
В ВЫСШЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ***Воронежский государственный технический университет<sup>1,3,4</sup>**Россия, г. Воронеж**Воронежский государственный университет<sup>2</sup>**Россия, г. Воронеж*

Программный продукт в высшем образовании позволяет осуществить моделирование любых сетей - связи, гидравлические. Можно оптимизировать уже имеющуюся сеть, ее отдельные сегменты. В ходе моделирования учитываются значения емкостей узлов сети, пропускные способности линий связи между ними, сведения о нагрузке сети (направление связи и объем целевого продукта). Моделирование сети заключается в анализе компонентов сети и, в случае положительного решения о допустимости, в составлении маршрутов для пропуска заданного трафика. Оптимизация сети предполагает составление маршрутов для пропуска трафика с критерием минимизации количества транзитных узлов. В программе в качестве узлов сети могут быть введены любые устройства, описанные типовым образом.

**G.N. MARTYNENKO<sup>1</sup>, V.V. UHLOVA<sup>2</sup>, Z.B. ABDULAEV<sup>3</sup>, A.N. CHERNYKH<sup>4</sup>****USE OF SOFTWARE PRODUCTS REGISTERED IN THE INDUSTRIAL FOUNDATION  
OF ALGORITHMS AND PROGRAMS IN THE HIGHER VOCATIONAL EDUCATION***Voronezh state technical university<sup>1,3,4</sup>**Russia, Voronezh**Voronezh State University, <sup>2</sup>**Russia, Voronezh*

The software product in higher education allows you to model any networks - communications, hydraulic. It is possible to optimize an existing network, its individual segments. During the simulation, the values of the capacities of the network nodes, the throughput of the communication lines between them, information about the network load (communication direction and the volume of the target product) are taken into account. Network modeling consists in analyzing network components and, in the case of a positive decision on admissibility, in drawing up routes to pass a given traffic. Network optimization involves the preparation of routes for traffic passage with the criterion of minimizing the number of transit nodes. In the program, any devices described in a typical way can be entered as network nodes.

**Ключевые слова:** моделирование сети, оптимизация сети, маршрутизация потоков.**Keywords:** network modeling, network optimization, flow routing.**Введение**

На сегодняшний день в расчетных и научно-исследовательских целях применяются программы: «Моделирование сети связи» и «Расчет параметров сети для реализации процессов оперативного управления системой газоснабжения низкого давления», зарегистрированные в Отраслевом фонде алгоритмов и программ соответственно свидетельства о регистрации №11938, №11939 [1, 2]. Назначение разработки «Моделирование сети связи» необходимо для определения значений емкостей узлов сети и

пропускных способностей линий связи (гидравлических сетей) для возможности пропуска трафика (целевого продукта) через сеть и для детализации пропуска трафика (расходов среды) в различных направлениях. Оптимизация сети необходима для детализации распределения трафика (расходов) по сети с более оптимальным использованием ресурсов, тем самым, уменьшая загрузку соединительных линий и коммутирующих устройств.

Программа «Расчет параметров сети для реализации процессов оперативного управления системой газоснабжения низкого давления» позволяет осуществить расчет параметров сети для реализации процессов оперативного управления. В процессе расчета учитываются длина участков, наружный диаметр труб, коэффициент гидравлического сопротивления участков. Расчет осуществляется на основе модели управления функционированием сети низкого давления.

### **Программа «Моделирование сети связи»**

Программа «Моделирование сети связи» предназначена для моделирования и оптимизации сети связи, а также применима к любой гидравлической сети. В результате работы программы определяются значения емкостей узлов сети и значения пропускных способностей линий связи, а также выдается таблица маршрутов для пропуска необходимого информационного потока.

Для моделирования сети необходимо задать предполагаемые значения количества узлов сети, задать их тип, определяющий емкость, указать пропускные способности линий связи между ними, задать требования по трафику (направления и объемы целевого потока в каждом направлении). В процессе моделирования принимается решение о возможности сети пропустить заданный трафик и, в случае положительного решения о допустимости сети, выдается таблица маршрутов для его пропуска. Таблица маршрутов содержит информацию о направлении связи, объеме трафика в направлении и маршруте соединения. Сам маршрут представляется в виде списка узлов сети с указанием типа используемого оборудования, по которым следует осуществлять соединение в указанном направлении.

При оптимизации сети необходимо задать существующие значения количества узлов сети, их тип, пропускные способности линий связи между ними, требования по объемам передачи в разных направлениях. В процессе оптимизации выдается таблица маршрутов, составленных по алгоритму кратчайшего пути. Построение списка маршрутов осуществляется в текстовом формате.

При некорректном вводе исходной информации появляется сообщение о невозможности моделирования сети. При этом необходимо проверить задаваемое количество, тип узлов сети и объем информационного потока.

Исходными данными для моделирования сети (сегмента сети) служат:

1. Количество узлов сети (сегмента), шт.
2. Емкости узлов сети. Значение емкости узла определяется по данным типа и структуры узла. В качестве узла сети может быть выбрано любое устройство, осуществляющее коммутацию и описанное типовым образом.
3. Объем информационного потока в каждом направлении (задается в виде таблицы соответствия связей по направлениям).
4. Пропускные способности линий (задаются в виде таблицы соответствия значений между узлами сети).

По заданным исходным данным определяется емкость узлов, соответствующая значениям типа узла, составляются матрица пропускных способностей и матрица информационных потоков. Проектирование сети осуществляется по алгоритму (рис. 1).

Программа разработана в среде визуального программирования Delphi 4/Client/Server Suite и рассчитана для использования в операционной системе Windows. Программа имеет стандартные органы управления и настройки, а также типичный для Windows интерфейс. Работа с программой не требует специальных знаний. Вывод на печать может производиться как из самой программы, так и стандартными средствами Office.

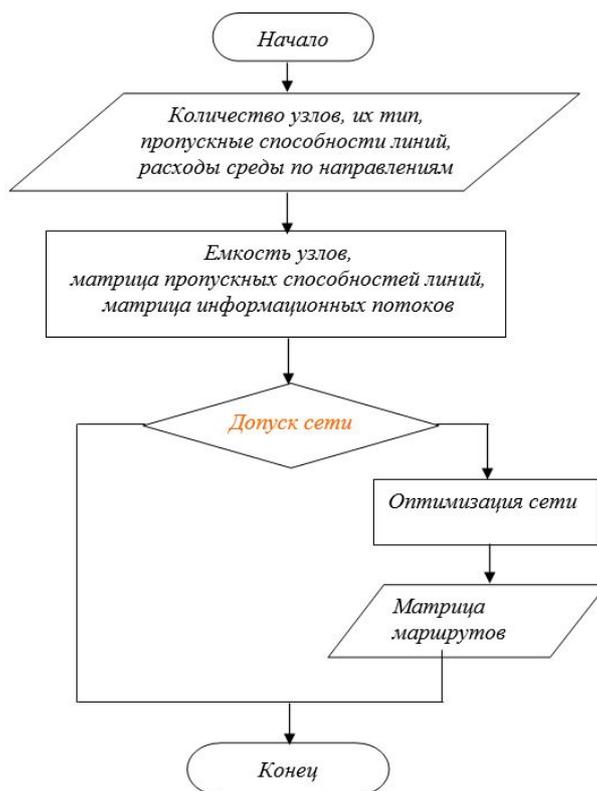


Рис. 1 – Алгоритм программы «Моделирование сети связи»

### Программа «Расчет параметров сети для реализации процессов оперативного управления системой газоснабжения низкого давления»

Программа «Расчет параметров сети для реализации процессов оперативного управления системой газоснабжения низкого давления» предназначена для вычисления основных параметров дросселей регулируемых участков сети для реализации процессов оперативного управления системой газоснабжения низкого давления. Результатом работы программы является таблица соответствия коэффициентов гидравлического сопротивления и величины расхода газа по участкам сети.

Для проведения расчета необходимо предоставить по каждому участку сети данные о длине участка, диаметре трубопровода, величине потерь давления, расходе газа, указать значения коэффициентов гидравлического сопротивления на существующем и новом трубопроводе. Данные расчета базируются на значениях прогноза расхода газа на каждом участке, по ним осуществляется расчет относительного отклонения расхода газа на участке сети.

Расчет осуществляется согласно модели оперативного управления сетью низкого давления. Выполнение в расчете большого количества итераций обеспечивает высокую точность расчетов. Результаты представляются в табличном виде.

Исходными данными для расчета служат:

1. Величина потери давления на участке сети, даПа.
2. Расчетный расход газа на участке, куб.м/ч.
3. Коэффициент гидравлического усиления на существующем участке.
4. Коэффициент гидравлического усиления на новом участке.
5. Количество итераций расчета.

По заданным исходным данным определяется по соответствующим формулам относительное отклонение расхода газа на участке:

$$d\bar{Q}_i^{z(n)} = \frac{2(Q_{npi} - Q_i^{(0)})}{(Q_{npi} + Q_i^{(0)})K}, \quad (1)$$

где  $K$  - количество итераций;  $Q_{npi}$  - прогноз расхода газа на участке;  $Q_i^{(0)}$  - начальное значение (нулевая итерация) расчетного расхода газа

$$Q_i^{z(n)} = Q_i^{z(n-1)} + Q_i^{z(n-1)} d\bar{Q}_i^{z(n)}. \quad (2)$$

По полученным значениям составляется система линейных уравнений вида  $AX = F$ , где:  $A$  – матрица, состоящая из коэффициентов уравнений модели оперативного управления при переменных  $dQ_i$  и  $dS_i$ ;  $F$  - вектор, значениями которого являются правые части уравнений модели [3-12]. Из решения полученной системы линейных уравнений находятся значения  $dQ_i$  и  $dS_i$ . Значения  $dP_i$ ,  $S_i$  и  $Q_i$  для следующей итерации вычисляются из найденных  $dQ_i$  и  $dS_i$  по зависимостям  $S_i = S_i + S_i \cdot dS_i$ ,  $Q_i = Q_i + Q_i \cdot dQ_i$ ,  $dP_i = S_i \cdot Q_i^{1.75}$ , где:  $S_i$  - коэффициент гидравлического сопротивления на существующем участке;  $Q_i$  - расчетный расход газа на участке;  $dP_i$  - величина потери давления на участке сети;  $dQ_i$  - относительное отклонение расхода газа на участке;  $dS_i$  - относительное отклонение коэффициента гидравлического сопротивления на участке. Расчет продолжается, пока не будет достигнуто требуемое число итераций. Для начала расчета необходимо указать имя файла с исходными данными для начальной итерации, выбрать макет расчета и задать число итераций. Вывод значений, полученных при расчете, осуществляется записью в файл выбранного формата (.txt или .xls).

Работа с программой требует специальных знаний. Вывод на печать производится стандартными средствами Office. Интерфейс на английском и русском языках (рис.2). В программе предусмотрено сохранение промежуточных значений расчетов на заданных этапах вычислений. Выполнение расчета осуществляется по следующему алгоритму (рис. 3). Программа разработана в системе MATLAB R2007b с использованием пакета расширения GUI и рассчитана для использования в операционной системе Windows NT и выше. Программа имеет стандартные органы управления и настройки, а также типичный для Windows интерфейс.

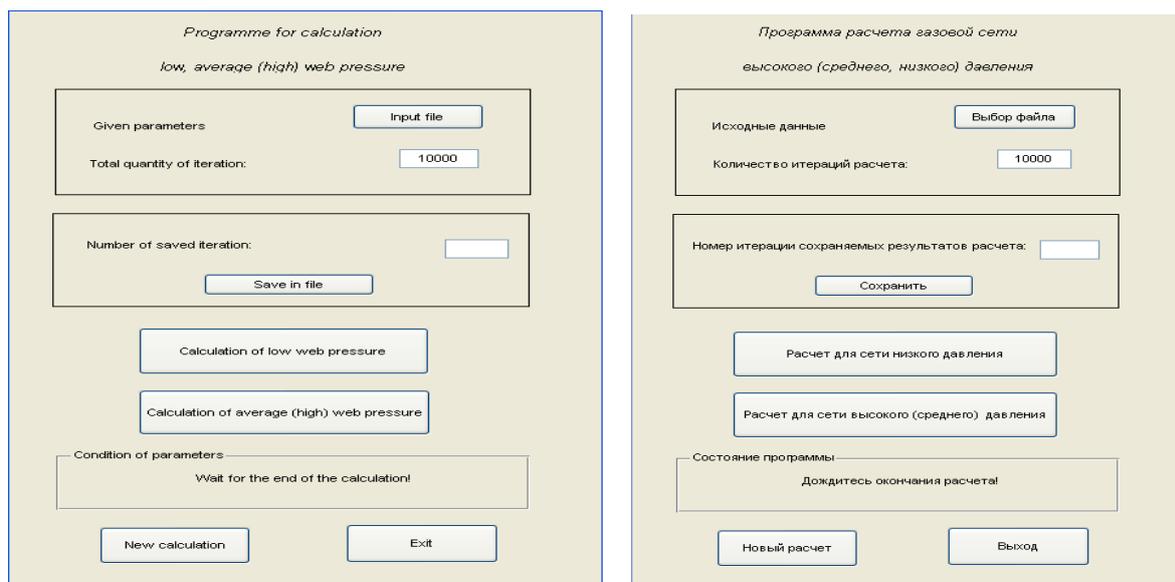
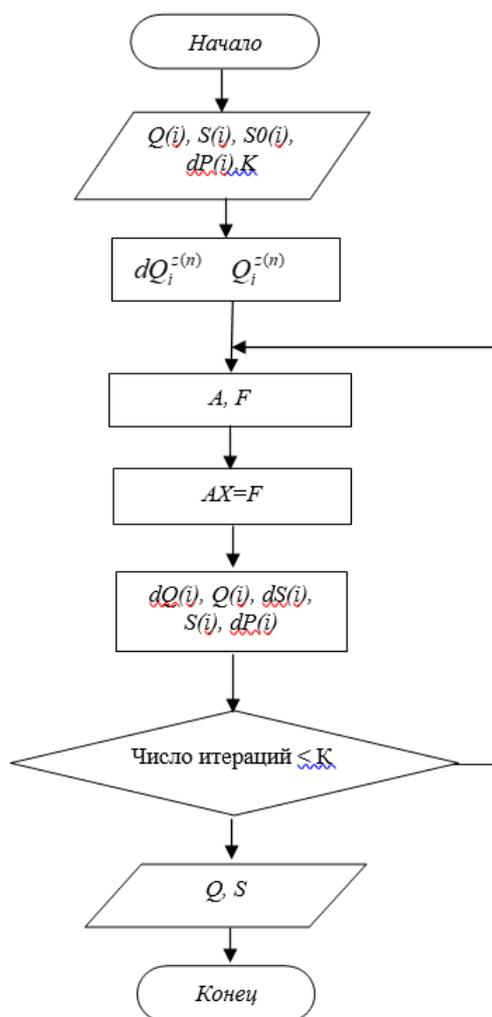


Рис. 2 – Интерфейс программы



**Рис. 3** – Алгоритм программы «Расчет параметров сети для реализации процессов оперативного управления системой газоснабжения низкого давления»

### Выводы

Описанные выше программные продукты прошли регистрацию в «Национальном информационном фонде неопубликованных документов» и предъявлены в отраслевой фонд алгоритмов и программ. Выданы свидетельства о регистрации ОФАП № 11938 «Расчет параметров сети для реализации процессов оперативного управления системой газоснабжения низкого давления», № 11939 программа «Моделирование сети связи. Представленные алгоритмы отличаются от ранее существующих применением факторного анализа в сетевых системах. Продукты используются обучающимися бакалавриата и магистратуры направления Строительство всех профилей и программ.

### Библиографический список

1. **Мартыненко Г.Н.** Расчет параметров сети для реализации процессов оперативного управления системой газоснабжения низкого давления [Программный продукт] / Мартыненко Г.Н., Ухлова В.В.// Отраслевой фонд алгоритмов и программ. Св-во рег. №11938, гос. рег. № 50200802430. – Москва.

2. **Мартыненко Г.Н.** Программа «Моделирование сети связи» [Программный продукт] / Мартыненко Г.Н., Ухлова В.В. // Отраслевой фонд алгоритмов и программ. Св-во рег. №11939, гос. рег. № 50200802431. – Москва.
3. **Мартыненко Г.Н.** Анализ существующей схемы управления газопотоками в городских системах газоснабжения и перспективы ее развития в рамках оперативного управления [Текст] / Мартыненко Г.Н., Панов М.Я. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2005. – № 2. – С. 23-26.
4. **Панов М.Я.** Моделирование процессов оперативного управления городскими системами газоснабжения на основе дроссельных характеристик с использованием современных ультразвуковых методов замера расхода газа [Текст] / Панов М.Я., Мартыненко Г.Н. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 152-156.
5. **Лукьяненко В.И.** Оперативное управление функционированием городских систем газоснабжения [Текст] / Лукьяненко В.И., Мартыненко Г.Н., Панов М.Я. // в сборнике: Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения. Труды научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – 2012. – С. 89-94.
6. **Мартыненко Г.Н.** Оперативное управление газораспределительной системой на основе модели возмущенного состояния [Текст] / Мартыненко Г.Н., Гнатюк С.Н. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1 (6). – С. 36-42.
7. **Мартыненко Г.Н.** Исследование вариантов установки регуляторов расхода на газоснабжающей системе [Текст] / Мартыненко Г.Н., Лукьяненко В.И., Исанова А.В. // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения. – 2018. – № 1. – С. 13-17.
8. **Алдалис Х.** Формирование математической модели оперативного управления функционированием систем газоснабжения с использованием узловой схемы отбора путевой нагрузки [Текст] / Алдалис Х., Панов М.Я., Мартыненко Г.Н. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1 (1). – С. 75-80.
9. **Алдалис Х.** Разработка новой схемы газораспределения и управления функционированием городских систем газоснабжения низкого давления [Текст] / Алдалис Х., Панов М.Я., Мартыненко Г.Н. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1 (13). – С. 28-36.
10. **Панов М.Я.** Алгоритм идентификации гидравлических характеристик управляемых дросселей на ветвях структурного графа абонентских подсистем [Текст] / Панов М.Я., Мартыненко Г.Н., Дмитриев И.А. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3 (11). – С. 106-112.
11. **Панов М.Я.** Использование системы Matlab для моделирования процесса управления функционированием систем газоснабжения [Текст] / Панов М.Я., Мартыненко Г.Н., Ухлова В.В., Колосов А.И. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 (367). – С. 239-243.
12. **Martynenko G.N.** Prospects for the development of the gas supply system of the city district of voronezh for the period till 2035 [Электронный] / Martynenko G.N., Kitaev D.N., Sedaev A.A. // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – № 4 (40). – С. 26-39.

## References

1. **Martynenko G.N.** Raschet parametrov seti dlya realizatsii protsessov operativ-nogo upravleniya sistemoy gazosnabzheniya nizkogo davleniya [Programmnyy produkt] / Martynenko G.N., Ukhlova V.V. // Otrasleyvoy fond algoritmov i programm. Sv-vo reg. №11938, gos. reg. № 50200802430. – Moskva.
2. **Martynenko G.N.** Programma «Modelirovaniye seti svyazi» [Programmnyy produkt] / Martynenko G.N., Ukhlova V.V. // Otrasleyvoy fond algoritmov i programm. Sv-vo reg. №11939, gos. reg. № 50200802431. – Moskva.
3. **Martynenko G.N.** Analiz sushchestvuyushchey skhemy upravleniya gazopotokami v go-rodskikh sistemakh gazosnabzheniya i perspektivy yeye razvitiya v ramkakh operativnogo upravleniya [Tekst] / Martynenko G.N., Panov M.YA. // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Inzhenernyye sistemy zdaniy i sooruzheniy. – 2005. – № 2. – S. 23-26.
4. **Panov M.YA.** Modelirovaniye protsessov operativnogo upravleniya gorodskimi sistemami gazosnabzheniya na osnove drossel'nykh kharakteristik s ispol'zovaniyem sovremennykh ul'trazvukovykh metodov zamera raskhoda gaza [Tekst] / Panov M.YA., Martynenko G.N. // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – T. 4. – № 1. – S. 152-156.
5. **Luk'yanenko V.I.** Operativnoye upravleniye funktsionirovaniyem gorodskikh sistem gazosnabzheniya [Tekst] / Luk'yanenko V.I., Martynenko G.N., Panov M.YA. // v sbornike: Fiziko-tekhnicheskiye problemy energetiki, ekologii i energoresursosberezheniya. Trudy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. – 2012. – S. 89-94.
6. **Martynenko G.N.** Operativnoye upravleniye gazoraspredelitel'noy sistemoy na osnove modeli vozmushchonnogo sostoyaniya [Tekst] / Martynenko G.N., Gnatyuk S.N. // Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. – 2012. – № 1 (6). – S. 36-42.
7. **Martynenko G.N.** Issledovaniye variantov ustanovki regulyatorov raskhoda na gazosnabzhayushchey sisteme [Tekst] / Martynenko G.N., Luk'yanenko V.I., Isanova A.V. // Nauchno-tekhnicheskiye problemy sovershenstvovaniya i razvitiya sistem gazoenergосnabzheniya. – 2018. – № 1. – S. 13-17.
8. **Aldalis KH.** Formirovaniye matematicheskoy modeli operativnogo upravleniya funktsionirovaniyem sistem gazosnabzheniya s ispol'zovaniyem uzlovoy skhemy otbora putevoy nagruzki [Tekst] / Aldalis KH., Panov M.YA., Martynenko G.N. // Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. – 2009. – № 1 (1). – S. 75-80.
9. **Aldalis KH.** Razrabotka novoy skhemy gazoraspredeleniya i upravleniya funktsionirovaniyem gorodskikh sistem gazosnabzheniya nizkogo davleniya [Tekst] / Aldalis KH., Panov M.YA., Martynenko G.N. // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2009. – № 1 (13). – S. 28-36.
10. **Panov M.YA.** Algoritm identifikatsii gidravlicheskikh kharakteristik upravlyayemykh drosseley na vetvyakh strukturnogo grafa abonentskikh podsistem [Tekst] / Panov M.YA., Martynenko G.N., Dmitriyev I.A. // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2008. – № 3 (11). – S. 106-112.
11. **Panov M.YA.** Ispol'zovaniye sistemy matlab dlya modelirovaniya protsessa upravleniya funktsionirovaniyem sistem gazosnabzheniya [Tekst] / Panov M.YA., Martynenko G.N., Ukhlova V.V., Kolosov A.I. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017. – № 1 (367). – S. 239-243.
12. **Martynenko G.N.** Prospects for the development of the gas supply system of the city district of voronezh for the period till 2035 [Elektronnyy] / Martynenko G.N., Kitaev D.N., Sedaev A.A. // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – № 4 (40). – S. 26-39.

УДК 519.876.5

**Е.Ю. БОЗЮКОВА<sup>1</sup>, С.А. ОЛЕЙНИКОВА<sup>2</sup>****РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ СРЕДЫ ANYLOGIC**

*Воронежский государственный технический университет<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Рассматривается задача диспетчерского управления множеством специализированных транспортных единиц на примере шахтного транспорта. Целью является визуализация движения в режиме реального времени, обеспечивающая диспетчеру информацию о текущем положении железнодорожного транспорта. В качестве инструмента была выбрана среда AnyLogic. В результате получены модели перемещения специализированного железнодорожного транспорта для оценки качества составленного расписания и возможности диспетчерского управления перемещением транспортных единиц. В частности, разработаны два варианта модели, первый из которых позволяет визуализировать перемещение транспортных средств в соответствии с графиком с целью проверки корректности составленного расписания. Второй вариант предназначен для возможного диспетчерского управления при возникновении аварийных ситуаций. Он позволяет отобразить перемещение транспорта в соответствии с его реальными текущими координатами, записанными в базу данных, и формировать сигналы от диспетчера, регулирующие движение.

**E.YU. BOZUKOVA<sup>1</sup>, S.A. OLENIKOVA<sup>2</sup>****IMPLEMENTATION OF MODEL OF A SPECIALIZED RAILWAY TRANSPORT  
MOVEMENTS USING ANYLOGIC ENVIRONMENT**

*Voronezh state technical university<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

The task of supervisory control of the set of specialized transport units using mine transport as an example is considered. The aim is the visualize traffic in real time, providing the dispatcher with information about the current situation of the railway transport. AnyLogic was chosen as a tool. As a result, models of the movement of specialized railway transport were obtained to assess the quality of the compiled schedule and the possibility of supervisory control of the movement of transport units. In particular, two versions of the model have been developed, the first of which allows visualizing the movement of vehicles in accordance with the schedule in order to verify the correctness of the schedule. The second option is intended for possible supervisory control in case of emergency. It allows to display the movement of the transport in accordance with its real current coordinates recorded in the database, and generate signals from the dispatcher that regulate the movement.

**Ключевые слова:** AnyLogic, специализированный железнодорожный транспорт, модель, диспетчер.  
**Keywords:** AnyLogic, specialized railway transport, model, dispatcher.

**Введение**

Рассматривается задача управления передвижением специализированного железнодорожного транспорта. В частности, одной из областей, где данная задача будет практически значимой, является диспетчеризация шахтного транспорта. Действительно, для подземных шахт особую актуальность приобретает безопасность передвижения вагонеток, что реализуется с помощью оперативного контроля за текущим положением транспортных единиц и, при необходимости, управления движением (разрешение/запрет какому-либо транспортному средству передвигаться в данный момент времени по данному маршруту).

Решение данной задачи может быть организовано с помощью программного средства AnyLogic [1]. Эта среда позволяет не только имитировать движение любого транспорта (в том числе, и железнодорожного) с помощью богатого инструментария и широких возможностей визуализации, но и осуществлять непрерывный on-line контроль с помощью отображения в рабочем окне диспетчера текущих координат каждой транспортной единицы, которые с помощью сторонних средств должны быть записаны в базу данных.

### Постановка задачи и ее особенности

Исследуемая задача может быть сформулирована следующим образом. Пусть имеется множество маршрутов, заданных с помощью графа (рис.1). Без ограничения общности, рассматривается множество железнодорожных путей в подземной шахте. Пусть также имеется множество транспортных средств, причем для каждого транспортного средства заданы:

- маршрут передвижения;
- ориентировочное расписание.

Необходимо создать модель, позволяющую имитировать движение вагонов по заданным маршрутам в заданное время (для проверки корректности расписания) и управлять этим движением путем передачи сигналов в базу данных (в последующей реализации их сторонними средствами АСУ шахтой).

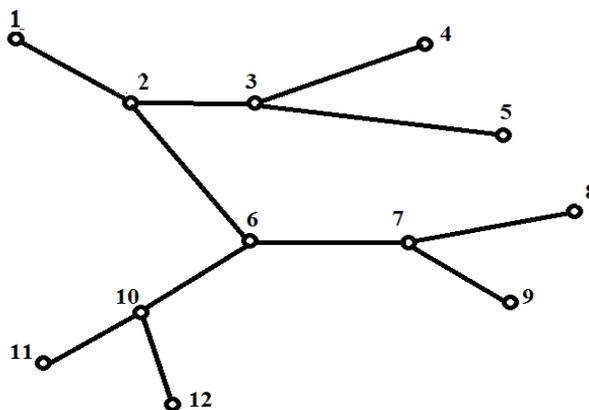


Рис. 1 – Схема представления транспортных путей

Разделим данную задачу на две подзадачи:

- моделирование передвижения транспортных средств по заданному расписанию;
- отображение в модели реального расположения транспортных средств в каждый момент времени.

Первая задача актуальна, в первую очередь, на предварительных стадиях работы шахты для того, чтобы убедиться в корректности составленного расписания и эффективности использования шахтного транспорта. После ввода расписания в эксплуатацию диспетчер должен иметь возможность постоянного on-line контроля и, при необходимости, приостановку и возобновление движения с помощью соответствующих сигналов. Сами сигналы должны быть реализованы сторонними средствами АСУ, однако, информацию об оповещении они должны извлекать из базы данных. Следовательно, как только диспетчер заметит аварийную ситуацию, он должен с помощью разработанной модели подать информацию о сигнале в базу данных.

Рассмотрим каждую из этих задач более подробно.

### Разработка модели для проверки корректности расписания

При составлении любого расписания возможна ситуация, при которой два транспортных средства окажутся на участке, представляющим собой одноклейную дорогу,

и как следствие, возникнет угроза столкновения. Для предотвращения таких ситуаций перед вводом расписания необходимо осуществить его тестирование. Самым оптимальным для этого инструментом является имитационная модель, осуществляющая визуализацию движения по заданным маршрутам в заданное время. Если в некоторый момент времени на некотором участке возникла аварийная ситуация, возможна коррекция расписания перед его вводом в реальное предприятие. В связи с этим, наличие модели, позволяющей имитировать движение по заданному маршруту и заданному расписанию, гарантирует повышение качества расписания.

Целью такой модели, как было отмечено ранее, является визуализация движения каждой транспортной единицы согласно графику, который должен храниться в базе данных. В связи с этим, для решения данной задачи необходимо:

- спроектировать структуру базы данных, позволяющую хранить сведения о транспортных средствах, маршрутах их передвижения, а также графике;
- реализовать модель, которая позволяла бы отображать перемещение каждого транспортного средства согласно графику движения.

Исходными данными для задачи является расписание, согласно которому каждое транспортное средство перемещается по своему маршруту [2]. На выходе необходимо сформировать модель, позволяющую осуществлять визуализацию движения данного средства. Исходя из этого, для реализации данной модели потребуется база данных, хранящая сведения:

- о транспортных средствах;
- о маршрутах передвижения транспортных средств;
- о расписании транспорта.

Структура базы данных, необходимая для реализации данной модели, представлена на рис. 2.

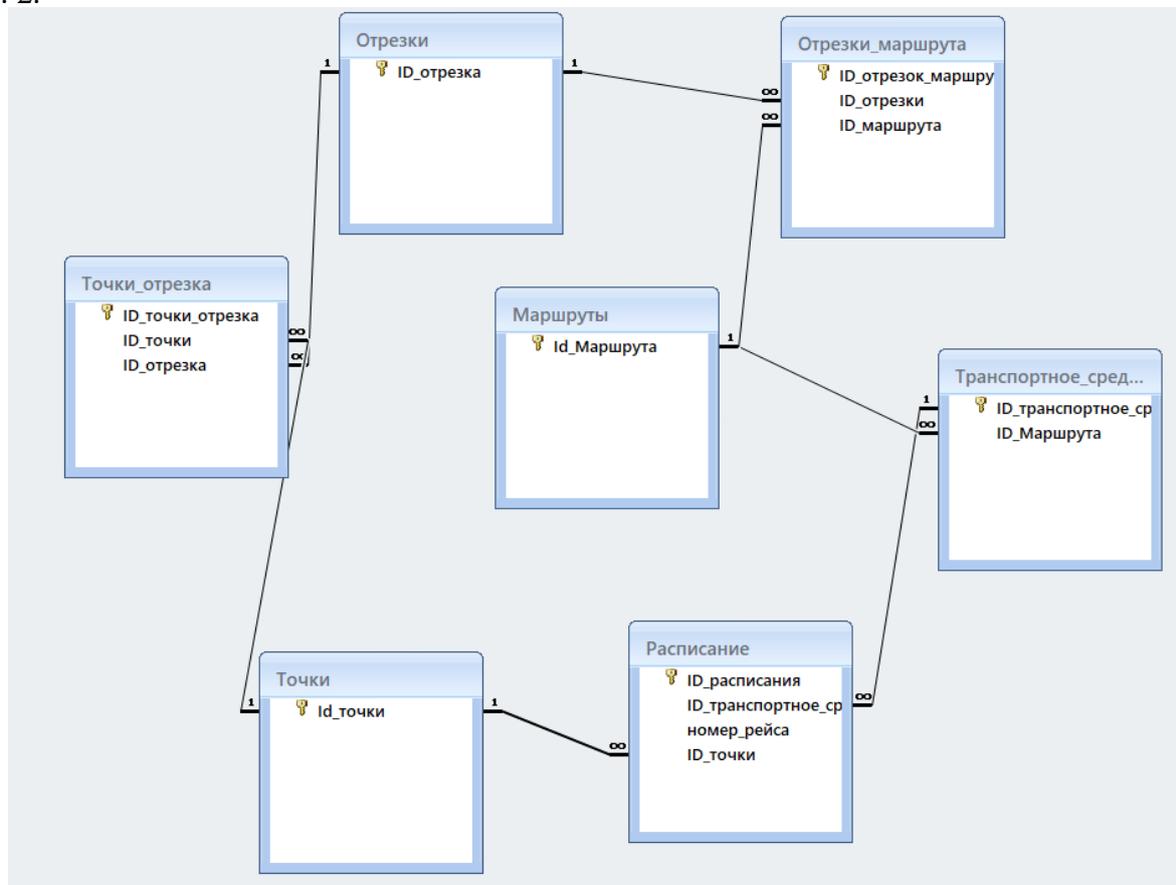


Рис. 2 – Структура базы данных

Согласно данной схеме каждый маршрут представляет из себя множество отрезков (поскольку каждый отрезок может входить в несколько маршрутов и каждый маршрут содержит несколько отрезков, отношение между данными сущностями – многие ко многим). Аналогичным образом, отрезок состоит из точек (начала и окончания отрезка). Расписание задается номером рейса (причем, если рассматривать движение из точки А в точку В, то это будет некоторый рейс  $i$ , а если рассматривать обратное движение из В в А, то это рейс  $i+1$ ), номеров транспортного средства и временем.

В качестве подхода к моделированию будет использоваться подход, основанный на агентных технологиях [3]. Каждый отдельный агент будет отвечать за свое транспортное средство. Он должен считать соответствующую информацию из базы данных (свой маршрут, время отправления и т.д.) и, согласно данной информации, осуществлять перемещение.

Общий алгоритм функционирования агента представлен на рис. 3.

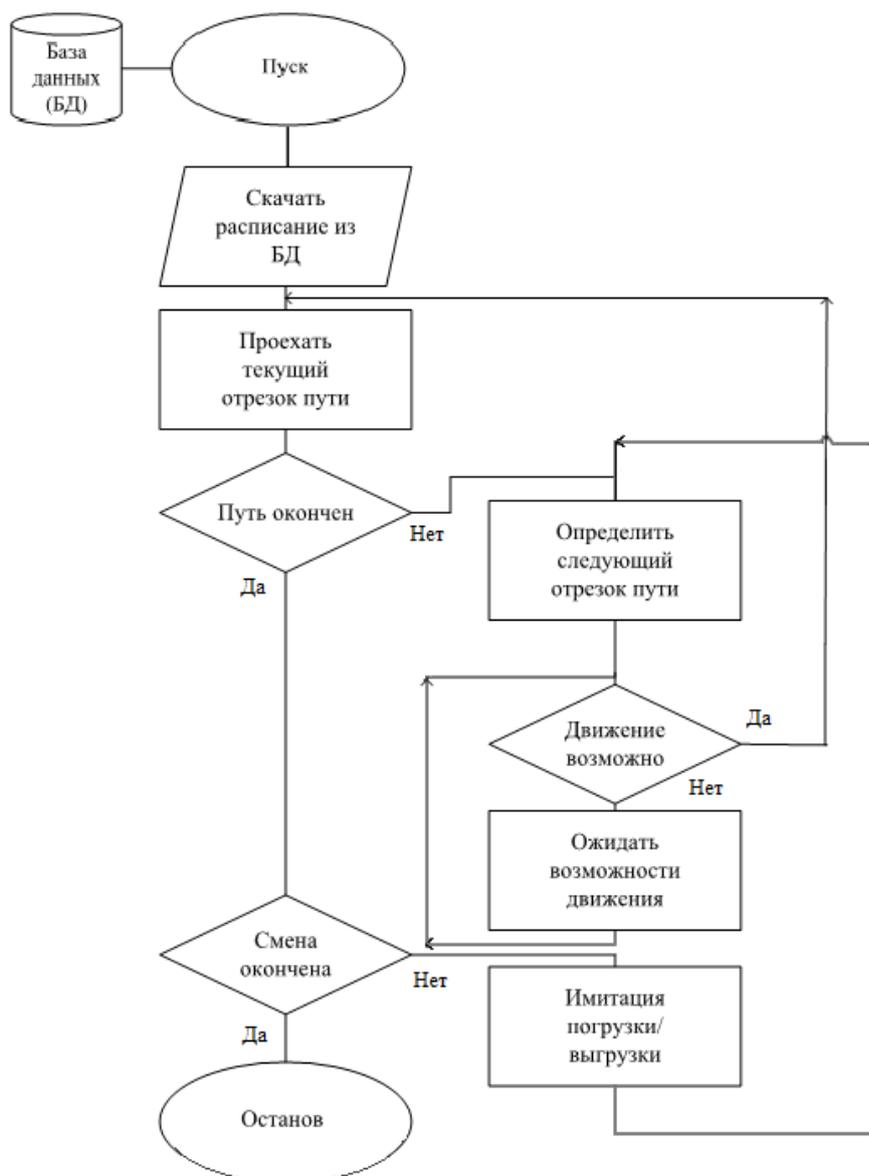


Рис. 3 – Обобщенный алгоритм функционирования агентов

В данном алгоритме учтена также возможность приостановки движения диспетчером (пользователем) перед любым сегментом. Для проверки корректности расписания данную процедуру делать не рекомендуется, но, если диспетчеру необходимо убедиться, как будет функционировать система, если, например, на некоторое время задержать определенное

транспортное средство, он может это программно сделать с помощью элементов управления. В случае, если произойдет аварийная ситуация, пользователь зафиксирует время аварии, отрезок маршрута, и внесет соответствующие изменения в базу данных. Целесообразно продолжать эксплуатацию до тех пор, пока в течение заявленного времени не произойдет ни одного сбоя. По окончании прогона модели без единой аварии можно считать, что расписание составлено корректно и использовать его в конкретных производственных системах.

Пример фрагмента внешнего вида приложения для диспетчера представлен на рис. 4. Диспетчер может регулировать движение транспортным средство ТС1 путем включения/выключения семафора с помощью элемента «флажок» [4]. При включении (как показано на рис.4) семафор загорится красным цветом, при выключении (разрешении движения) – зеленым.

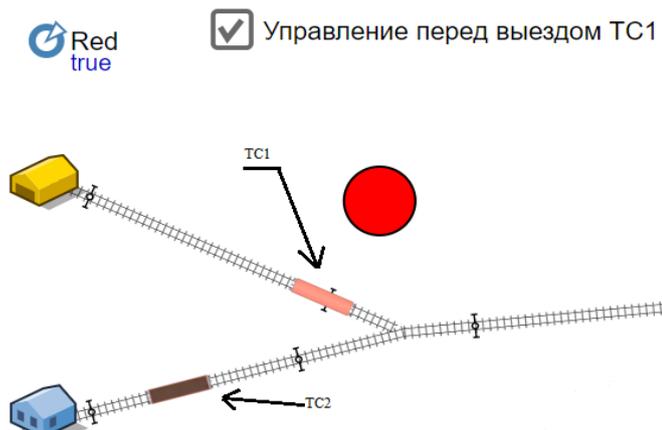


Рис. 4 – Фрагмент визуализации движения транспортных средств

### Разработка модели для управления движением специализированного железнодорожного транспорта

Целью данной модели является отображение передвижения транспортного средства в соответствии со своими текущими координатами и возможность передачи сигнала о приостановке/возобновления движения. Исходными данными для реализации данной модели будут являться:

- координаты местоположения данной точки;
- сигнал о приостановке (возобновления) движения;
- реакция на сигнал.

Данная модель предназначена для решения двух задач:

- возможности показать диспетчеру текущее местоположение транспорта;
- организации взаимодействия между диспетчером и транспортным средством.

Первая задача будет решена полностью средствами AnyLogic. Для решения второй задачи потребуются дополнительные устройства, позволяющие выполнить непосредственно передачу сигнала транспортному средству и оповещение о получении данного сигнала. В рамках среды AnyLogic будет только фиксироваться формирование сигнала и прием ответа на него. Для этого будет использоваться база данных, которая будет единой для всей системы диспетчеризации. Опишем наполнение таблицы «Транспортное средство» для функционирования данной модели. Для решения задачи визуализации текущего отображения транспортных средств необходимо хранить следующие сведения :

- координаты (x,y) местоположения данной точки (в предположении, что визуализация является двумерной);
- булеву переменную Sign, которая принимает значение true, если в данный момент транспортному средству посылается сигнал о приостановке движения;

- булеву переменную Ans, которая фиксирует ответ от транспортного средства о получении сигнала (значение true – сигнал получен; false – в противном случае).

Таким образом, структура таблицы «Транспортное средство» для функционирования модели должна быть следующей (рис. 5).

Transport	
Имя поля	Тип данных
Id	Числовой
Name_tr	Текстовый
x	Числовой
y	Числовой
Sign	Логический
Ans	Логический

Рис. 5 – Структура таблицы «Транспортное средство»

Разработаем основной алгоритм функционирования данной модели. Как и в предыдущем случае, он будет основываться на агентной технологии. Каждый агент будет отвечать за определение местоположения своего транспортного средства и взаимодействие и диспетчером. Алгоритм его функционирования отображен на рис. 6.

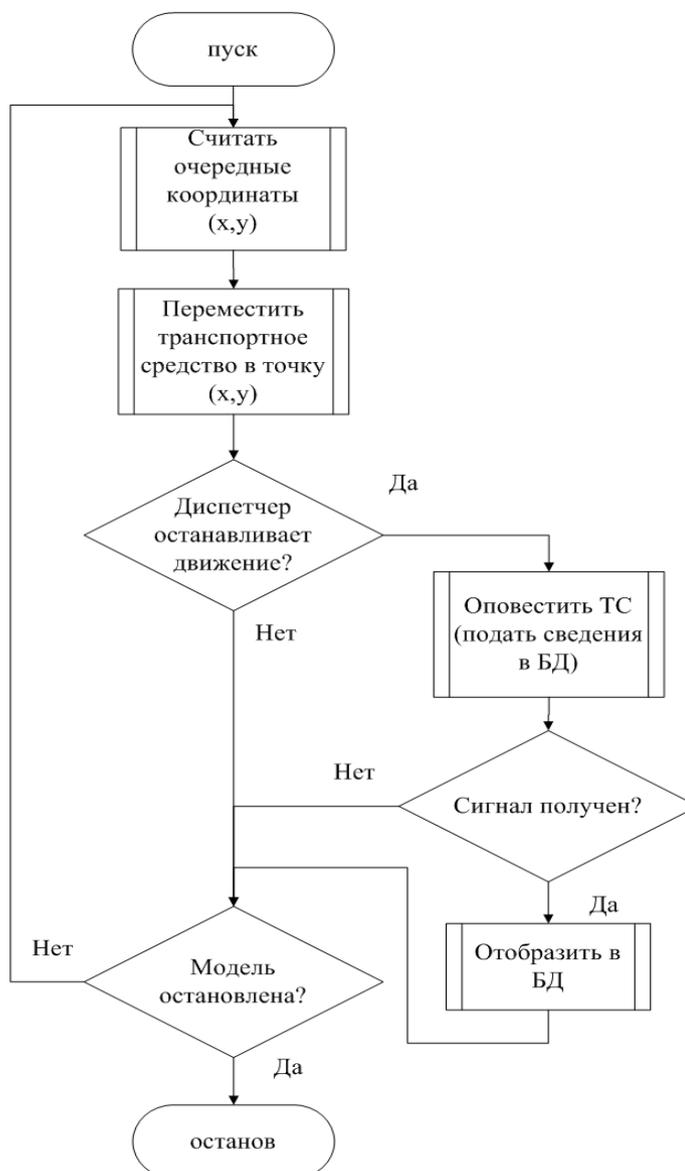


Рис. 6 – Алгоритм функционирования агента «Транспортное средство»

Как видно из данного рисунка для данной модели не важно, какой маршрут должен быть у транспортного средства, с какой скоростью он должен ехать, какого графика придерживаться и т.д. Также не имеет значения, получена информация от диспетчера или нет. Главная информация для визуализации – это текущие координаты. Именно они учитываются при фиксации транспортного средства.

Для визуализации движения, как и в предыдущем случае, использовалась среда AnyLogic. Имеющаяся библиотека железнодорожного движения позволяет отображать процесс перемещения вагонов по железным дорогам. Объект TrainMoveTo позволяет перемещать вагон из текущего положения в заданную точку [5]. В данном случае эта точка будет задана динамически, что можно сделать в свойствах объекта TrainMoveTo.

### Выводы

Целью данной работы являлось моделирование транспортных средств по заданным железным дорогам с возможностью диспетчерского управления. Для реализации данной цели были решены следующие задачи:

- спроектирована структура базы данных, представленная на рис. 2;
- разработан алгоритм функционирования агентов, отвечающих за перемещение транспортных средств, для задачи проверки корректности расписания;
- разработан алгоритм функционирования агентов, отвечающих за перемещение транспортных средств, для задачи управления движением данного транспорта;
- на основе данных алгоритмов разработаны соответствующие модели диспетчерского управления специализированным железнодорожным транспортом.

### Библиографический список

1. **Боев В.Д.** Концептуальное проектирование систем в AnyLogic и GPSS World [Электронный ресурс]/ Боев В.Д.—М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.— 542 с.—URL: <http://www.iprbookshop.ru/73656.html>.— ЭБС «IPRbooks».
2. **Бозюкова Е.Ю.** Разработка подсистемы диспетчеризации для автоматизированных систем управления горнодобывающей промышленности/ [Текст] Е.Ю. Бозюкова, С.А. Олейникова // Научная опора Воронежской области Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж, 2019. – С. 330-332.
3. Имитационное моделирование в AnyLogic: Системная динамика, агентное и дискретно-событийное моделирование [Электронный ресурс]. - URL: [https://www.anylogic.ru/upload/Books\\_ru/RU\\_Presentation\\_and\\_animation.pdf](https://www.anylogic.ru/upload/Books_ru/RU_Presentation_and_animation.pdf).
4. **Карпов Ю.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 400 с.
5. **Borshchev A.** The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with AnyLogic 6 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.anylogic.ru/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/>.

### References

1. **Boev V.D.** Kontseptualnoe proektirovanie system v AnyLogic i GPSS World [Elektronnyi resurs] / Boev V.D. – M.: Internet-Universitet Informatsionnyh Tehnologiy (INTUIT), 2016. – 542 s. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/73656.html>.— ЭБС «IPRbooks».
2. **Bozukova E.Yu.** Razrabotka podsistemy dispetcherizatsii dlya avtomatizirovannykh system upravleniya gornodobyvauschei promyshlennosti [Tekst] / E.Yu. Bozukova, S.A. Oleinikova // Nauchnaya opora Voronezhskoi oblasti Sbornik trudov pobeditelei konkursa nauchno-

issledovatel'skikh rabot studentov I aspirantov VGTU po prioritetnym napravleniyam razvitiya nauki i tehnologii. Voronezh, 2019. – S. 330.332.

3. Imitatsionnoe modelirovanie v AnyLogic: Sistemnaya dinamika, agentnoe I diskretno-sobytiynoe modelirovanie [Elektronnyi resurs] - URL: [https://www.anylogic.ru/upload/Books\\_ru/RU\\_Presentation\\_and\\_animation.pdf](https://www.anylogic.ru/upload/Books_ru/RU_Presentation_and_animation.pdf).

4. **Karpov Yu.** Imitatsionnoe modelirovanie system. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5 [Tekst] – Spb.: BHV – Peterburg, 2005. – 400 s.

5. **Borshchev A.** The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with AnyLogic 6 [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://www.anylogic.ru/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/>.

УДК 004.4

**А.К. ДОНСКИХ<sup>1</sup>, В.Ф. БАРАБАНОВ<sup>2</sup>****ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕРЕВА ПОВЕДЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭВРИСТИК  
И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРАТЕГИЙ UTILITY AI***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Принятие решений лежит в основе любой системы искусственного интеллекта (ИИ). Существуют множество различных подходов к принятию решений. Одним из самых мощных решений является система Utility AI, которая основывается на выборе наилучшей стратегии на базе эвристических оценок, что позволят ИИ адаптироваться к различной ситуации. Но у Utility AI имеет недостаток: сложность визуализации и средств проектирования. В докладе представлено использование дерева поведения для упрощения проектирования стратегий и расчета эвристик Utility AI для цифрового управления ИИ. Предложен вариант визуального проектирования искусственного интеллекта на базе системы Utility AI. Приведены преимущества и недостатки совмещения средств проектирования искусственного интеллекта.

**A.K. DONSKIKH<sup>1</sup>, V.F. BARABANOV<sup>2</sup>****DIGITAL CONTROL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE USING A BEHAVIOR TREE  
TO CALCULATE HEURISTICS AND DESIGN STRATEGIES OF UTILITY AI SYSTEM***Voronezh state technical university<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

Choosing the right behavior is the core of any artificial intelligence system. There are many different approaches to decision making. One of the most powerful solutions is Utility AI. Utility AI is based on choosing the best strategy based on heuristic scores, which will allow the AI to adapt to the situation. But Utility AI has a drawback: rendering complexity and design tools. The report presents the usage of the behavior tree to simplify the design of strategies and the calculation of heuristics of Utility AI for digital AI control. A variant of the visual design tool of artificial intelligence based on the Utility AI system is proposed. The advantages and disadvantages of combining artificial intelligence design tools are given.

**Ключевые слова:** система принятия решений, UtilityAI, дерево поведения, визуальное программирование.  
**Keywords:** decision making system, Utility AI, behavior Tree, visual programming.

**Введение**

Теория полезности используется в таких областях, как психология, экономика, социология и теория игр. Применяя теорию полезности совместно с такими алгоритмическими методами, как кривая реакции и взвешенные случайности можно улучшить моделирование ИИ агентов, расширить пространство потенциального решения и даже управлять граничными случаями, в которых другие системы принятия решений могут испытывать трудности.

Условно, искусственный интеллект в видеоиграх и моделях можно разделить на несколько частей, которые располагаются в порядке увеличения интеллектуальности. Самой простейшей ИИ системой является набор операторов если/то. Оператор если/то использовался для расчетов в моделировании дольше, чем цифровые вычисления. К сожалению, резкий переход от «да» к «нет» сопровождается таким же резким изменением в поведении, что не всегда корректно. Подобная система отличается слабой масштабируемостью, большей работой программистов и отсутствием дизайнеров ИИ. Однако, если требования к моделируемому ИИ невысоки, то если/то отлично подходит для

выбора. Behavior tree (BT) является развитием системы если/то. BT уже включает дизайнеров ИИ в работу, уменьшает вовлеченность программистов в написание отдельно взятого ИИ, позволяя сконцентрироваться на написании отдельных блоков, и, наконец, BT нативно позволяет повторно использовать уже написанные блоки. Далее идет UtilityAI, который еще более масштабируемый и способен выбирать оптимальную стратегию основываясь на оценке ее предполагаемой эффективности. UtilityAI имеет все преимущества BT и позволяет просто исключить резкие переходы в правилах если/то. И самой идеальной системой является абстрактный истинный ИИ, который не использует predetermined правила и сам подстраивается под игрока, максимизируя удовольствие и вовлеченность последнего.

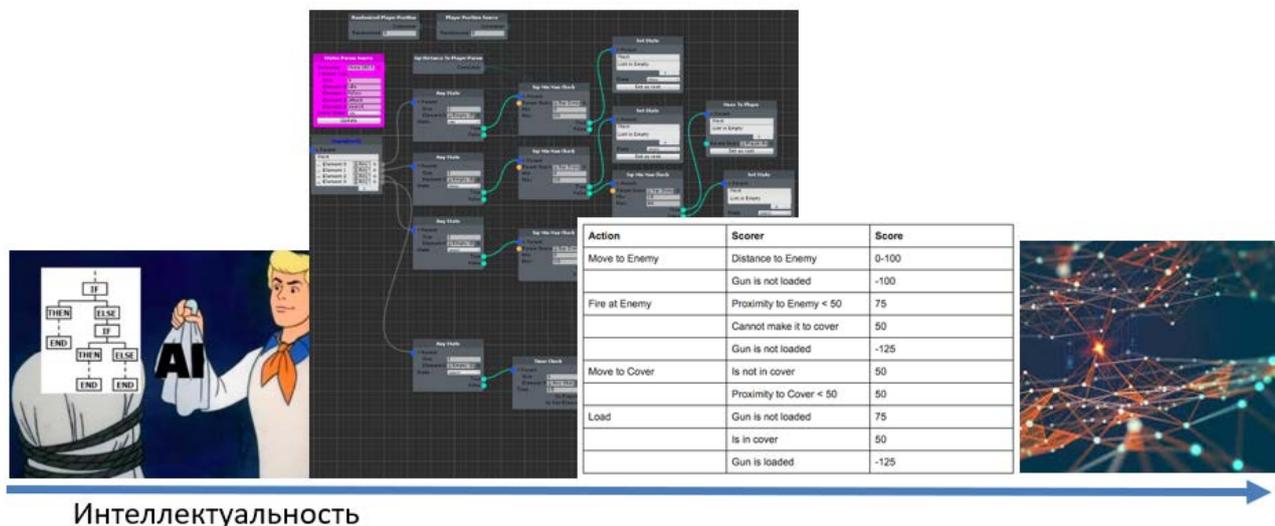


Рис. 1–Развитие систем ИИ

### UtilityAI в цифровом управлении искусственным интеллектом

Первое упоминание UtilityAI в цифровом управлении искусственным интеллектом – это выступление Джефа Оркина на конференции GDC2006, где он описывал систему ИИ в игре F.E.A.R, которую игроки и критики хвалили за проработанный ИИ, отличавшийся способностью к принятию тактических решений. UtilityAI, по сути, оперирует не правилами если/то, а наборами действий, полезность каждого из которых рассчитывается на основе набора оценок. Каждая оценка отвечает на вопрос: насколько выгодно определенное действие с какой-либо стороны. UtilityAI позволяет сделать из запутанного графа состояний и наборов если/то слабо связанный набор доступных действий и их оценок.

На рисунке 2 приведен пример схемы UtilityAI.

Action	Scorer	Score
Move to Enemy	Distance to Enemy	0-100
	Gun is not loaded	-100
Fire at Enemy	Proximity to Enemy < 50	75
	Cannot make it to cover	50
	Gun is not loaded	-125
Move to Cover	Is not in cover	50
	Proximity to Cover < 50	50
Load	Gun is not loaded	75
	Is in cover	50
	Gun is loaded	-125

Рис. 2 – Пример таблицы UtilityAI

Как видно из рисунка 2, для UtilityAI имеется набор действий, оценок для каждого действия и очков. Возможны различные системы, например, в которых оценки сразу выдают и количество очков, которые затем могут либо суммироваться, либо перемножаться.

Основные преимущества UtilityAI перед машиной конечных состояний или деревом поведения:

10. Простое проектирование. Правила для работы ИИ на основе полезности могут описываться на обыкновенном языке, без необходимости использования таких понятий, как события, условия, состояния и последовательности. Например, “если персонаж видит игрока, то следует его атаковать” и “если рядом есть укрытие, то следует перейти к нему”. При правильной расстановке оценок, неигровой персонаж (НИП) скорее всего сначала перейдет в укрытие, а затем начнет атаковать игрока.

11. Расширяемость. При изменении возможностей НИП UtilityAI очень легко расширяется. Новые действия с оценками просто добавляются к уже существующим. В отличие от машины конечных состояний или дерева поведения добавление новой связи не ломает никакие связи.

12. Устойчивость. Исходя из предыдущего пункта, при изменении возможностей НИП или окружения, ИИ продолжит работать, но с ограничениями.

13. Параллельная работа. Можно перенести расчет оценок в параллельной основному поток. Таким образом, расчет оценок не будет нагружать основной поток, забирая необходимые для приложения кадры. Также, это означает, что можно выполнять более сложные расчеты оценок.

Можно предложить несколько способов проектирования UtilityAI. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

1. Визуальное проектирование. Создается граф, связывающий между собой действия и их оценки. Имеет низкий порог вхождения для дизайнера ИИ, но слабую расширяемость.

2. Текстовое описание. Описание действий и их оценок с помощью текста, например, в формате xml. Имеет большой порог вхождения для дизайнера ИИ, но зато выше расширяемость.

3. Программирование на языке программирования (ЯП). Все действия и их оценки программируются на выбранном ЯП, например, создаются как экземпляры какого-либо класса. Имеет наивысшую расширяемость, но дизайнер ИИ должен знать выбранный ЯП.

Рассмотрим вариант с визуальным проектированием. Система UtilityAI с возможностью визуального проектирования представлена на рисунке 3.

Предложенная система состоит из следующих узлов:

1. DataSource(DS). Используется для получения данных из окружения, например, позиция врага или расстояния до ближайшего укрытия. Могут соединяться с другими DataSource, тем самым образуя цепь преобразований.

2. Scorer. На входе принимают числа с плавающей точкой и суммируют (либо перемножают) их. Могут соединяться с другими Scorer.

3. Action. Собственно, это само действие, полезность которого и рассчитывается. Имеет 3 вариации.

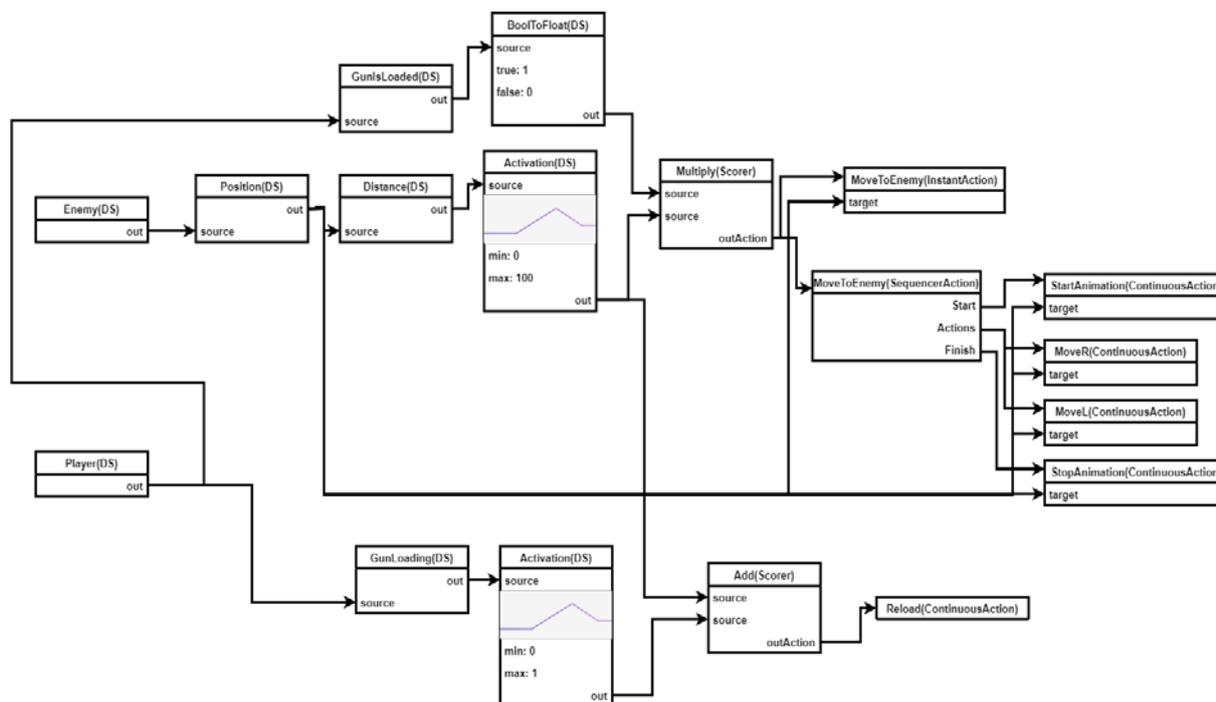


Рис. 3 – Схема Utility AI

1. **InstantAction.** Мгновенное действие. Не требует времени на подготовку и выполнение какой-либо задачи. Например: восстановление здоровья.

2. **ContinuousAction.** Продолжительное действие. Требует времени на подготовку и выполнение. Например, перезарядка с анимацией. Имеет метод `CanStop`, возвращающий истину, если данное действие можно прервать в текущий момент.

3. **SequencerAction.** Последовательные действия. Само по себе не выполняет действий, а запускает другие действие для начала и завершения работы, а также последовательно запускает действия между началом и концом. Является расширением `ContinuousAction`, следовательно, тоже имеет метод `CanStop`.

Всеми узлами должен управлять контроллер. Контроллер имеет несколько параметров, например, параметр, указывающий, стоит ли выполнять расчет оценок синхронно, или асинхронно. Если указано синхронно, то можно выбрать тип работы, например, выполнять расчет каждого кадра, с определенной периодичностью или по вызову.

### Выводы

Таким образом, Средство визуального проектирования UtilityAI позволяет создать очень мощный искусственный интеллект, способный адаптироваться к окружающей ситуации и разнообразить игровой цикл, что благоприятно скажется на опыте конечного пользователя. А для дизайнеров ИИ данное средство будет удобным в работе и позволяет покрыть большое количество задач, а для имплементоров данного средства будет удобным использование отдельного описания и типов узлов.

### Библиографический список

1. **Steve Rabin.** Game AI Pro 3 [Текст] / Steve Rabin, David “Rez” Graham // A K Peters/CRC Press. – 2017. – С. 113-126.
2. **I. Millington and J. Funge,** Artificial Intelligence for Games. London: CRC Press, 2016, pp. 37-38. [Online]. Available: <http://gameaibook.org/book.pdf#page=59>

3. **K. Dill and L. Martin.** A game AI approach to autonomous control of virtual characters. In Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC), 2011.
4. **B. Alexander.** The beauty of response curves. AI GameProgrammingWisdom, 2002.

### References

1. **Steve Rabin.** Game AI Pro 3 [Текст] / Steve Rabin, David “Rez” Graham // A K Peters/CRC Press. – 2017. – S. 113-126.
2. **I. Millington and J. Funge,** Artificial Intelligence for Games. London: CRC Press, 2016, pp. 37-38. [Online]. Available: <http://gameaibook.org/book.pdf#page=59>
3. **K. Dill and L. Martin.** A game AI approach to autonomous control of virtual characters. In Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC), 2011.
4. **B. Alexander.** The beauty of response curves. AI GameProgrammingWisdom, 2002.

УДК 697.911

**М.Н. ЖЕРЛЫКИНА<sup>1</sup>, Т.В. ЩУКИНА<sup>2</sup>****ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЯ***Воронежский государственный технический университет,<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Рассматриваются цифровые технологии, позволяющие осуществлять в оптимальном временном интервале с высокой степенью точности учет содержания вредных веществ в воздухе помещения производственных предприятий. Представлено описание работы газоанализаторов, в том числе оптических стационарных и многоканальных оптических стационарных взрывозащищенных, предназначенных для измерения до взрывоопасной концентрации или объемной доли горючих газов и паров горючих жидкостей в воздухе рабочей зоны. Описаны идентификационные данные программного обеспечения для работы контрольно-измерительного оборудования. Представлены достоинства и недостатки разных типов программного обеспечения в условиях стационарной и нестационарной эксплуатации средств контроля качества воздуха.

**M.N. ZHERLYKINA<sup>1</sup>, T.V. SHCHUKINA<sup>2</sup>****DIGITAL ROOM AIR QUALITY CONTROL SYSTEM***Voronezh state technical university<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

Digital technologies are considered that allow for the optimal time interval with a high degree of accuracy to account for the content of harmful substances in the air of the premises industrial enterprises. The paper describes the operation of gas analyzers, including optical stationary and multi-channel optical stationary explosion-proof ones, designed to measure the pre-explosive concentration or volume fraction of combustible gases and vapors of combustible liquids in the air working area. The identification data of the software for operation control and measuring equipment is described. The advantages and disadvantages different types software in the conditions of stationary and non-stationary operation air quality control tools are presented.

**Ключевые слова:** газоанализатор, программное обеспечение, инсталляция.**Keywords:** gas analyzer, software, installation.**Введение**

Требуемые темпы роста экономики и их опережение в условиях внутренней нестабильности и внешних угроз можно обеспечить посредством развития химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и других потенциально опасных отраслей промышленности, связанных с извлечением ресурсов и синтезом на их основе сырья или готовой продукции. Расширение производственной деятельности, несмотря на совершенствование технологических процессов, увеличивает негативную нагрузку на экологическую обстановку, прежде всего во внутренней среде. Это вызывает необходимость постоянного мониторинга загрязнений, особенно при возможности развития чрезвычайных ситуаций.

Целью ранней диагностики является контроль качества воздуха и определение содержания в производственном помещении пожаровзрывоопасных вредных веществ в концентрациях, значительно меньших предельно-допустимых значений для их своевременной локализации. Для достижения поставленной цели применяются

газоанализаторы-сигнализаторы, используемые в производственных помещениях и на открытых технологических установках.

Выполняемые достаточно часто для мониторинга обычные лабораторные анализы дают информацию только о промежуточном состоянии процесса и, как правило, со значительным опозданием в отношении оперативной оценки сложившейся ситуации. Автоматический аналитический контроль имеет значительное преимущество, так как обеспечивает оперативное определение концентрации исследуемого компонента в анализируемой смеси, показание и (или) запись результата измерения, а при необходимости – выдачу светозвукового сигнала и команд на исполнительные устройства. Применяемые для этих целей газоанализаторы, автоматически или полуавтоматически определяют количественный и качественный состав контролируемого вещества на основе измерения параметров, характеризующих его физические или физико-химические свойства. Автоматические анализаторы, представляющие собой стационарные устройства непрерывного действия, исключают ручной режим, что позволяет их использовать в составе автоматических регулирующих систем, а также в схемах автоматической защиты [1...3].

Повышению надежности систем контроля качества воздуха помещения и, как следствие, выбору требуемого режима работы вентиляции способствует постоянно совершенствующееся цифровое управление контрольно-измерительного оборудования [4,5].

В настоящее время существуют различные программные продукты, предназначенные для работы совместно с газоанализаторами. Например, системы обнаружения утечки газа корпорации WITT надежно защищают от опасных концентраций веществ, поступающих в воздушную среду от технологических процессов пищевой, металлургической и химической промышленности, а также при переработке вторичного сырья. Компания WITT предлагает стационарные системы обнаружения утечки газа для определения содержания токсичных веществ, кислорода или водорода, в которых предельно допустимая концентрация может быть установлена индивидуально. При этом осуществляется непрерывный контроль воздушной среды в помещении и в случае превышения предельно допустимой концентрации газа активируются визуальный и акустический сигналы тревоги. Достоинствами программного обеспечения для документирования результатов измерений являются: сохранение и обработка данных для возможности контроля качества, USB-интерфейс для экспортирования данных и их дальнейшего анализа, например, в Excel, а также индивидуальная обработка данных оператора и продукта. Общий вид интерфейса представлен на рис. 1.

Также следует отметить разработки немецкой фирмы MRU GmbH, являющейся производителем качественных газоанализаторов для измерений в дымовых газах: от газоанализаторов для наладчиков до стационарных систем мониторинга выбросов в атмосферу. Для выпускаемого контрольно-измерительного оборудования разработано программное обеспечение «32Bit Datalogger», которое предназначено для передачи данных на ПК, их графического отображения и записи в память в режиме реального времени.

Особенностями работы программного обеспечения являются:

- ✓ задание длительности цикла измерения от 1 сек до 1 часа;
- ✓ задание цикла записи измеренных данных в память;
- ✓ запись в память блоков со всеми измеренными данными на текущий момент с указанием даты, времени и дополнительной информации;
- ✓ работа со всеми приборами, оснащенными серийным интерфейсом RS 232;
- ✓ функция записи мгновенных значений, отображенных на дисплее, на жесткий диск ПК;
- ✓ задание удобного способа индикации измеряемых параметров и индивидуальных настроек шкалы, цвета и др.;
- ✓ отображение измеряемых данных в режиме реального времени;

- ✓ выборочное отображение на дисплее наиболее важных данных с записью в память ПК всех измеряемых параметров;
- ✓ построение графиков до 8-ми выбранных параметров, в т. ч. «online»;
- ✓ автоматический экспорт данных в программу MS Excel.

Следует отметить, что газоанализатор может работать и через мобильное приложение совместно с телефоном или планшетом.

Пример одновременного запуска режимов отображения данных представлен на рис. 2.

Number	Value	Unit	Gas	Product	Line	User	Date	Time
1_5	1822	mba	P	Produkt	Linie	McCormick	01.09.14	10:
2_1	04							
2_2	17.4	%	O2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
2_3	0.0	%	CO2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
2_4	82.6	%	N2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
2_5	1984	mba	P	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
3_1	04							
3_2	13.7	%	O2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
3_3	0.2	%	CO2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
3_4	86.1	%	N2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
3_5	1011	mba	P	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
4_1	04							
4_2	13.7	%	O2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
4_3	0.2	%	CO2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
4_4	86.1	%	N2	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:
4_5	1011	mba	P	Pizza Napoli	Line234	McCormick	01.09.14	11:

Рис. 1 – Общий вид работы программного продукта от компании WITT

Окна отображения данных в виде графических зависимостей, светодиодного индикатора (LED) и список/экспорт представлены на рис. 3, 4, 5, соответственно.

Примечательно, что в регламентирующем документе ФНИП «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» [6] прописаны задачи, решение которых возможно только при внедрении цифрового управления. Это закреплено в *Статье 11*, [6] а именно: «Организации, эксплуатирующие опасные производственные объекты, обязаны осуществлять мероприятия по обеспечению дистанционного контроля процессов на опасных производственных объектах, включающие регистрацию параметров, определяющих опасность технологических процессов, срабатывания систем защиты с записью в журнале событий, и передачу в Ростехнадзор данной информации в электронном виде». Таким образом, цифровое управление системой контроля качества воздуха помещения является частью общей задачи контроля промышленной безопасности промышленного объекта. В качестве примера на рис. 6 представлена система дистанционного контроля промышленной безопасности нефтеперерабатывающего завода.

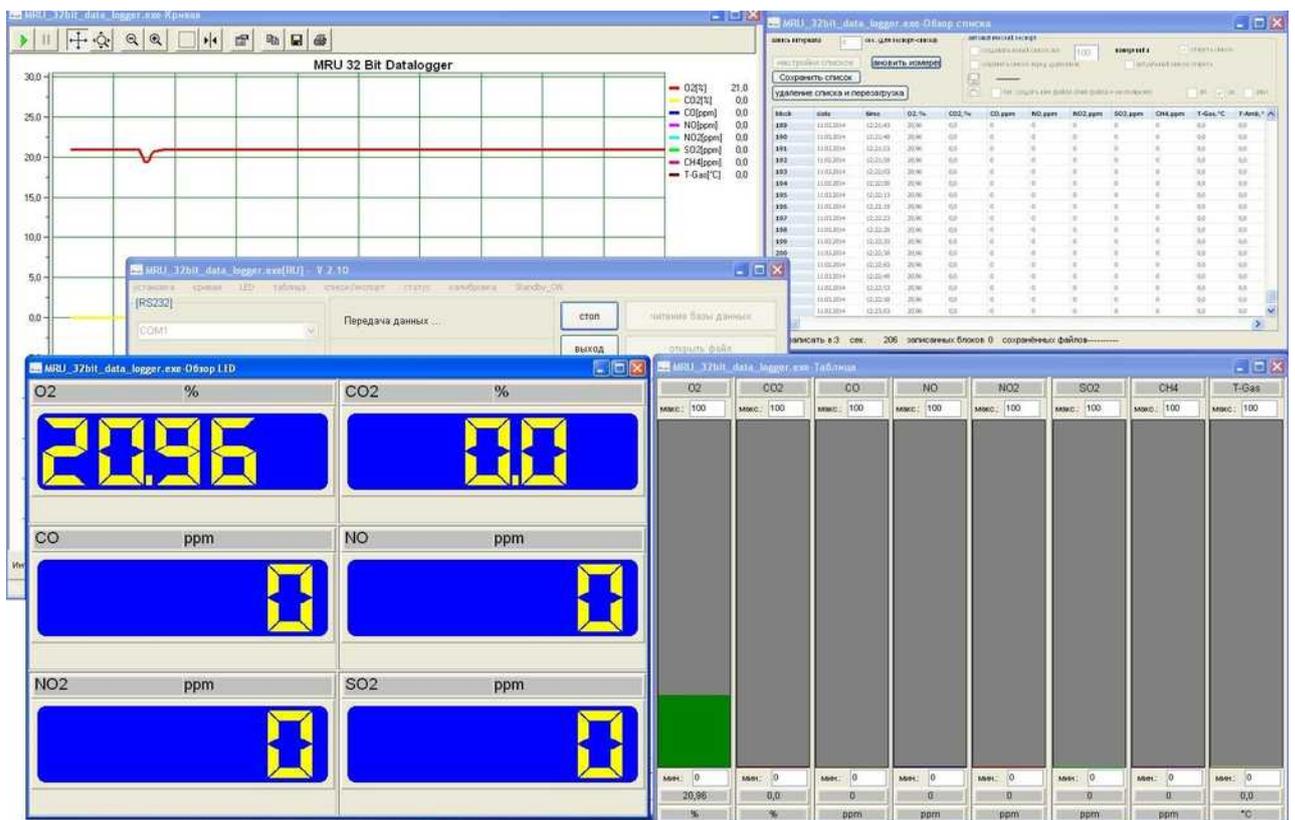


Рис. 2 – Одновременный запуск режимов отображения данных

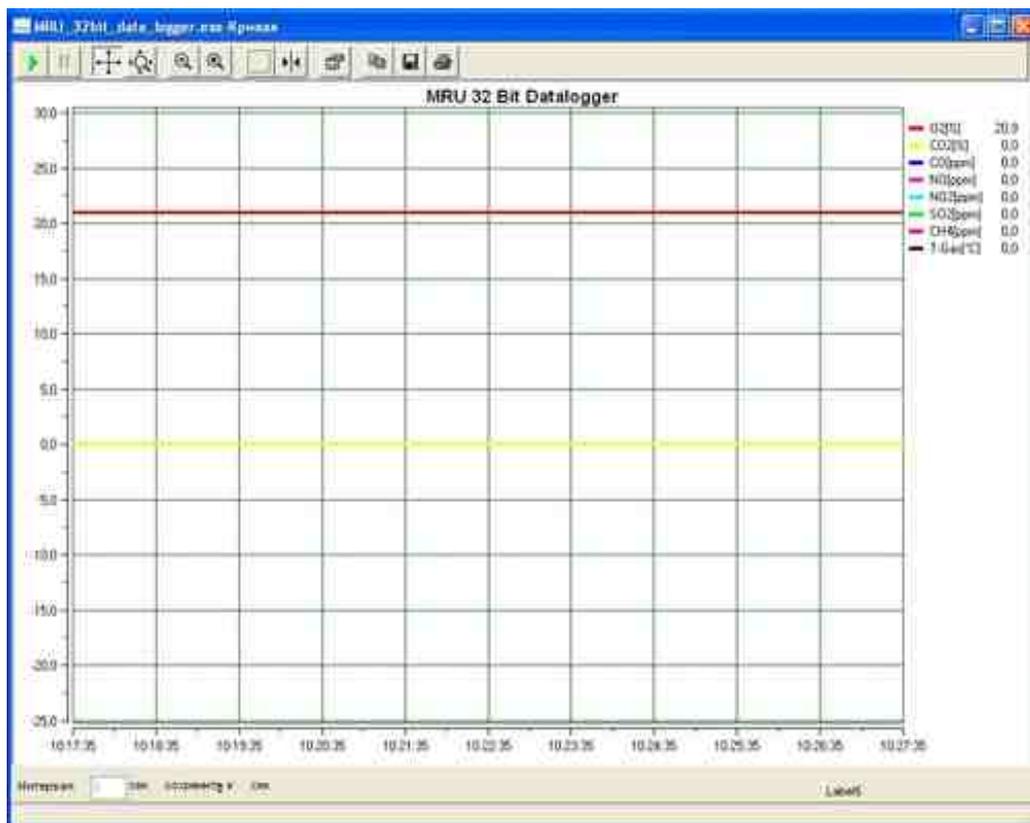


Рис. 3– Окно отображения данных в видеграфических зависимостей

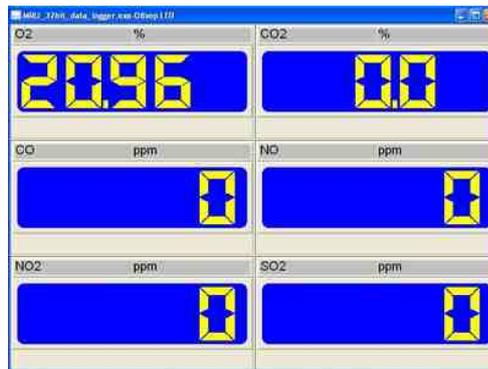


Рис. 4 – Окно отображения данных в виде светодиодного индикатора

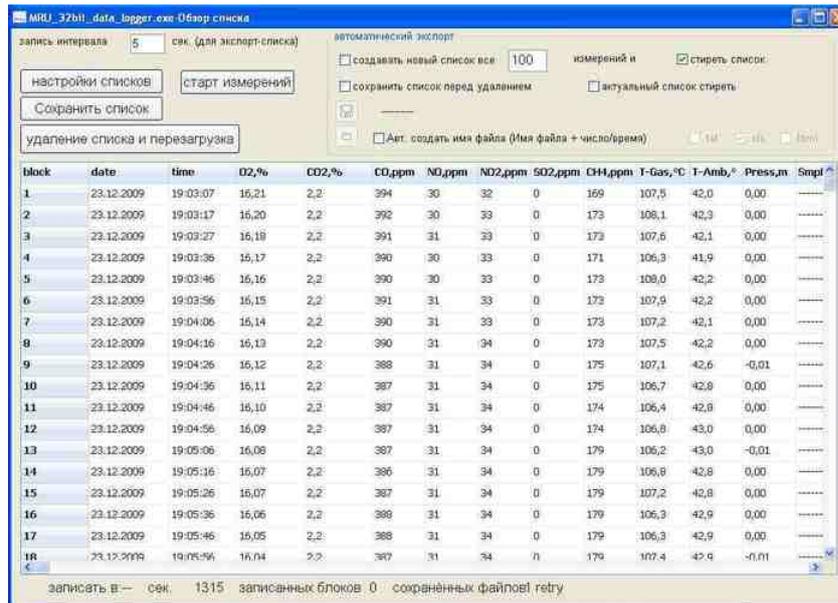


Рис. 5 – Окно отображения список/экспорт

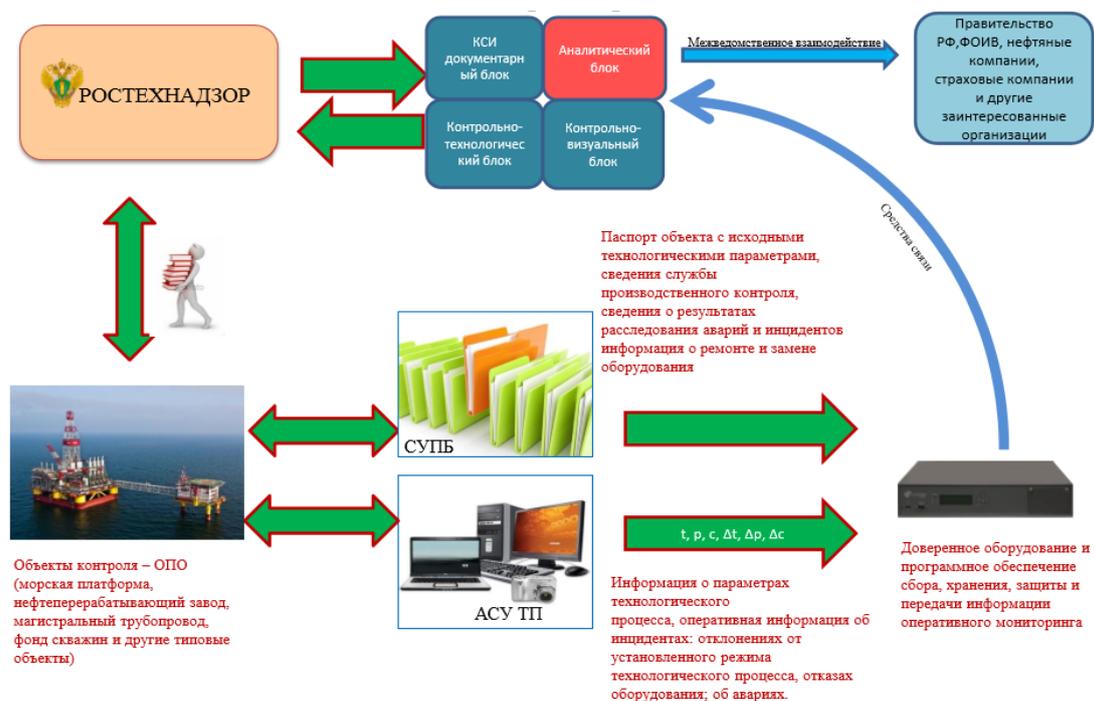


Рис. 6 – Система дистанционного контроля промышленной безопасности

Разрабатывая и применяя автоматические системы контроля и инновационную цифровизацию взаимосвязей с системами безопасности, включающих значительное количество газоанализаторов, можно не только предотвращать развитие чрезвычайных ситуаций, но и посредством данных распределения концентраций в производственных помещениях оперативно выявлять и устранять разгерметизацию технологического оборудования. Такие системы, наряду с оперативностью устранения дефектов, повышают не только производственную и экологическую безопасность, но и качество выпускаемой продукции.

### Библиографический список

1. **Уардн, Р. А.** Загрязнение воздуха в жилых и общественных зданиях / Р. А. Уардн. – М.: Стройиздат, 1987. – 159 с.
2. **Успенская, Л. Б.** Математическая статистика в вентиляционной технике / Л. Б. Успенская. – М.: Стройиздат, 1980. – 108 с.
3. **Vorob'eva, Y. A.** Theoretical studies of the influence of crack development on the change in air permeability of building structures / Y. A. Vorob'eva, M. N. Zherlykina, E. E. Burak // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies electronic edition. Сер. «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering» – 2018. – P. 022036.
4. **Zherlykina, M. N.** Investigation of changing air temperatures in cross-tilt inclined cracks / M. N. Zherlykina, Y. A. Vorob'eva, E. E. Burak // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2017). – 2017. – P. 012042.
5. **Шичкин, В. В.** Обоснование применения рекуперации теплоты вентиляционного воздуха при климатизации универсальных быстротрансформирующихся зданий / В. В. Шичкин, М. Н. Жерлыкина, С. А. Яременко, С. А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 1(12). – С. 40-48.
6. ФНИП «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». - Москва: Ростехнадзор, 2017.

### References

1. **Uardn, R. A.** Zagryaznenie vozduha v zhily`xiobshhestvenny`xzaniyah [Tekst] /R. A. Uardn. – М.: Strojizdat, 1987. – 159 s.
2. **Uspenskaya, L. B.** Matematicheskayastatistika v ventilyacionnojtexnike [Tekst] / L. B. Uspenskaya. – М.: Strojizdat, 1980. – 108 s.
3. **Vorob'eva, Y. A.** Theoretical studies of the influence of crack development on the change in air permeability of building structures / Y. A. Vorob'eva, M. N. Zherlykina, E. E. Burak // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies electronic edition. Сер. «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering» – 2018. – S. 022036.
4. **Zherlykina, M. N.** Investigation of changing air temperatures in cross-tilt inclined cracks /M. N. Zherlykina, Y. A. Vorob'eva, E. E. Burak // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2017). – 2017. – S. 012042.
5. **Shichkin, V. V.** Obosnovanie primeneniya rekuperacii teploty ventilyacionnogo vozduha pri klimatizacii universal'nyh bystrotransformiruyushchihsya zdaniy / V. V. SHichkin, M.

N. ZHerlykina, S. A. YAremento, S. A. Solov'ev // ZHilishchnoehozyajstvoikommunal'nayainfrastruktura. – 2020. – № 1(12). – S. 40-48.

6. FNIP «Pravilabezopasnosti v neftyanojgazovojpromyshlennosti». - Moskva: Rostekhnadzor, 2017.

УДК 696.2

С.Н. КУЗНЕЦОВ<sup>1</sup>, Г.А. КУЗНЕЦОВА<sup>2</sup>**ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ГАЗОВОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Одним из методов повышения надежности газового оборудования является улучшение его обслуживания, использование новых критериев оценки надежности газового оборудования и новых способов оценки работы ремонтных служб.

Модель управления надежностью газового оборудования построена с использованием метода динамики средних. В качестве критерия надежности оборудования предлагается использовать отношение математического ожидания количества исправных элементов группы газового оборудования к общему числу элементов газового оборудования в группе. Получено дифференциальное уравнение Колмогорова для определения критерия надежности оборудования.

Для повышения надежности газового оборудования предлагается информационная система, использующая цифровые модели управления надежностью газового оборудования.

S.N. KUZNETSOV<sup>1</sup>, G.A. KUZNETSOVA<sup>2</sup>**DIGITAL RELIABILITY MANAGEMENT GAS EQUIPMENT***Voronezh state technical university<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

One of the methods to increase the reliability of gas equipment is to improve its maintenance, use new criteria for assessing the reliability of gas equipment and new ways to evaluate the work of repair services.

The model for controlling the reliability of gas equipment is constructed using the method of average dynamics. It is proposed to use the ratio of the mathematical expectation of the number of serviceable elements of the gas equipment group to the total number of gas equipment elements in the group as a criterion for equipment reliability. The differential Kolmogorov equation for the equipment reliability criterion is obtained.

To increase the reliability of gas equipment, an information system is proposed that uses digital models for managing the reliability of gas equipment.

**Ключевые слова:** надежность, эксплуатация газового оборудования, математическое моделирование, модели управления.

**Keywords:** reliability, operation of gas equipment, mathematical modeling, control models.

**Введение**

По ГОСТ 27.002-2015, надежность - это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах все параметры, характеризующие способность выполнять требуемые функции в заданных режимах в условиях применения, технического обслуживания и ремонта.

В соответствии с законом «О газоснабжении в Российской Федерации» для обеспечения надежного газоснабжения, безопасного и устойчивого функционирования объектов Единой системы газоснабжения необходимо обеспечить высокую надежность газового оборудования [1, 4, 5].

Одним из методов повышения надежности газового оборудования является улучшение его обслуживания, использование новых критериев оценки надежности газового оборудования и новых способов оценки работы ремонтных служб.

### Математическая модель управления надежностью газового оборудования

Модель управления надежностью газового оборудования построена с использованием метода динамики средних. Переходы газового оборудования из состояния «исправно» в состояние «неисправно» происходят под действием потока отказов и потока восстановления.

Потоки, под действием которых, происходят переходы из одного состояния в другое пуассоновские и независимые, следовательно, в системе протекает марковский процесс. Рассмотрим систему элементов газового оборудования как систему с дискретными состояниями и непрерывным временем [2, 3].

Элементы газового оборудования разбиты на однородные группы. Текущему состоянию  $i$ -й группы газового оборудования соответствует количество элементов каждого состояния:

$$N_i = \sum_{k=1}^2 N_i^k(t), \quad (1)$$

где  $N_i^k(t)$  - количество элементов оборудования  $i$ -й группы, находящихся в момент времени  $t$  в состоянии  $k$ ;  $N$  - количество элементов оборудования.

Математическое ожидание количества элементов газового оборудования, находящихся в момент времени  $t$  в состоянии  $k$ , составит:

$$m_i^k(t) = M(N_i^k(t)). \quad (2)$$

Дифференциальное уравнение Колмогорова для математического ожидания численностей исправных элементов газового оборудования  $i$ -й группы будет иметь вид:

$$\frac{d\left(\frac{m_i^1(t)}{N_i}\right)}{dt} = -\lambda_i \cdot \frac{m_i^1(t)}{N_i} + \mu_i \cdot \left(1 - \frac{m_i^1(t)}{N_i}\right), \quad (3)$$

где  $\frac{m_i^1(t)}{N_i}$  - математическое ожидание доли исправных элементов газового оборудования  $i$ -й группы;  $\lambda_i$  - параметр потока отказов  $i$ -й группы элементов газового оборудования, 1/год;  $\mu_i$  - параметр потока восстановления  $i$ -й группы элементов газового оборудования, 1/год.

Начальными условиями для решения дифференциального уравнения (3) являются математические ожидания доли исправных элементов газового оборудования в начальный момент времени.

$$\frac{m_i^1(t_0)}{N_i} = \frac{m_{i0}^1}{N_i}.$$

В качестве критерия надежности оборудования предлагается использовать отношение математического ожидания количества исправных элементов группы газового оборудования к общему числу элементов газового оборудования в группе:

$$K_i(t) = \frac{m_i^1(t_0)}{N_i}. \quad (4)$$

Тогда дифференциальное уравнение преобразуется к виду:

$$\frac{dK_i(t)}{dt} = -\lambda_i \cdot K_i(t) + \mu_i \cdot (1 - K_i(t)), \quad (5)$$

с начальным условием:

$$K_i(t_0) = K_{i0}.$$

### Информационная система

Предлагается информационная система, использующая цифровые модели управления надежностью газового оборудования.

Модули управления надежностью газового оборудования обеспечивают информационную поддержку совокупности управляющих воздействий для управления технической эксплуатацией оборудования с целью обеспечения заданных показателей надежности.

Модули контролируют фактические значения показателей надежности, сравнивают их с целевыми и пороговыми значениями и выявляют негативные тренды, требующие корректирующих воздействий.

Определяющим показателем надежности газового оборудования является критерий надежности  $K_i$  по группам оборудования и показатели качества обслуживания ремонтных заявок.

Схема организации информационного взаимодействия модулей управления надежностью газового оборудования приведена на рис. 1.

Выполняется краткосрочный и перспективный анализ показателей надежности газового оборудования.

Краткосрочный анализ показателей надежности, предназначенный для мониторинга показателей надежности и принятия оперативных управляющих воздействий, содержит:

- статистические данные по показателям надежности и их графическое отображение;
- анализ случаев резкого уменьшения показателей по видам оборудования и подразделениям газораспределительной организации.

Перспективный анализ показателей надежности включает:

- инженерный анализ накопленной статистики за длительный период эксплуатации оборудования;
- анализ трендов изменения показателей надежности оборудования;
- анализ эффективности предыдущих инженерных решений;
- рекомендации по улучшению показателей надежности.

### Выводы

Одним из методов повышения надежности газового оборудования является улучшение его обслуживания, использование новых критериев оценки надежности газового оборудования и новых способов оценки работы ремонтных служб.

Модель управления надежностью газового оборудования построена с использованием метода динамики средних. В качестве критерия надежности оборудования предлагается использовать отношение математического ожидания количества исправных элементов группы газового оборудования к общему числу элементов газового оборудования в группе. Получено дифференциальное уравнение Колмогорова для определения критерия надежности оборудования.

Для повышения надежности газового оборудования предлагается информационная система, использующая цифровые модели управления надежностью газового оборудования.



**Рис. 1** - Организация информационного взаимодействия модулей управления надежностью газового оборудования

**Библиографический список**

1. **Мелькумов В.Н.** Исследование работы элементов пилотного устройства [Текст]/В.Н. Мелькумов, И.Г. Лачугин, С.Н. Кузнецов// Известия высших учебных заведений. Строительство. -2002. - № 1-2 (517-518). - С. 135-141.
2. **Мелькумов В.Н.** Математическое моделирование полей концентраций вредных веществ при производстве строительных материалов [Текст]/В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. -2013. -№ 1 (29). -С. 99-107.
3. **Кузнецова Г.А.** Продолжительность эксплуатации внутридомового газового оборудования [Текст] / Г.А. Кузнецова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2016. - № 1 (22). - С. 54-58.
4. **Кузнецова Г.А.** Технологическая надежность газового оборудования [Текст] / Г.А. Кузнецова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. - № 1 (22). - С. 25-29.
5. **Колосов А.И.** Управление работой аварийно-восстановительных служб газораспределительной организации [Текст] / А.И. Колосов, Г.А. Кузнецова, О.А. Гнездилова // Научный журнал строительства и архитектуры. -2018. -№ 1 (49). -С. 29-36.

**References**

1. **Mel'kumov V.N.** Issledovanie raboty elementov pilotnogo ustrojstva [Tekst]/V.N. Mel'kumov, I.G. Lachugin, S.N. Kuznecov// Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. - 2002. - № 1-2 (517-518). - S. 135-141.
2. **Mel'kumov V.N.** Matematicheskoe modelirovanie polej koncentracij vrednyh veshchestv pri proizvodstve stroitel'nyh materialov [Tekst]/V.N. Mel'kumov, S.N. Kuznecov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. -2013. -№ 1 (29). -S. 99-107.
3. **Kuznecova G.A.** Prodolzhitel'nost' ekspluatacii vnutridomovogo gazovogo oborudovaniya [Tekst] / G.A. Kuznecova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. - 2016. - № 1 (22). - S. 54-58.
4. **Kuznecova G.A.** Tekhnologicheskaya nadezhnost' gazovogo oborudovaniya [Tekst] / G.A. Kuznecova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. 2016. - № 1 (22). - S. 25-29.
5. **Kolosov A.I.** Upravlenie rabotoj avarijno-vosstanovitel'nyh sluzhb gazoraspre-delitel'noj organizacii [Tekst] / A.I. Kolosov, G.A. Kuznecova, O.A. Gnezdilova // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. -2018. -№ 1 (49). -S. 29-36.

УДК 681.121.84

Г.Н. МАРТЫНЕНКО<sup>1</sup>, В.И. ЛУКЬЯНЕНКО<sup>2</sup>, Н.И. ГУДАКОВ<sup>3</sup>, О.С. МАЛЬЦЕВА<sup>4</sup>**ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ УЧЕТА ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ  
ЧАСТНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ НА БАЗЕ ИТ-ТЕХНОЛОГИЙ***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2,3,4</sup>  
Россия, г. Воронеж*

Анализ ведения газового хозяйства в нашей стране свидетельствует о несовершенстве нынешних систем коммерческого учета расхода газа частными потребителями, а также систем безопасности газоснабжения. В результате проведенного анализа, выявлены наиболее актуальные направления дальнейшего развития автоматизации процессов в сфере газового хозяйства. Предлагается внедрить новую систему безопасности и коммерческого учета, используя инновационные технологии, такие как IoT (Internet of Things).

G.N. MARTYNENKO<sup>1</sup>, V.I. LUKYANENKO<sup>2</sup>, N.I. GUDAKOV<sup>3</sup>, O.S. MALTSEVA<sup>4</sup>**DIGITAL MANAGEMENT OF THE GAS CONSUMPTION SYSTEM OF  
PRIVATE CONSUMERS ON THE BASIS OF IT-TECHNOLOGIES***Voronezh state technical university<sup>1,2,3,4</sup>  
Russia, Voronezh*

An analysis of the gas economy in our country indicates the imperfection of current systems for commercial metering of gas consumption by private consumers, as well as gas supply security systems. As a result of the analysis, the most relevant areas for the further development of process automation in the gas sector have been identified. It is proposed to introduce a new security system and commercial accounting, using innovative technologies such as IoT (Internet of Things).

**Ключевые слова:** газоснабжение, автоматизация, системы безопасности, учет расхода газа, IoT технологии, сеть LPWAN.

**Keywords:** gas supply, automation, security systems, gas metering, IoT technologies, LPWAN network.

**Введение**

Одной из наиболее перспективных технологий IoT на рынке является система LPWAN. Рассмотрим подробнее данный вид передачи данных.

LPWAN (“LOW POWER WIDE AREANETWORK”, или в переводе “энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия”) – это технология, основанная на беспроводных передачах малого объема данных на весьма дальние расстояния. Предназначена эта технология для распределенных телеметрических сетей. Данная инновация может бесперебойно обеспечивать среду для сбора данных различного вида оборудования, такого как: счетчики, датчики, и прочих видов сенсоров. Логика данной сети очень напоминает логику сетей мобильной связи. Топология, которую использует технология LPWAN называется “звезда”, означает это то, что каждое устройство, имеющее датчик LPWAN, взаимодействует напрямую с базовой станцией. Конфигурация системы “Звезда из звезд” позволяет применять данную технологию как на городском, так и на областном и даже федеральных уровнях.

### Технология процесса передачи данных

Технологический узел с LPWAN-модулем обеспечивает непрерывную передачу данных по радиоканалам на базовые станции. Станция же, в свою очередь, выполняет роль сбора данных со всех сопряженных устройств, в ее рабочем радиусе, оцифровки данных и передачи на удаленный сервер. Для этого может быть использован один из доступных каналов связи, будь то Ethernet, VSAT или же сотовая связь. Данные, которые получает сервер, используются для создания ведомостей, отчетов, анализа, а также принятия определенных концептуальных решений (рис.)

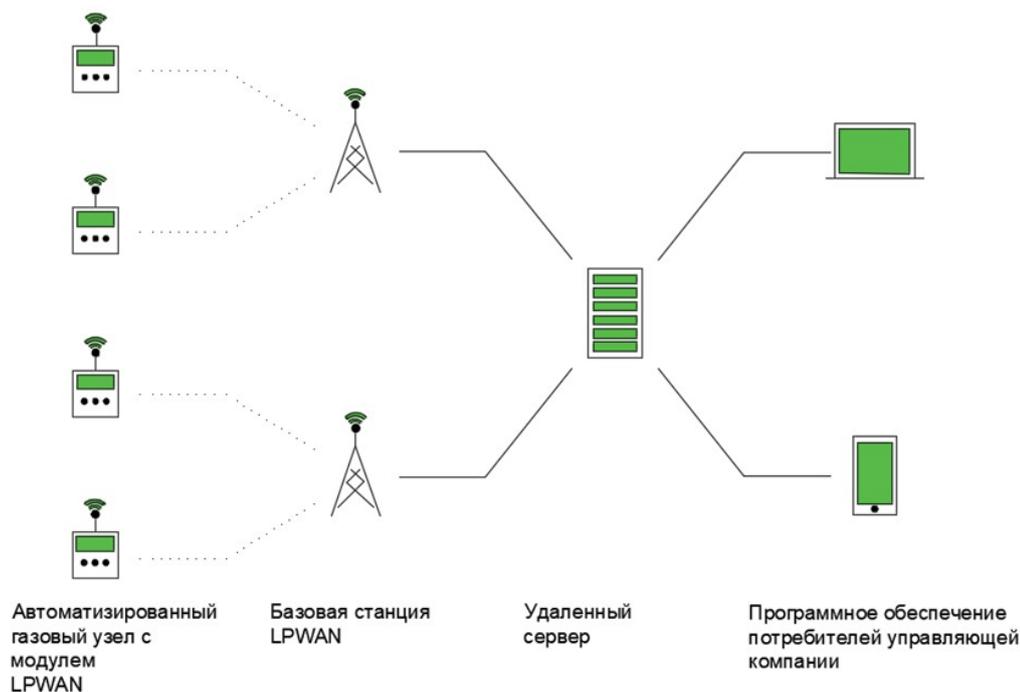


Рис. – Технологический узел передачи данных

Выделим основные преимущества технологии LPWAN:

1. Наибольший радиус передачи радиосигналов по сравнению с прочими IT-технологиями, представленными на рынке для телеметрии GPRS, достигающая 10-15км.
2. Существенно низкое энергопотребление у конкретных устройств, осуществляемое за счет минимизации затрат электроэнергии на передачу небольших пакетов данных.
3. Очень высокая проникающая способность радиочастот в среде городского типа, за счет использования частот субгигагерцового диапазона.
4. Большая масштабность охвата сети на больших территориях.
5. Отсутствие необходимости получения частотного разрешения и платы за радиочастотный спектр.

Газовая отрасль является одной из наиболее развитых отраслей в РФ. Голубое топливо используют миллионы потребителей для обслуживания жилых, а также промышленных объектов. Газовый ресурс предназначен для горячего водоснабжения, газификации и приготовления пищи. Одной из наиболее популярных услуг, для гражданских помещений, является газовый обогрев помещений. Вследствие того, что многие потребители используют, помимо общей системы газоснабжения или отопления, газовые бойлеры, месячная плата за газ не имеет четких границ. Также она зависит от жилой площади помещения и количества проживающих в ней людей. В частных жилых домах и квартирах предусматривается установка газовых счетчиков, по которым потребители платят за газ по

факту его потребления. Разберемся подробнее в том, каким образом начисляются тарифы на газ для населения и в чем сложность нынешней системы.

Существует два метода начисления платы за потребление голубого топлива:

а) по счетчику: для подсчета размера оплаты берутся показания прибора учета, высчитывается разница между текущим и предыдущим показателями, по которому производилась оплата за газ в прошлом месяце. Предыдущие показания счетчика указаны в квитанции, потому вычисления произвести легко. Первое число отнимается от записанного на момент снятия показаний, полученное количество умножается на стоимость  $1 \text{ м}^3$  природного газа согласно тому, какой установлен тариф на газ в регионе, полученная сумма должна быть оплачена;

б) без прибора учета: без счетчика оплата рассчитывается по нормативам потребления газа в регионе и целей его использования: отопление, приготовление пищи, нагрев воды. То есть в этом случае имеет значение наличие и тип газовой плиты, колонки, бойлера, а также количество официально зарегистрированных людей на жилплощади и ее квадратура. Отсюда и формируется оплата за  $1 \text{ м}^3$ .

Снабжение жилых домов газом – одна из коммунальных услуг, предоставляемая жильцам компаниями – поставщиками услуг. И согласно статье 154 ЖК РФ, оплата за его поставку должна совершаться регулярно каждый месяц до 10 числа.

Статья 544 ГК РФ также гласит, что оплата коммунальных услуг происходит по фактически принятому объему поставленного ресурса, которое определяется прибором учета (если законодательными актами или установленным соглашением между сторонами не предусмотрены иные условия).

Если пользователь ресурсов не указывал показания счетчика в течение трех месяцев после этого срока, оплата за природный газ будет рассчитываться, исходя из установленных нормативов, а не фактических показателей прибора учета.

В случае неуплаты и возникших задолженностей у жильцов возникнут проблемы с ГК РФ и поставщиками. При несвоевременной оплате квитанций за квартплату и поставку коммунальных услуг, в том числе газ, начисляется пеня. Ее размер зависит от длительности срока, в течение которого не вносится оплата. В «Газпром межрегионгаз» подсчитали все долги потребителей природного газа на территории РФ. На 1 декабря 2018 года просроченная задолженность всех категорий потребителей природного газа составила 137,7 млрд рублей, причем большая часть (77 млрд рублей) приходится на население страны. Долги всех категорий потребителей значительно затормаживают темпы развития газового хозяйства в стране.

Из всех участвующих в программе регионов полностью выполняют обязательства по приему газа десять - Белгородская, Омская, Пензенская, Сахалинская и Ярославская области, а также Калмыкия, Мордовия, Чувашия, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа. Еще 34 региона немного отстают от графиков, 14 отстают существенно, еще пять - Карачаево-Черкесия, Ингушетия, Дагестан, Приморский и Камчатский края - вовсе не соблюдают график.

#### **Автоматизированная система коммерческого учета расхода газа частными потребителями на базе LPWAN**

Автоматизированная система коммерческого учета расхода газа частными потребителями на базе LPWAN предлагает альтернативную систему оплаты коммунальных услуг – абонентская плата на основе, так называемых, «тарифных планов» по типу пакетов услуг сотовой связи. Каждый потребитель выбирает для себя один из нескольких, представленных управляющими компаниями, тарифов, исходя из своих потребностей, будь то частный или многоквартирный дом вне зависимости от жилплощади и количества проживающих на ней людей. Способы оплаты должны предусматривать дистанционные решения, о них мы поговорим немного позже. То есть все, что необходимо сделать абоненту для получения услуг поставщика газа, так это выбрать оптимальный тариф и оплатить его перед началом использования. Предоплатная система поставки газа потребителям также

решает вопрос должников на всех возможных уровнях, обеспечивает непрерывный денежный поток, исключает вероятность задолженностей управляющих компаний и подобных структур основному ресурсному поставщику, такому как ПАО «Газпром». Сначала платит абонент, затем газораспределяющая компания покупает на эти деньги газ у первоначального поставщика, а не наоборот.

В стране газифицировано порядка 65,15 млн. квартир, но далеко не в каждой из них установлены датчики, которые блокируют утечку газа. Из-за этого любая неосторожность россиян может перерасти в новую трагедию. С начала 2018 года в России зафиксировано не менее 32 случаев взрывов бытового газа в многоквартирных жилых домах, которые повлекли за собой человеческие жертвы. Такие ЧП имеют широкую географию: хлопки газа фиксируются в Московской, Ленинградской, Мурманской, Омской, Владимирской, Челябинской, Ростовской и других областях.

Инновационный автоматизированный узел на базе LPWAN предусматривает такое решение, как встроенный газоанализатор и автоматическое срабатывание входного клапана при утечке газа, с одновременной передачей информации на сервер газоснабжающей организации, откуда информация немедленно поступает в аварийно-газовую службу, а также собственник жилого помещения получает смс-оповещение об аварийном срабатывании входного клапана. Данное решение будет экономически целесообразно, если каждый собственник заключит платный договор на его информирование о проблемах с газоснабжением. (условно 50 рублей в месяц).

Для реализации всего спектра возможностей автоматизированной системы для коммерческого учета расхода газа частными потребителями на базе LPWAN рекомендуется разработать приложение на смартфоне, позволяющее:

1. Выбирать наиболее оптимальный пакет ресурсов.
2. Просматривать оставшееся количество газа за расчетный период.
3. Производить ежемесячную оплату.
4. Отслеживать подачу газа.
5. Вызывать мастера на дом.
6. Экстренно вызывать аварийно-спасательную службу.

На основе платного договора об оповещении в аварийных ситуациях и утечках газа в жилом помещении, собственник будет получать уведомление сразу на почту, мессенджер, а также в виде смс-оповещения.

В связи с вышеизложенным положением дел начнется развитие сопутствующих технологий. Масштабная реорганизация и перевод населения на новую систему коммерческого учета газа требует, в первую очередь, значительных поставок высококачественного, а также, что немаловажно, высокотехнологичного оборудования. Для производства такого оборудования будут задействованы как предприятия электронной промышленности, так и машиностроения. Для качественной оптимизации работы автоматизированных узлов необходима разработка уникального ПО для центрального контроллера, который, в свою очередь, будет обеспечивать взаимодействие между счетчиком на базе технологии LPWAN и входным регулирующим клапаном. Данная технология передачи данных также открывает новую страницу для разработки новейших протоколов передачи данных от объекта до сервера для дальнейшей обработки данных. Качественное и бесперебойное хранение данных, которые поступают на серверы с каждого жилого помещения (частный дом или квартира) – залог успеха всей системы автоматизации. Необходимо, в первую очередь, обеспечить безопасность хранения данных, во-вторых, разработать алгоритмы расчета показателей израсходованных ресурсов, в-третьих, обеспечить постоянное обновление данных.

### **Выводы**

Использование принципа LPWAN - наиболее актуальное направление дальнейшего развития автоматизации процессов в сфере газового хозяйства. Технология позволяет не получать частотного разрешения для передачи информации и оплаты за радиочастотный

спектр. Создание новых высокотехнологичных рабочих мест вскоре будет компенсировать количество сокращенных кадров в газовом хозяйстве, что также важно для нашей экономики. Кроме этого, неизбежно повысится уровень безопасного использования газа бытовыми потребителями.

### Библиографический список

1. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Топология\\_LPWAN\\_сети.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Топология_LPWAN_сети.png) [Электронный ресурс]
2. **Гудаков Н.И.** Система коммерческого учета расхода газа частными потребителями с использованием новейших технологий [Электронный] / Гудаков Н.И., Рогачёва С.А., Здобников И.А., Мартыненко Г.Н. // Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения. Труды 21-й научно-технической конференции. – 2019. – С. 63-66.
3. **Мартыненко Г.Н.** Оптимальный синтез гидравлических трубопроводных систем в области оперативного управления [Текст] / Мартыненко Г.Н., Панов М.Я., Щербаков В.И., Давыдова И.П. // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 2 (542). – С. 78-83.
4. **Мартыненко Г.Н.** Анализ существующей схемы управления газопотоками в городских системах газоснабжения и перспективы ее развития в рамках оперативного управления [Текст] / Мартыненко Г.Н., Панов М.Я. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2005. – № 2. – С. 23-26.
5. **Панов М.Я.** Моделирование процессов оперативного управления городскими системами газоснабжения на основе дроссельных характеристик с использованием современных ультразвуковых методов замера расхода газа [Текст] / Панов М.Я., Мартыненко Г.Н. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 152-156.
6. **Лукьяненко В.И.** Оперативное управление функционированием городских систем газоснабжения [Текст] / Лукьяненко В.И., Мартыненко Г.Н., Панов М.Я. // в сборнике: Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения. Труды научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – 2012. – С. 89-94.
7. **Мартыненко Г.Н.** Оперативное управление газораспределительной системой на основе модели возмущённого состояния [Текст] / Мартыненко Г.Н., Гнатюк С.Н. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1 (6). – С. 36-42.
8. **Мартыненко Г.Н.** Исследование вариантов установки регуляторов расхода на газоснабжающей системе [Текст] / Мартыненко Г.Н., Лукьяненко В.И., Исанова А.В. // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газозенергоснабжения. – 2018. – № 1. – С. 13-17.
9. **Алдалис Х.** Формирование математической модели оперативного управления функционированием систем газоснабжения с использованием узловой схемы отбора путевой нагрузки [Текст] / Алдалис Х., Панов М.Я., Мартыненко Г.Н. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1 (1). – С. 75-80.
10. **Алдалис Х.** Разработка новой схемы газораспределения и управления функционированием городских систем газоснабжения низкого давления [Текст] / Алдалис Х., Панов М.Я., Мартыненко Г.Н. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1 (13). – С. 28-36.
11. **Панов М.Я.** Алгоритм идентификации гидравлических характеристик управляемых дросселей на ветвях структурного графа абонентских подсистем [Текст] / Панов М.Я., Мартыненко Г.Н., Дмитриев И.А. // Научный вестник Воронежского

государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3 (11). – С. 106-112.

12. **Панов М.Я.** Использование системы matlab для моделирования процесса управления функционированием систем газоснабжения [Текст] / Панов М.Я., Мартыненко Г.Н., Ухлова В.В., Колосов А.И. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 (367). – С. 239-243.

13. **Martynenko G.N.** Prospects for the development of the gas supply system of the city district of voronezh for the period till 2035 [Электронный] / Martynenko G.N., Kitaev D.N. , Sedaev A.A. // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – № 4 (40). – С. 26-39.

### References

1. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Topologiya\\_LPWAN\\_seti.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Topologiya_LPWAN_seti.png) [Elektron-nyy resurs]

2. **Gudakov N.I.** Sistema kommercheskogo ucheta raskhoda gaza chastnymi potrebitel'yami s ispol'zovaniyem noveyshikh tekhnologiy [Electronic] / Gudakov N.I., Rogachova S.A., Zdobnikov I.A., Martynenko G.N. // Fiziko-tehnicheskiye problemy energetiki, ekologii i energoresursosberezheniya. Trudy 21-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii. – 2019. – S. 63-66.

3. **Martynenko G.N.** Optimal'nyy sintez gidravlicheskikh truboprovodnykh sistem v oblasti operativnogo upravleniya [Tekst] / Martynenko G.N., Panov M.YA., Shcherbakov V.I., Davy-dova I.P. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. – 2004. – № 2 (542). – S. 78-83.

4. **Martynenko G.N.** Analiz sushchestvuyushchey skhemy upravleniya gazopotokami v go-rodskikh sistemakh gazosnabzheniya i perspektivy yeye razvitiya v ramkakh operativnogo upravleniya [Tekst] / Martynenko G.N., Panov M.YA. // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Inzhenernyye sistemy zdaniy i sooruzheniy. – 2005. – № 2. – S. 23-26.

5. **Panov M.Y.** Modelirovaniye protsessov operativnogo upravleniya gorodskimi sistemami gazosnabzheniya na osnove drossel'nykh kharakteristik s ispol'zovaniyem sovremennykh ul'trazvukovykh metodov zamera raskhoda gaza [Tekst] / Panov M.YA., Martynenko G.N. // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – T. 4. – № 1. – S. 152-156.

7. **Luk'yanenko V.I.** Operativnoye upravleniye funktsionirovaniyem gorodskikh sistem gazosnabzheniya [Tekst] / Luk'yanenko V.I., Martynenko G.N., Panov M.YA. // v sbornike: Fiziko-tehnicheskiye problemy energetiki, ekologii i energoresursosberezheniya. Trudy nauchno-tehnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. – 2012. – S. 89-94.

9. **Martynenko G.N.** Operativnoye upravleniye gazoraspredelitel'noy sistemoy na osnove modeli vozmushchonnogo sostoyaniya [Tekst] / Martynenko G.N., Gnatyuk S.N. // Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. – 2012. – № 1 (6). – S. 36-42.

10. **Martynenko G.N.** Issledovaniye variantov ustanovki regulyatorov raskhoda na gazosnabzhayushchey sisteme [Tekst] / Martynenko G.N., Luk'yanenko V.I., Isanova A.V. // Nauchno-tehnicheskiye problemy sovershenstvovaniya i razvitiya sistem gazoenergосnabzheniya. – 2018. – № 1. – S. 13-17.

11. **Aldalis KH.** Formirovaniye matematicheskoy modeli operativnogo upravleniya funktsionirovaniyem sistem gazosnabzheniya s ispol'zovaniyem uzlovoy skhemy otbora putevoy nagruzki [Tekst] / Aldalis KH., Panov M.YA., Martynenko G.N. // Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. – 2009. – № 1 (1). – S. 75-80.

12. **Aldalis KH.** Razrabotka novoy skhemy gazoraspredeleniya i upravleniya funktsionirovaniyem gorodskikh sistem gazosnabzheniya nizkogo davleniya [Tekst] / Aldalis KH., Panov

М.ЯА., Martynenko G.N. // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2009. – № 1 (13). – S. 28-36.

13. **Panov M.Y.** Algoritm identifikatsii gidravlicheskih kharakteristik upravlyaye-mykh drosseley na vetvyakh strukturnogo grafa abonentskikh podsistem [Tekst] / Panov M.YA., Martynenko G.N., Dmitriyev I.A // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2008. – № 3 (11). – S. 106-112.

14. **Panov M.Y.** Ispol'zovaniye sistemy matlab dlya modelirovaniya protsessa upravleniya funktsionirovaniyem sistem gazosnabzheniya [Tekst] / Panov M.YA., Martynenko G.N., Ukhlova V.V., Kolosov A.I. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017. – № 1 (367). – S. 239-243.

15. **Martynenko G.N.** Prospects for the development of the gas supply system of the city district of voronezh for the period till 2035 [Tekst] / Martynenko G.N., Kitaev D.N., Sedaev A.A. // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – № 4 (40). – S. 26-39.

УДК 004: 677

**И.Н. ФИЛЬЧАКИНА<sup>1</sup>, Н.С. ФИЛЬЧАКИН<sup>2</sup>****ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ***Пензенский государственный университет архитектуры и строительства<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Пенза*

Несмотря на то, что отечественная легкая промышленность занимает второе место по объему розничного товарооборота после пищевой, развитие отрасли идет очень медленно. Это связано с сырьевой зависимостью, низким уровнем технического оснащения предприятий, а также с дефицитом специалистов. Внедрение цифровых технологий в технологический процесс производства полуфабрикатов и тканей по сравнению с традиционным производством имеет ряд преимуществ: сокращается время на разработку и проектирование новых продуктов за счет исключения из производственной цепочки ряда процессов; снижается доля брака; уменьшаются производственные затраты за счет создания виртуальных моделей вместо дорогостоящих натуральных моделей-прототипов. Также цифровое производство помогает оперативно менять ассортимент продукции, что очень важно для индустрии моды.

**I.N. FILCHAKINA<sup>1</sup>, N.S. FILCHAKIN<sup>2</sup>****EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGY  
IN THE TEXTILE INDUSTRY***Penza State University of Architecture and Construction<sup>1,2</sup>  
Russia, Penza*

Despite the fact that domestic light industry ranks second in terms of retail turnover after food, the development of the industry is very slow. This is due to raw materials dependence, a low level of technical equipment of enterprises, as well as a shortage of specialists. The introduction of digital technology in the manufacturing process of semi-finished products and fabrics in comparison with traditional production has several advantages: reduced time for the development and design of new products due to the exclusion of a number of processes from the production chain; the proportion of marriage is reduced; production costs are reduced by creating virtual models instead of expensive full-scale prototype models. Digital production also helps to quickly change the range of products, which is very important for the fashion industry.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, текстильная промышленность.**Keywords:** digital technologies, textile industry.**Введение**

Все отрасли экономики переживают цифровую трансформацию. Текстильная промышленность - не исключение, несмотря на присущую ей инертность и закостенелость. Несмотря на то, что отечественная легкая промышленность занимает второе место по объему розничного товарооборота после пищевой, развитие отрасли идет очень медленно.

Фактически более активные предприятия текстильной промышленности, внедряющие цифровые технологии (ЦТ), производят качественную продукцию и зарабатывают больше, чем не активные, которые продолжают работать по старинке, неся убытки и потери.

Сравнительный анализ двух производств с ЦТ и без них показал:

- те текстильные предприятия, которые закупили раскройные линии, вдвое снизили количество отходов, а некоторые организовали из отходов выпуск качественных обтирочных материалов, наладив тем самым технологию безотходного производства;
- наиболее продвинутые компании сократили перезапуск линий от трех дней до нескольких часов, что весьма существенно экономит время и энергозатраты;
- время разработки образцов и подготовки к выпуску промышленной партии сокращается рекордными темпами до 10 дней;
- некоторые фабрики, используя ЦТ, смогли отказаться от пошива пробных образцов, что позволило значительно сэкономить на тканях.

На сложность процесса цифровизации влияет ряд факторов, а именно: сказывается сырьевая зависимость, низкий уровень технического оснащения предприятий, дефицит специалистов.

Рынок труда требует качественно иного содержания подготовки специалистов. Цифровизация затрагивает не только содержание в образовании новых профессий, но и его организацию. Проникновение цифровых технологий (ЦТ) во все сферы жизни людей требует от массового работника нового качества обучения.

### **Опыт применения цифровых технологий**

Один из реальных выходов из сложившейся проблемы является создание в текстильной отрасли цифровых платформ-площадок. Примером создания такой площадки в России стало сотрудничество одной из отечественных производственных компаний и Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (далее – «Политех») в рамках поддержанной государством программы развития передовых производственных технологий «Технет» [1].

Если сравнивать текстильную фабрику будущего с существующей, то главное ее преимущество будет состоять в том, что все проектирование и испытание изделий будет происходить на цифровых платформах. Предлагается три вида цифровых платформ-площадок: «цифровая», «умная» и «виртуальная».

«Цифровая» площадка - это проектирование и производство продукции нового поколения от стадии исследования и планирования, когда закладываются базовые принципы изделия, до стадии создания цифрового макета продукта, «цифрового двойника» и опытного образца или мелкой серии. Это своеобразное конструкторское бюро, которое благодаря всемирной сети Интернет может работать с любой отраслью или компанией, расположенной в любой точке мира.

«Умная» площадка - это производство продукции нового поколения от этапа проектирования до готового изделия по цене серийного производства с применением роботизации. В качестве входного продукта здесь используется результат работы «Цифровой» площадки.

Производство - это самая малоприбыльная часть процесса. Чтобы быть конкурентоспособными на рынке сбыта готовой текстильной продукции, а также в ее производительности и качестве, нужно постоянно обновлять производственные фонды, закупать и устанавливать современные станки.

До недавнего времени производственную сферу выводили в Китай, поскольку старая схема в нашей стране имела существенные недостатки. Мы никогда не могли выпускать продукцию быстро, качественно и при этом еще и дешево. В последние годы производство вернули «домой», на свою территорию. Это произошло не потому, что в России подешевела рабочая сила, а потому, что на первое место выходит безлюдное роботизированное производство. Для России такая модель - хороший шанс вывести текстильное производство из кризиса [1].

«Виртуальная» площадка объединила в себе «цифровую» и «умную» в единую сеть. Конечный продукт производства – это виртуальная модель всех организационных, технологических процессов, которые распределены на территории «цифровых» и «умных» производств, представленных как единый объект.

Внедрение цифровых технологий в технологический процесс производства полуфабрикатов и тканей по сравнению с традиционным производством имеет ряд преимуществ: сокращается время на разработку и проектирование новых продуктов за счет исключения из производственной цепочки ряда процессов; снижается доля брака; уменьшаются производственные затраты за счет создания виртуальных моделей вместо дорогостоящих натуральных моделей-прототипов. Также цифровое производство помогает оперативно менять ассортимент продукции, что очень важно для индустрии моды.

Правда, есть одно «но». Переход к инновационным цифровым производствам требует строительства принципиально новых фабрик с нуля. Сегодня такие заводы (фабрики) будущего активно внедряются в машиностроении. Наглядный пример - петербургский автопром, где роботы уже стали такими же привычными, как некогда были токарные станки [1].

Компания ООО «Чиммер и Шварц, Россия» уверенно смотрит в будущее и не стоит на месте. Она активно присутствует на мировом рынке в виде 22-х дочерних филиалов и представительств в 15 странах мира. Стратегия компании – это стабильность, инновационный потенциал и надежность.

Трудно поверить, что изначально основное направление компании ООО «Чиммер и Шварц, Россия» было сосредоточено на традиционных технологиях текстильной обработки: крашении и отделке. В начале нового тысячелетия компания успешно вышла на новые рынки: от цифровой печати до технического и функционального текстиля, которые полностью соответствуют экологическим нормам и стандартам.

Помимо технического текстиля применение технологии цифровой печати привлекает все больше внимания и имеет положительные перспективы развития в будущем. В настоящее время использование цифровых технологий позволяет производить готовые продукты, которые гарантируют клиентам четкие контуры, яркость, глубину оттенков и устойчивость цвета.

Одной из важнейших позиций компании ООО «Чиммер и Шварц, Россия» является забота об окружающей среде. Традиционная текстильная промышленность считается одной из опасных производств для здоровья людей и окружающей среды. В процессе изготовления тканей, на всех этапах производственных процессов выделяется огромное количество вредных веществ, что может стать угрожающим для атмосферы и сточных вод. Дело в том, что среди всех отраслей промышленности текстильная отрасль, использующая традиционную технологию печати, является одним из самых крупных потребителей воды. Вентиляционные выбросы заводских цехов содержат пары растворителей, формальдегидов, сероводорода и углеродов, а также соединения тяжелых металлов. Что касается загрязнения почвы, то и здесь картина печальная. Загрязнение сточных вод красителями и химическими веществами, участвующими в технологии обработки тканей, приводит к серьезной экологической проблеме [2].

Экологический фактор учитывается при разработке каждого нового продукта компании ООО «Чиммер и Шварц, Россия», который соответствует экологической перестройке текстильной промышленности. Новая «зеленая» технология влечет за собой сжатие производственного процесса в целях экономии энергоресурсов и сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду. Разработка и оптимизация всех новых продуктов происходят в лабораториях компании, оснащенных по последнему слову техники. За последние годы приобретены новые машины для нанесения покрытий на технический текстиль, а также оборудование для цифровой печати.

### Сложности на пути цифровизации

Однако наряду с активной тенденцией перехода на цифровые технологии имеется целый ряд ограничений. Дело в том, что новое цифровое оборудование для обработки тканей поступает на предприятия от разных поставщиков, поэтому производители текстиля не могут использовать все возможности новой технологии. В связи с этим, компания *Mimaki* взялась за решение этой проблемы и смогла предложить единое комплексное решение для промышленной печати на текстиле [3].

Крупным и известным брендовым производствам текстиля все труднее становится управлять своими производственными и сбытовыми расходами. Чтобы компенсировать затраты на нереализованную продукцию, а также успешно выдерживать жесткую конкуренцию, необходимо каждый участок предприятия сделать максимально эффективным и рентабельным.

Все преимущества новой технологии печати могут быть использованы в полном объеме только в том случае, если процесс цифрового текстильного производства работает как часы. С учетом этого, с целью переработки больших объемов продукции, к используемому оборудованию предъявляются высокие требования, приводящие к исключению промежуточного технического обслуживания. И здесь вновь могут возникнуть сложности. Устройства всей производственной цепочки не всегда согласуются друг с другом, не всегда способны обеспечить одинаковый объем производства и могут требовать разных по длительности периодов между техническим обслуживанием. Следовательно, в какой-то момент печатное оборудование может приостановиться из-за неполадок вспомогательных машин, что приведет к приостановке всего производства на неопределенный срок.

Для восстановления работоспособности производственной линии текстильное печатное предприятие ждет сервисной поддержки из разных источников. Таким образом, получается, что эффективность цифрового текстильного производства всегда будет зависеть от «слабого звена» в цепочке. Поэтому поддержка всего технологического процесса одним исполнителем крайне важна.

### Выводы

Цифровая текстильная печать на сегодняшний день рассматривается в качестве выгодной альтернативы аналоговым печатным технологиям, так как она не привязана к объемам производства, не требует больших складских запасов и позволяет изготавливать продукцию под заказ небольшими партиями с минимальными сопутствующими затратами и с наиболее высокой прибылью. Важно и то, что продукцию, изготовленную небольшими партиями, значительно проще и быстрее довести до заинтересованного потребителя.

Поэтому в настоящее время производители традиционного текстиля инвестируют большие средства именно в модернизацию своих предприятий и в их оснащение современным цифровым оборудованием. Согласно последним данным, благодаря «цифровому» перевороту текстильное производство из стран Азии постепенно возвращается в Европу, что в свою очередь позволяет сократить время выхода компаний на промышленный рынок, сэкономить на транспортной логистике и упростить сбыт готовой продукции [3].

В настоящее время наблюдается активная тенденция в плане перехода текстильного производства от привычных печатных технологий к цифровым, тем самым открывается огромный потенциал для повышения эффективности производства в целом доля которой с каждым днем только растет. Например, в Туркменистане утверждено положение о министерстве текстильной промышленности; в соответствии с этим, в данном ведомстве будет создан отдел цифровых технологий [4]. В частности, готовится проект по сооружению нового прядильного предприятия по переработке верблюжьей и козьей шерсти, а также

производства по переработке текстильных и шерстяных остатков, отходов камыша и хлопчатника. Данные объекты будут оснащены современным инновационным оборудованием.

Цифровые технологии покорили текстильную промышленность и открыли новые возможности в производстве: от разработок виртуальных продуктов в 3D до полностью автоматизированной цифровой печати с применением современных цифровых технологий.

Внедрение информационных технологий позволит автоматизировать единый производственный процесс и повысить производительность и эффективность, а также увеличить быструю окупаемости вложений.

Кроме того, использование цифровых технологий в текстильном производстве значительно снизит потребление природных ресурсов и предотвратит активное загрязнение окружающей среды.

### Библиографический список

1. **Алла Чередниченко.** Ремесло уходит в цифру [Интернет ресурс] / Чередниченко А. // Газета. Санкт – Петербургские ведомости. – 14.03.2018. Режим доступа: [https://spbvedomosti.ru/news/ekonomika/remeslo\\_ukhodit\\_v\\_nbsp\\_tsifru/](https://spbvedomosti.ru/news/ekonomika/remeslo_ukhodit_v_nbsp_tsifru/).
2. Как жить? Влияние текстильного производства на природную среду [Интернет ресурс]. Режим доступа: [http://www.spletnik.ru/blogs/vokrug\\_sveta/151698\\_kak-zhit-vliyanie-tekstilnogo-proizvodstva-na-prirodnuyu-sredu](http://www.spletnik.ru/blogs/vokrug_sveta/151698_kak-zhit-vliyanie-tekstilnogo-proizvodstva-na-prirodnuyu-sredu).
3. **Берт Бенкхаузен.** Повысьте эффективность текстильного производства с помощью универсального решения от компании Mimaki [Интернет ресурс]. Режим доступа: <https://pechatnick.com/articles/bert-benkhaizen-mimaki-poviste-effektivnost-tekstilnogo-proizvodstva-s-pomoshu-universalnogo-resheniya-ot-kompanii-mimaki>
4. **Гусейн Гасанов.** Текстильная отрасль Туркменистана нацелена на цифровые технологии [Интернет ресурс] / Гасанов Г. // Режим доступа: <https://www.trend.az/business/economy/3195405.html>.

### References

1. **Alla Cherednichenko.** Remeslo uhodit v cifru [Internet resurs] / CHerednichenko A. // Gazeta. Sankt – Peterburgskie vedomosti. – 14.03.2018. Rezhim dostupa: [https://spbvedomosti.ru/news/ekonomika/remeslo\\_ukhodit\\_v\\_nbsp\\_tsifru/](https://spbvedomosti.ru/news/ekonomika/remeslo_ukhodit_v_nbsp_tsifru/).
2. Как жить? Vliyanie tekstil'nogo proizvodstva na prirodnuyu sredu [Internet resurs]. Rezhim dostupa: [http://www.spletnik.ru/blogs/vokrug\\_sveta/151698\\_kak-zhit-vliyanie-tekstilnogo-proizvodstva-na-prirodnuyu-sredu](http://www.spletnik.ru/blogs/vokrug_sveta/151698_kak-zhit-vliyanie-tekstilnogo-proizvodstva-na-prirodnuyu-sredu).
3. **Bert Benkkhauzen.** Povys'te effektivnost' tekstil'nogo proizvodstva s pomoshch'yu universal'nogo resheniya ot kompanii Mimaki [Internet resurs]. Rezhim dostupa: <https://pechatnick.com/articles/bert-benkhaizen-mimaki-poviste-effektivnost-tekstilnogo-proizvodstva-s-pomoshu-yniversalnogo-resheniya-ot-kompanii-mimaki>
4. **Gusejn Gasanov.** Tekstil'naya otrasl' Turkmenistana nacelena na cifrovyte tekhnologii [Internet resurs] / Gasanov G. // Rezhim dostupa: <https://www.trend.az/business/economy/3195405.html>.

УДК 339.13

**А.Н. ПУСТОВГАР<sup>1</sup>, В.В. ВОЛКОВ<sup>2</sup>, О.Б. КУКИНА<sup>3</sup> С.Н. ЗОЛОТУХИН<sup>4</sup>****ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ***Научно-исследовательский институт строительных материалов и технологий (НИИ СМТ)<sup>1</sup>**Россия, г. Москва**Воронежский государственный технический университет<sup>2,3,4</sup>**Россия, г. Воронеж*

Проблемы использования цифровых технологий в индустриальном производстве сталкиваются с множеством проблем, в частности, в необходимости создания обрабатывающих центров с числовым программным управлением для получения решений в области строительства. Рассмотрены положительные стороны проектов 3D - строительства и показано, влияние стабильности смесей, используемых при вновь формируемом изделии.

**A.N. PUSTOVGAR<sup>1</sup>, V.V. VOLKOV<sup>2</sup>, O.B. KUKINA<sup>3</sup>, S.N. ZOLOTUCHIN<sup>4</sup>****THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION***Scientific-research Institute of building materials and technologies<sup>1</sup>**Russia, Moscow**Voronezh state technical university<sup>2,3,4</sup>**Russia, Voronezh*

The problems of using digital technologies in industrial production face many challenges the need to create processing centers with numerical control to obtain solutions in the field of construction. The positive aspects of 3D construction projects are considered and the influence of stability of mixtures used in the newly formed product is shown.

**Ключевые слова:** строительство, аддитивные технологии, прогнозирование свойств, местные строительные материалы, технологии умного производства

**Keywords:** construction, additive technologies, prediction of properties, local building materials, smart manufacturing technologies.

**Введение**

Реализация программы, направленной на развитие “цифровой экономики” РФ [1] сталкивается с множеством проблем. Использование цифровых технологий в различных отраслях народного хозяйства Российской Федерации привело к неправильному пониманию цифровизации по отношению к классическим технологиям при получении конечного продукта. Это относится и к строительной отрасли, где инициатором развития данного направления выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации [2].

Аддитивные технологии в строительстве включены в интегральное цифровое направление “Новые производственные технологии” [5]. Она включает сквозное цифровое проектирование строительных конструкций, математическое и физическое моделирование материалов и управление жизненным циклом строительных изделий или продукции. Исполнение новых концептуальных решений базируется на технологии умного строительного производства. Возрастающие объемы строительства зданий и сооружений, сложность возведения объектов достигается развитием интеллектуальных манипуляторов и технологии манипулирования строительными объектами и изделиями, повышающей степень автоматизации строительного производства. Реализация задачи увеличения возводимых

объемов строительных объектов возможна с использованием аддитивных технологий в строительстве, включая 3D и 4D технологии. И если в обрабатывающей промышленности (точном машиностроении) сделан серьезный шаг к созданию обрабатывающих центров с числовым программным управлением (ЧПУ) и на этой основе получено множество пар решений «деталь-обрабатывающая система», «обрабатывающая система – система ЧПУ», программный комплекс формирования геометрии 3D-изделия в последующей его обработке, то в строительной индустрии пока в этом направлении делаются только первые шаги.

Актуализация аддитивных технологий вызвана применением технологии «цифровой двойник», является технологией-интегратором практически всех «сквозных» цифровых технологий и субтехнологий, выступает технологией-драйвером, обеспечивает технологические прорывы и позволяет высокотехнологичным компаниям переходить на новый уровень технологического и устойчивого развития на пути к промышленному лидерству на глобальных рынках.

Первичным шагом является построение модельного ряда изменяющихся свойств создаваемых и обрабатываемых изделий и получения элементов конструкции деталей с заданными свойствами и возможностью «цифрового двойника», что создало технологии 3D-обработки. Однако широкая вариативность физико-механических и химических свойств используемых изделий, материалов привела к тому, что в строительной индустрии, даже с учетом ее значительных капиталовложений существует большая проблема получения готовых к применению изделий и строительных конструкций [3].

### Постановка проблемы

Последовательность создания сквозной цифровой технологии содержит множество шагов, и к настоящему времени в мире уже реализована концепция строительства зданий и конструкции с применением аддитивных технологий. В первую очередь, это адаптация различных природных и искусственных материалов для использования в автоматизированных процессах формирования готового изделия. Так, известен проект CountourCraftingCorp (1998 г), в котором при изготовлении смесей использовались сульфатостойкий цемент, пластификатор на карбоксилатной основе, полипропиленовая фибра, уплотненный оксид кремния. Различные производители осуществили пробное изготовление строительных конструкций, и например, компания ShanghaiWinSunDecorationDesignEngineeringCo (Китай) изготовила конструкции на производственной площади 1500 м<sup>2</sup> с применением 3D-технологий, а компания ApisCor тоже построила дом площадью 38 м<sup>2</sup>[7].

Проблема строительства дешевого жилья существует испокон веков и многие семьи мечтают иметь свой дом. Около миллиарда людей на планете не имеют нормального жилья. Осуществление заветной мечты жителей планеты возможно с использованием технологии умного производства. Родиной американских быстровозводимых домов стал техасский город Остин, где компанией ICON был сконструирован первый промышленный принтер для трехмерной печати, получивший название «Вулкан». Новая технология может осуществить прорыв, сделав жилье доступным для самых разных слоев общества. Предполагается, что 3D-печатные дома будут не менее долговечны, чем сделанные из кирпича или бетона. Простота их конструкции может свести к минимуму затраты на содержание и техническое обслуживание. А реализация большинства шагов может быть осуществлена в цифровом мире, сквозном пространстве - от виртуального представления до формирования 3D-форм. Альтернативой жесткого использования заранее рассчитанных параметров и свойств материалов показали итальянские инженеры, которые решили использовать технологию «строительство из грунта» в совокупности с 3D-печатью для строительства малобюджетного экологичного жилья. К сожалению, широкий спектр грунтов и их физических характеристик сильно затормаживает продвижение данной технологии [6].

Положительными сторонами данных проектов является:

1. Время строительства в среднем составляет - 6–9 месяцев, а в перспективе данный интервал уменьшается до 1 дня.
2. Формирование городских пространств с достойным жильем низкой ценовой категории.
3. Ускорение строительства при реализации социальных гарантий.
4. Повышение безопасности работ при строительстве.
5. Увеличение гибкости реализуемых проектов и их повторяемости.

Научно-технические проблемы развития аддитивных технологий в России неоднократно рассматривались научно-техническим советом Военно-промышленной комиссии Российской Федерации, мероприятия по развертыванию аддитивного производства и развитию системы непрерывного образования в этой области и закреплённых решением Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России. Вышеуказанная комиссия отметила ограниченность круга использованных цифровых технологий, различие базового представления технологии и сильную зависимость от зарубежных цифровых продуктов, что значительно сужает применимость на просторах РФ.

Целью данного исследования является разработка цифровой цепочки сквозного проектирования строительных объектов с использованием аддитивных технологий, включающей цифровую экспресс-методику прогнозирования вяжущих свойств природных, искусственных и техногенных материалов и позволяющей осуществить переход к цифровым технологиям в строительстве. Объектом исследования является технология взаимосвязанного получения конечного продукта в строительной отрасли с использованием цифрового преобразования пространственного объекта в 3D-формы готовых изделий.

### Анализ

Отечественные специалисты в области инновационных технологий отмечают слабое развитие аддитивных технологий в России. Отдельные ведущие отечественные предприятия авиационной, автомобильной промышленности, энергетики и предприятия Росатома и многие другие уже имеют опыт практического использования 3D-печати в различных отраслях промышленности. Работы по освоению аддитивных технологий активно развиваются Минпромторгом России, Минобрнауки России, Роскосмосом, Государственной корпорацией «Ростех», Госкорпорацией «Росатом», ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация», ОАО «Объединенная двигателестроительная корпорация», научными организациями ФАНО России.

Анализ наработки применения 3D-аддитивных технологий показал отсутствие стопроцентной сквозной технологии, содержащей основные цифровые этапы: технологии виртуальной и дополненной реальности; нейротехнологии и искусственный интеллект; квантовые технологии; новые производственные технологии; компоненты робототехники и сенсорики; системы распределенного реестра; технологии беспроводной связи. Коллектив авторов из Воронежского государственного технического университета разрабатывает цифровую экспресс-методику прогнозирования вяжущих свойств природных, искусственных и техногенных материалов, которая позволит автоматизировать оценки качества материалов в полевых условиях и в условиях той местности, где непосредственно будет строиться объект [7].

Технологические решения по внедрению и использованию аддитивных технологий в строительстве имеют проблему разрывности цифровой цепочки и если проектирование строительных объектов в цифровом виде осуществляется практически на сто процентов, то определение их физико-механических параметров, практически всегда упираются в реологию строительных смесей, в сложность “цифровизации” параметров коррозии напечатанных изделий и конструкций под действием агрессивной окружающей среды. Это, в частности, связано с отсутствием единых методов и методик сохранения

необходимого водоцементного соотношения смесей в процессе их укладывания в готовые изделия или конструкции, где выработка цифровых нормативов еще не завершена. В силу отсутствия цифровых методик учета несовершенных свойств затвердевающих изделий и конструкций невозможно эффективно применять компоненты робототехники. А отсутствие нормативной документации по использованию аддитивных технологий в строительстве вызвано отсутствием единого распределенного реестра защищенного блокчейном, позволяющим накапливать и хранить цифровые отпечатки решений для повторного использования.

### Выводы

Отличительной особенностью строительного производства является широкий разброс параметров строительных материалов и их характеристик. Это вызвано не только особенностями технологии приготовления и получения данных изделий, но и статистической неопределенностью варьирования исходных параметров сырья. Некоторые материалы имеют одинаковый химический состав, но минералы могут иметь различные модификации, отличающиеся параметрами элементарных кристаллических решеток, углами связей, коэффициентами преломления, наличием различного рода дефектов и примесей как на поверхности, так и в самой кристаллической решетке.

Обзор применяемых в строительстве 3D аддитивных технологий показал, что наиболее серьезными проблемами является стабильность смесей, используемых при печати и управление в технологическом процессе реологическими характеристиками вновь формируемого изделия. Эта проблема усугубляется использованием местных материалов, в особенности, неоднозначности химического состава с их структурой. Для разрешения вышеуказанных проблем является необходима разработка оперативного управления технологическим процессом на основе автоматизированного экспресс-анализа характеристик используемых материалов, это даст возможность перейти на новый уровень управления аддитивной технологией в строительстве.

### Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2019 г. № 529 «Об утверждении Правил предоставления субсидий российским организациям на возмещение части затрат на разработку цифровых платформ и программных продуктов в целях создания и (или) развития производства высокотехнологичной промышленной продукции». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72137228/>
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 3 мая 2019г. № 551 «О государственной поддержке программ деятельности лидирующих исследовательских центров, реализуемых российскими организациями в целях обеспечения разработки и реализации дорожных карт развития перспективных "сквозных" цифровых технологий». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72140582/>
3. **Золотухин С.Н.**, Кукина О.Б., Абраменко А.А., Соловьева Е.А., Савенкова Е.А. Прогнозирование свойств композиционных строительных материалов с использованием современных компьютерных программ и методов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции / под. ред. С.У. Увайсова – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2017, – С. 375 – 379.
4. **Иноземцев А.С.**, Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т.13. Вып 7 (118). С. 863-876.

5. Дорожная карта развития "сквозной" цифровой технологии "Новые производственные технологии". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6662/>
6. **Weng, Y.,** Li, M., Tan, M.J., Qian, S. Design 3D printing cementitious materials via Fuller Thompson theory and Marson-Percy model. Singapore Centre for 3D Printing, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, Singapore. School of Civil and Environment Engineering, Nanyang Technological University, Singapore. Volume 163, 28 February 2018, Pages 600-610.
7. **Волков В.В.,** Кукина О.Б., Золотухин С.Н., Рудаков Я.О. Проблемы внедрения аддитивных технологий в строительной индустрии. // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» Сборник трудов XVI международной научно-практической конференции, Сочи - 2019, с. 515 – 520.

### References

1. Decree of the Government of the Russian Federation of April 30, 2019 No. 529 "on approval Of the rules for granting subsidies to Russian organizations for reimbursement of part of the costs for the development of digital platforms and software products for the purpose of creating and (or) developing high- tech industrial production". <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72137228/>
2. Decree of the Government of the Russian Federation of May 3, 2019 No. 551 "On state support for the programs of leading research centers implemented by Russian organizations in order to ensure the development and implementation of road maps for the development of promising "end-to- end" digital technologies". <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72140582/>
3. **Zolotukhin S. N.,** Kukina O. B, Abramenko A. A., Solovieva E. A., Savenkova E. A. Forecasting properties of composite construction materials using modern computer programs and methods // Innovative, information and communication technologies: proceedings of the XIV International scientific and practical conference / pod. edited by S. W. Uvaisov – Moscow: Association of alumni and staff vviain. prof. Zhukovsky , 2017, - P. 375-379.
4. **Inozemtsev A. S.,** Korolev E. V., Zuong Than Kui. Analysis of existing technological solutions for 3D printing in construction // Vestnik MGSU. 2018. Vol. 13. Issue 7 (118). Pp. 863-876.
5. Roadmap for the development of" end-to- end "digital technology" New production technologies". <https://digital.gov.ru/ru/documents/6662/>
6. **Weng, Y.,** Li, M., Tan, M.J., Qian, S. Design 3D printing cementitious materials via Fuller Thompson theory and Marson-Percy model. Singapore Centre for 3D Printing, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, Singapore. School of Civil and Environment Engineering, Nanyang Technological University, Singapore. Volume 163, 28 February 2018, Pages 600-610.
7. **Volkov V. V.,** Kukina O. B., Zolotukhin S. N., RudakovYa. O. Problems of implementing additive technologies in the construction industry // Innovative, information and communication technologies " proceedings Of the XVI international scientific and practical conference, Sochi-2019, p. 515-520.

УДК 004.92

**М.А. БЕЛЫХ<sup>1</sup>, Д.А. ВДОВИН<sup>2</sup>, А.М. НУЖНЫЙ<sup>3</sup>, Н.И. ГРЕБЕННИКОВА<sup>4</sup>****АНАЛИЗ АСПЕКТОВ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОБЛАКА ТОЧЕК**

*Воронежский государственный технический университет<sup>1,2,3,4</sup>  
Россия, г. Воронеж*

В статье выполнен обзор основных аспектов технологии обработки облака точек с позиции их изучения в рамках дисциплины «Компьютерная графика» для направления «Информатика и вычислительная техника». Рассмотрены методы получения, форматы представления и области применения этой технологии. Определен перечень алгоритмов, программных библиотек и программных комплексов, используемых для обработки облака точек и рекомендуемых для изучения в рамках дисциплины «Компьютерная графика».

**M.A. BELYKH<sup>1</sup>, D.A. VDOVIN<sup>2</sup>, A.M. NUZHNYI<sup>3</sup>, N.I. GREBENNIKOVA<sup>4</sup>****ANALYSIS OF ASPECTS OF STUDYING TECHNOLOGIES OF DOT CLOUD PROCESSING**

*Voronezh state technical university<sup>1,2,3,4</sup>  
Russia, Voronezh*

The article provides an overview of the main aspects of point cloud processing technology from the point of view of their study in the discipline "Computer Graphics" for the direction "Computer Science and Computer Engineering". The methods of obtaining, presentation formats and areas of application of this technology are considered. The list of algorithms, software libraries and software systems used to process the point cloud and recommended for study in the framework of the discipline "Computer Graphics" is determined.

**Ключевые слова:** облако точек, 3D-модель, образование, цифровые технологии.  
**Keywords:** point cloud, 3D model, education, digital technology.

**Введение**

Перечень вопросов, актуальных для включения в программу дисциплины, посвященной изучению средств компьютерной графики (КГ) для направления «Информатика и вычислительная техника», может быть разделен на следующие группы:

- рассмотрение традиционных вопросов (алгоритмы векторной графики, вопросы геометрического моделирования, элементы графического конвейера и пр.), которые необходимы для формирования базовых понятий КГ и 3D-моделирования;
- знакомство с комплексом программно-технических средств компьютерной графики, предназначенных для решения актуальных научно-технических задач.

Практическое освоение теоретических материалов первой группы может быть построено на изучении высокоуровневых графических API, таких как OpenGL и DirectX. Это позволит сформировать у студентов базовые навыки 3D-моделирования, освоить элементы графического конвейера, такие, как: использование объемных примитивов, вершинных и индексных буферов, текстурирование, использование шейдеров. Пример лабораторной работы по изучению Direct 3D приведен на рисунке 1.

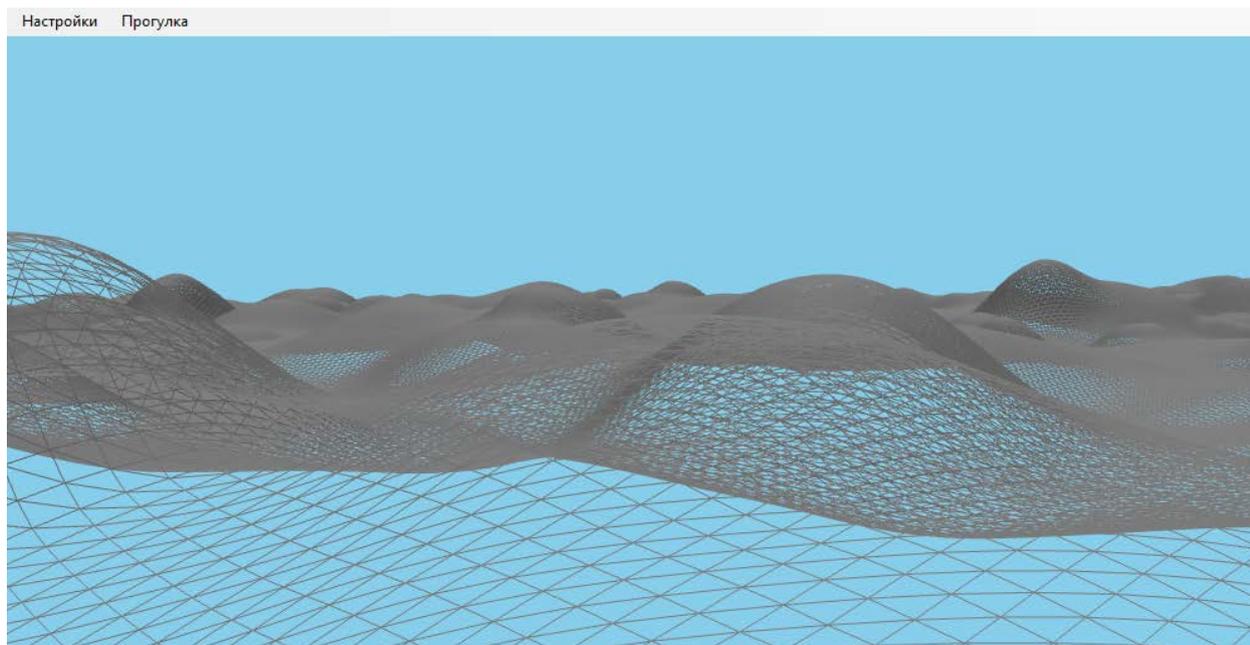


Рис. 1 - Пример лабораторной работы по изучению Direct 3D

Практическое освоение вопросов второй группы может включать в себя:

– изучение API современных CAD-систем для формирования у студентов навыков разработки библиотек параметрического моделирования для современных графических ядер. В качестве примера можно привести Visual Basic for Application для Autocad или OpenNX для Siemens NX (см. рис.2);

– изучение современных высокотехнологичных и наукоемких методов работы с трехмерными моделями, например, облаком точек.

Остановимся подробнее на рассмотрении последнего пункта, как наиболее современного и наукоемкого.

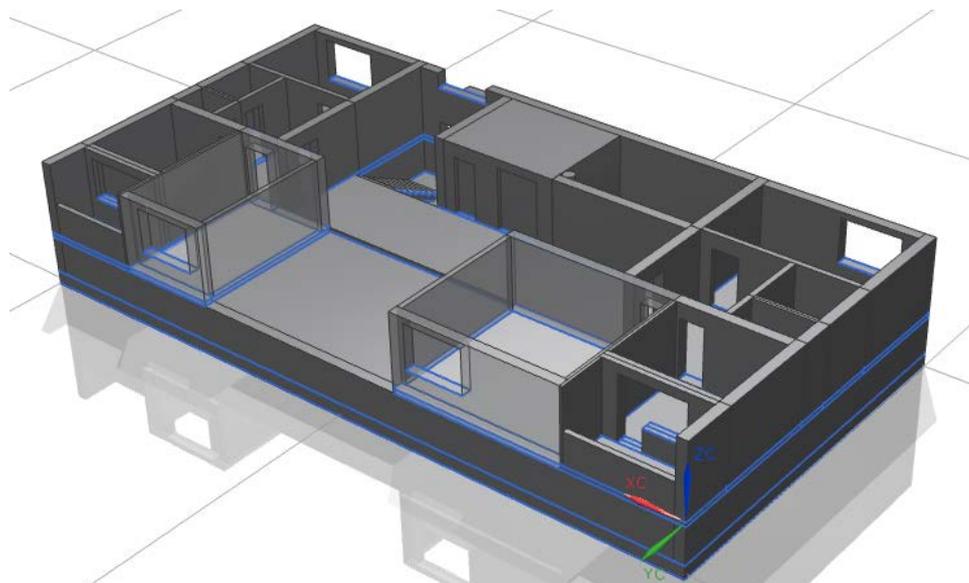


Рис. 2 - Пример работы программы параметрического моделирования на платформе Siemens NX

### Общие вопросы технологии 3D-сканирования

Облако точек (англ. point cloud) – способ представления трехмерной модели объекта или пространства, полученной, преимущественно, в результате сканирования при помощи 3D-сканера.

Технически облако точек (ОТ) представляет собой набор (базу данных) геометрических координат (X,Y,Z) точек, расположенных на поверхности объекта. ОТ могут быть созданы как результат единичного сканирования объекта, или как объединение результатов нескольких пространственных измерений.

Если при сканировании к геометрическим координатам добавляются данные о цвете объектов, то облако точек из трехмерного (3D) превращается в четырехмерное (4D).

Наибольшим различием между типами файлов облака точек является использование американского стандартного кода для обмена информацией (ASCII), основанного на двоичном коде и передающего информацию с помощью текста, и двоичного файла [1].

Двоичные системы хранят данные в двоичном коде. Двоичные форматы облаков общих точек включают FLS, PCD (библиотека облаков точек) и LAS. Несколько других, регулярно используемых типов файлов, поддерживают как ASCII, так и двоичные форматы. К ним относится, например, PLY. E57 хранит данные как в двоичном, так и в ASCII, объединяя многие преимущества обоих в один тип файла.

Общие форматы файлов облачных точек OBJ были впервые разработаны технологиями Wavefront, вследствие чего этот формат был принят широким спектром 3D-приложений. Это простой формат данных, который представляет только трехмерную геометрию, нормали, цвет и текстуру.

PLY известен как формат файла многоугольника или формат треугольника Стэнфорда. Формат основывается на OBJ и специально создан для хранения трехмерных данных. PLY использует списки номинально-плоских многоугольников для представления объектов. Цель разработки формата состояла в том, чтобы добавить возможности расширения и возможность хранить большее количество физических элементов. Результатом является формат файла, способный представлять цвет, прозрачность, нормали поверхности, текстуру, координаты и значения достоверности данных. Существует две версии этого файла, одна в ASCII, а другая в двоичном.

XYZ представляет собой нестандартный набор файлов, основанный на декартовых координатах («x», «y» и «z»). XYZ – это архетипический тип файла ASCII, передающий данные в виде строк текста. Для файлов XYZ нет стандартизации единиц. Несмотря на широкую совместимость между программами для этого типа файлов, отсутствие стандартизации окружающих единиц и спецификаций делает его принципиально ошибочным методом передачи данных, если не предоставлена дополнительная информация.

PCG, RCS, RCP – форматы файлов, разработанные Autodesk специально для удовлетворения требований их программного комплекса. RCS и RCP более новые. Однако продукты Autodesk часто могут конвертировать некоторые открытые форматы, такие как PTS, в файлы PCG.

E57 является независимым от производителя форматом файла для облачного хранилища точек. Он также может использоваться для хранения изображений и метаданных, полученных с помощью лазерных сканеров и других систем 3D-визуализации. Он компактен и широко используется. Он также использует двоичный код в тандеме с ASCII, обеспечивая большую часть доступности ASCII и скорость двоичного кода. E57 может представлять нормали, цвета и интенсивность скалярного поля.

В учебную программу следует включить изучение формата RCP, так как он является файлом проекта, который формируется программой после сканирования программным средством Autodesk ReCap.

### Области использования облака точек

Наиболее распространенной областью применения ОТ является проверка качества и индустриальная метрология. Готовое изделие сканируют и полученное ОТ накладывают на трехмерную модель изделия, созданную в CAD-системе при его проектировании. В результате сравнения, выполняемого в автоматическом или полуавтоматическом режиме, выделяют участки и области отклонений реальной модели от формальной. Схожие технологии используются не только в машиностроении, но и в строительстве (см. рис. 3) [2].

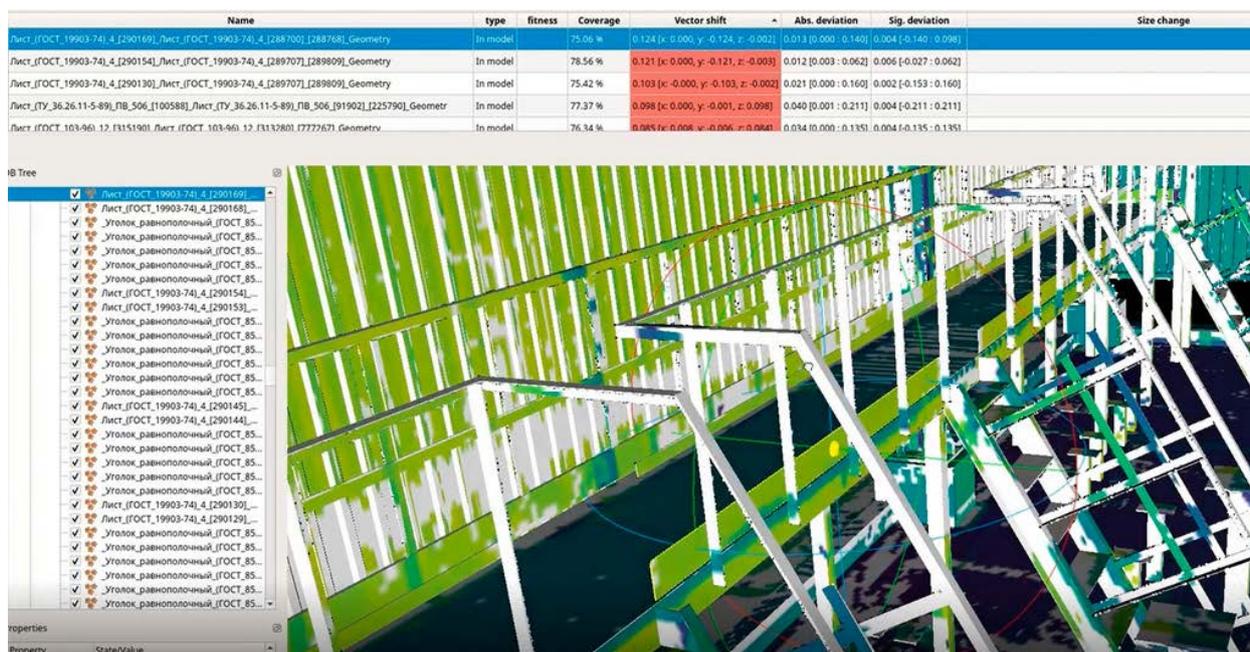


Рис. 3 - Визуализация ОТ с показанными отклонениями от CAD-модели

Используют ОТ и для ускорения процесса проектирования. При этом ОТ, открытое в CAD-системе, может использоваться в качестве вспомогательной подосновы при выполнении графических построений.

Распространенной областью использования ОТ является визуализация объёмных данных, в частности, медицинская визуализация. Совместное использование облака точек и традиционной для этих задач воксельной модели, позволяет осуществить эффективное сглаживание отображения и сжатие данных.

Одной из традиционных сфер использования технологии ОТ являются геоинформационные системы, где на основе ОТ создают цифровые модели рельефа и 3D-модели городской среды.

### Алгоритмы и библиотеки обработки облака точек

Большинство программных приложений не использует непосредственную визуализацию ОТ, а выполняет их преобразование в полигональную сетку, модели с NURBS-поверхностями или CAD-модели. Этот процесс получил название «Реконструкция поверхности».

В этой связи, алгоритмы, используемые для преобразования облака точек в трёхмерные поверхности, являются одним из важнейших аспектов изучения этой технологии.

В учебную программу дисциплины КГ может быть включено изучение таких алгоритмов, как триангуляция Делоне, алгоритм поворота шара (англ. ball pivoting).

Триангуляция Делоне впервые появилась в научном мире как граф, двойственный диаграмме Вороного – одной из базовых структур вычислительной геометрии. Она представляет собой триангуляцию (разбиение геометрического элемента на симплексы) для заданного множества точек  $S$  на плоскости, при которой для любого треугольника все точки из  $S$  за исключением точек, являющихся его вершинами, лежат вне окружности, описанной вокруг треугольника [3].

Одно из свойств триангуляции Делоне – ее сбалансированность в том смысле, что формируемые треугольники стремятся к равноугольности (см. рис. 4).

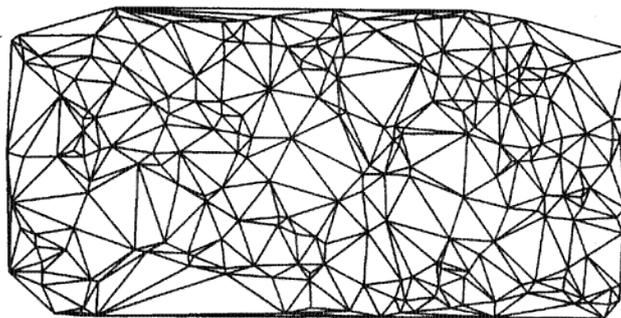


Рис. 4 - Триангуляция Делоне для 250 точек

Полученные с помощью алгоритма тетраэдры представляют собой аппроксимацию гранями и позволяют вычислить объём тела, а также организовать интерактивную 3D-визуализацию. В контексте представленной задачи помимо прочего эффективен подход, когда строится триангуляция Делоне для выпуклой оболочки, затем удаляются тетраэдры, у которых радиусы описанных окружностей превышают тот, который был задан изначально.

Алгоритм поворота шара назван так благодаря имитации движения виртуального шара, помогающего восстановить сетку из облака точек [4].

Чтобы построить сетку из ОТ, сначала предполагается, что данное облако точек состоит из точек, отобранных с поверхности объекта. Точки строго представляют собой поверхность, поэтому сетка, построенная из этих точек, также представляет собой поверхность.

Используя это предположение, алгоритм катит крошечный шарик по «поверхности» точек. Размер шарика зависит от масштаба сетки, но он должен быть немного больше, чем среднее расстояние между точками. Если бросить шар на сетку, представленную поверхностью точек, он будет пойман и разместится на трех точках. Это семенной треугольник: три точки, подпирающие шар, образуют треугольник, который становится частью сетки. С этого места шарик может катиться в любом направлении. Необходимо катить шар вдоль края треугольника, образованного из двух точек. Затем шар располагается в новом месте: новый треугольник формируется из двух предыдущих вершин и одной новой точки, и этот треугольник добавляется к сетке. По мере того как шар катится и поворачивается, новые треугольники формируются и добавляются к сетке. Шар будет перемещаться до тех пор, пока сетка не будет полностью сформирована.

Для практического изучения вышеперечисленных алгоритмов могут быть использованы такие библиотеки, как OpenTK и PCL.

OpenTK (Open Toolkit) представляет собой набор быстрых низкоуровневых привязок C# для OpenGL, OpenGL ES и OpenAL. Он работает на всех основных платформах и поддерживает сотни приложений, игр и научных исследований. OpenTK предоставляет

несколько служебных библиотек, включая пакет `math/linear algebra`, оконную систему и обработку входных данных [5].

Пример визуализации облака точек автомобиля в приложении, разработанном с использованием OpenTK, приведен на рисунке 5.

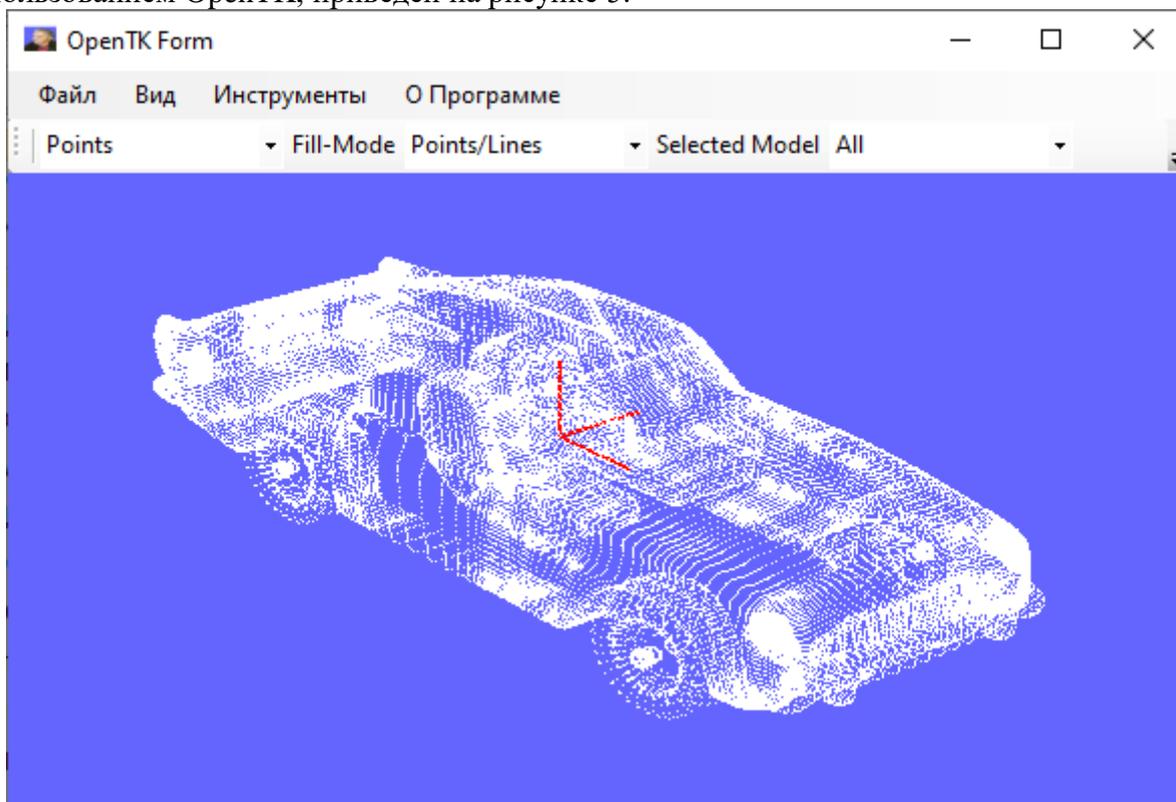


Рис. 5 - Пример визуализации облака точек с помощью OpenTK

Библиотека облака точек (Point Cloud Library – PCL) представляет собой крупномасштабный, открытый проект для обработки облака точек. Инфраструктура PCL содержит множество современных алгоритмов, включая фильтрацию, оценку характеристик, реконструкцию поверхности, регистрацию, подбор модели и сегментацию. Эти алгоритмы могут использоваться, например, для фильтрации выбросов из зашумленных данных, сшивания трехмерных облаков точек, сегментирования соответствующих частей сцены, выделения ключевых точек и вычисления дескрипторов для распознавания объектов в мире на основе их геометрического вида и создания поверхностей из Облака точек и визуализировать их – чтобы назвать несколько [6].

PCL выпущен на условиях лицензии BSD и является программным обеспечением с открытым исходным кодом. Это бесплатно для коммерческого и исследовательского использования.

PCL является кроссплатформенным и успешно скомпилирован и развернут на Linux, MacOS, Windows и Android. Чтобы упростить разработку, PCL разделен на ряд небольших библиотек кода, которые могут быть скомпилированы отдельно. Эта модульность важна для распространения PCL на платформах с уменьшенными вычислительными или размерными ограничениями.

### **Программные комплексы для обработки облака точек**

Наглядным примером применения облака точек для обнаружения дефектов служит такое программное решение, как Jet Construction Monitor, разработанное для применения в

строительной сфере и ориентированное на заказчиков строительства. Назначение программного продукта – контроль строительных подрядчиков.

Приложение выявляет отклонения отсканированного облака точек от проектной 3D-модели. При этом учитываются допуски на каждый класс конструктивных элементов. Когда элемент выходит за границу допуска, фиксируется отклонение [2].

Выглядит этот процесс следующим образом. Задается некая область значений и внутри этой области ищутся точки, относящиеся к определенному элементу модели. Если точки найдены, считается, что они ложатся на этот элемент. Если такие точки не обнаружены или они не попадают в заданную область, считается, что элемент не был покрыт сканированием. Отклонения рассчитываются только для элементов модели, у которых процент покрытия выше порогового значения. Обычно порог устанавливается на отметке в 75%. Jet Construction Monitor учитывает отклонения следующих типов: сдвиг в сторону, масштабирование, поворот.

Пример интерактивной 3D-визуализация с показанными отклонениями в готовом сооружении изображен на рисунке 6 [2].

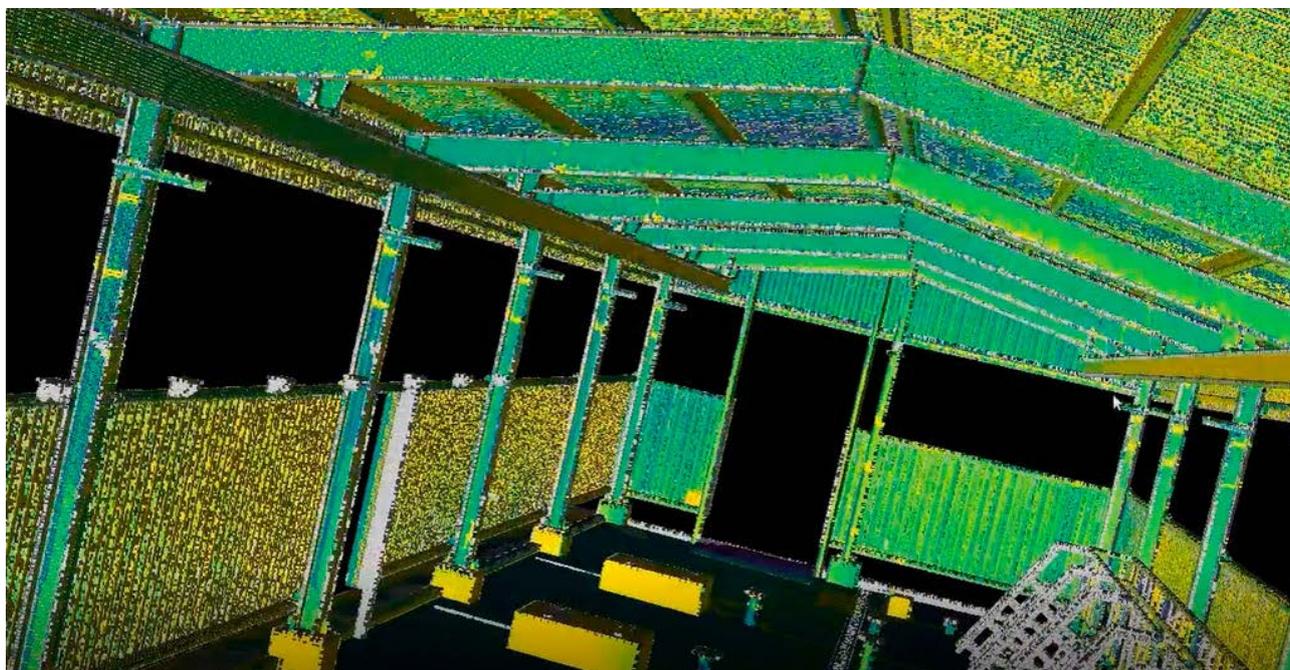


Рис. 6 - Интерактивная 3D-визуализация с показанными отклонениями

На рисунке можно увидеть, что различные составляющие конструкции обозначены различными цветами. Так, зеленый цвет обозначает те элементы, для которых отклонения не превышают допустимой нормы. Фиолетовым обозначены неровности, направленные в одну сторону, красным – в другую. Серый цвет показывает те области, которые не были покрыты облаком точек. Это означает, что данные элементы 3D-модели не были отсканированы, например, таковыми могут быть части фундамента.

Схожую методику применяют и в рамках предприятий машиностроения. Для этого на определенных этапах производства, выполняется панорамное сканирование каждого проходящего изделия, дающее его объемную модель в виде облака точек. Полученная модель сравнивается с эталонной 3D-моделью, и в процессе сравнения выявляются отклонения в реальном изделии. Если отклонения в пределах нормы, то изделие продолжает путь по конвейеру. В противном случае изделие изымается из процесса. Таким образом, предполагается отсеивание бракованных изделий еще на ранних этапах создания.

Программным средством для разработки и проектирования чертежей на основе облака точек может стать «nanoCAD Облако точек» – российское программное решение на базе САПР-платформы предназначенное для работы с данными 3D-сканирования. В первую очередь решение ориентировано на работу с данными трехмерного лазерного сканирования (LIDAR). Поставляется как модуль к nanoCAD Plus 20 [7].

Основными преимуществами программы являются мощное программное ядро, обработка облаков с числом точек вплоть до 2,5 млрд., инструментарий для работы с исходными данными, полная интеграция с оригинальной nanoCAD и возможность интеграции со сторонними вертикальными приложениями.

Источниками данных для данного программного решения служат LIDAR, результаты работы фотограмметрических программно-аппаратных средств, разработанных для получения трехмерных данных, а также дистанционные и контактные методы, в результате которых на выходе формируется трехмерное облако точек.

Область применения «nanoCAD Облако точек» включает в себя сферы строительства и эксплуатации зданий, создания планов и 2,5D-чертежей, области проектирования машин, имитационных моделей, моделирования транспортных задач, осуществления оперативных расчетов и измерений.

### Выводы

Облака точек приобретают актуальность во все более широком диапазоне областей применения. Это позволяет прогнозировать в ближайшие годы значительный рост доступности, точности, плотности и размера трехмерных облаков точек, что, в свою очередь, приведет к значительному росту потребности в высококвалифицированных специалистах, способных на разработку и внедрение программно-аппаратных решений в технологии обработки ОТ.

### Библиографический список

1. Common 3D point cloud file formats & solving interoperability issues [Электрон. ресурс] – Режим доступа : <https://info.vercator.com/blog/what-are-the-most-common-3d-point-cloud-file-formats-and-how-to-solve-interoperability-issues>
2. Облако точек. Как мы развиваем цифровые технологии в строительстве [Электрон. ресурс] – Режим доступа : <https://habr.com/ru/company/jetinfosystems/blog/464593/>
3. **Скворцов А.В.** Триангуляция Делоне и ее применение / Скворцов А.В. // Томский государственный университет, факультет информатики. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
4. Облако точек для сетки, алгоритм поворота шара [Электрон. ресурс] – Режим доступа : <https://cs184team.github.io/cs184-final/writeup.html>
5. NuGet Gallery | OpenTK 3.1.0 [Электрон. ресурс] – Режим доступа : <https://www.nuget.org/packages/OpenTK/>
6. PCL – Point Cloud Library [Электрон. ресурс] – Режим доступа : <http://pointclouds.org/>
7. nanoCAD Облака точек [Электрон. ресурс] – Режим доступа : <https://www.nanocad.ru/products/nanocad-3dscan/>

### References

1. Common 3D point cloud file formats & solving interoperability issues [Electron. resurs] – Rezhim dostupa : <https://info.vercator.com/blog/what-are-the-most-common-3d-point-cloud-file-formats-and-how-to-solve-interoperability-issues>

2. Oblako toчек. Kak my razvivaem cifrovye tekhnologii v stroitel'stve [Electron. resurs] – Access mode : <https://habr.com/ru/company/jetinfosystems/blog/464593/>
3. **Skvorcov A.V.** Triangulyaciya Delone i ee primenenie / Skvorcov A.V. // Tomskij gosudarstvennyj universitet, fakul'tet informatiki. – Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2002. – 128 s.
4. Oblako toчек dlya setki, algoritm povorota shara [Elektron. resurs] – Rezhim dostupa : <https://cs184team.github.io/cs184-final/writeup.html>
5. NuGet Gallery | OpenTK 3.1.0 [Electron. resurs] – Rezhim dostupa : <https://www.nuget.org/packages/OpenTK/>
6. PCL – Point Cloud Library [Elektron. resurs] – Rezhim dostupa : <http://pointclouds.org/>  
nanoCAD Oblaka toчек [Elektron. resurs] – Rezhim dostupa : <https://www.nanocad.ru/products/nanocad-3dscan/>

УДК 519.876.5

**И.А. СЕЛИЩЕВ<sup>1</sup>, С.А. ОЛЕЙНИКОВА<sup>2</sup>****ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЯ  
ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК С РЕСУРСНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2</sup>  
Россия, г.Воронеж*

Рассматриваются системы, обслуживание в которых предполагает выполнение множества последовательно-параллельных работ, каждая из которых задействует некоторый объем ресурсов. Предложено описание программного комплекса, решающего задачу формирования расписания для таких систем в условиях ресурсных ограничений.

**I.A. SELISCHEV<sup>1</sup>, S.A. OLEINIKOVA<sup>2</sup>****A SOFTWARE FOR CREATING A SCHEDULE FOR SERVICING APPLICATIONS  
WITH RESOURCE CONSTRAINTS***Voronezh state technical university<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

The systems in which maintenance involves the implementation of many series-parallel jobs, each of which involves a certain amount of resources are considered. A description of the software that solves the problem of creating a schedule for such systems under resource constraints is proposed.

**Ключевые слова:** взаимная зависимость работ, план-график, программный комплекс, ресурсные ограничения.  
**Keywords:** mutual dependence of jobs, schedule, software, resource constraints.

**Введение**

В современном мире сложно представить какой-либо проект без заранее подготовленного плана по его выполнению. В связи с этим, перед диспетчерскими службами ставится довольно сложная задача по составлению расписания. При планировании проект разбивается на множество взаимно зависимых процессов (работ), каждая из которых имеет свои временные характеристики и некоторое количество ресурсов, требуемых для ее выполнения. Невыполнение в положенный срок одной из работ может повлечь за собой сопутствующие изменения во всем графике проекта. При расхождении фактического расписания с плановым, необходимо своевременно провести коррекцию графика с целью предотвращения накопления ошибок. Данная проблема легко решается для небольших задач, однако, планирование больших проектов требует соответственно большего внимания. Данная работа ставит перед собой целью разработку программного комплекса для формирования расписания проекта и обслуживания заявок с ресурсными ограничениями, а также возможной коррекции графика при отклонении фактического времени завершения работ от запланированного.

**Постановка задачи и ее особенности**

В данной работе рассматривается задача планирования и управления проектами. Рассматриваемая задача формулируется следующим образом. Имеется некоторая обслуживающая система, характеризующаяся множеством последовательно – параллельных работ. Каждая работа характеризуется длительностью, необходимой для ее выполнения и

некоторым количеством ресурсов. Графически план-график проекта можно проиллюстрировать в виде графа (рис. 1).

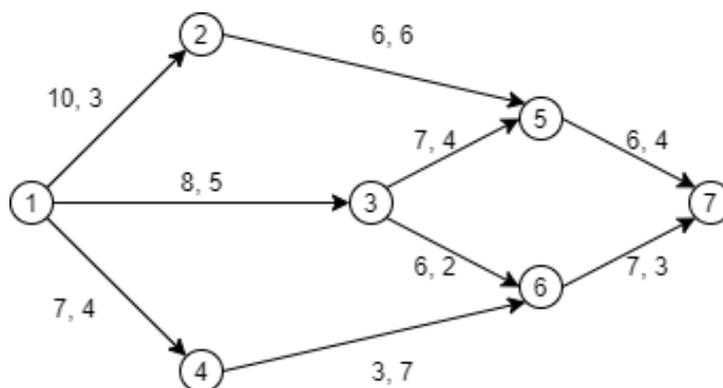


Рис. 1 – Граф, иллюстрирующий взаимную зависимость работ

Работы на данном графе обозначены ребрами, а события (начало и окончания работ) – вершинами. Каждое ребро имеет две характеристики – ориентировочную длительность и необходимый объем ресурсов.

Предполагается, что длительность работы является случайной величиной. Необходимо разработать программный комплекс для формирования расписания для поступившей заявки. В качестве критерия оптимальности для решения задачи был выбран критерий скорейшего завершения работ.

Ряд задач в данной области уже решен, и имеются некоторые частные результаты [1, 2]. Наиболее известными представителями методов планирования, основанными на сетевых моделях, являются метод критического пути (Critical Path Method – CPM) и система планирования и руководства программами разработок (Program Evaluation and Review Technique – PERT) [1]. В данных методах проекты рассматриваются как некоторая совокупность взаимосвязанных процессов, каждый из которых требует временных и других ресурсов. Методы CPM и PERT предполагают анализ проектов для составления временных графиков распределения проектов. Отличия между данными методами заключаются в том, что метод CPM предназначен для определения времени начала работ в случае, если все длительности детерминированы [2]. PERT оценивает стохастические характеристики проекта (как отдельные длительности выполнения работ, так и вероятностно-временные характеристики проекта в целом) [1]. Однако ни один из этих методов не учитывает ресурсные ограничения, которые важны для большинства практических задач [3, 4]. В связи с этим, предложим алгоритм, позволяющий определять время начала работ с учетом имеющегося объема ресурсов.

### Алгоритм решения задачи

Как было отмечено ранее, одной из ключевых особенностей задачи является случайное время выполнения работ. В связи с этим, при формировании графика обслуживания будут возникать следующие задачи:

- оценка длительности выполнения работ;
- формирования графика обслуживания;
- корректировка графика обслуживания.

В качестве решения первой из задач можно воспользоваться методом PERT. Как показали исследования, предложенные данным методом формулы для определения времени

начала работ достаточно точны. В частности, если известно наименьшее (a), наибольшее (b) и наиболее вероятное (m) время выполнения некоторой работы, то ее длительность будет оцениваться по формуле:

$$dlit = (a + 4m + b)/6. \quad (1)$$

В связи с этим, будем полагать, что первая из задач является решенной.

Рассмотрим алгоритм решения задачи формирования графика обслуживания в условиях ограниченного объема ресурсов. На вход поступает информация:

- о работах (взаимная зависимость, длительность, требуемый объем ресурсов);
- о ресурсах (имеющийся объем ресурсов).

На выходе необходимо определить время начала каждой из работ.

Для работы алгоритма предполагается, что длительности уже оценены, т.е. детерминированы. В качестве основы будет использован метод СМР. Схема алгоритма приведена на рис. 2.

Рассмотрим основные этапы алгоритма более подробно. Предположим, что предварительно для каждой работы  $i$  с помощью метода СМР определено возможное раннее начало  $t_{i \text{ ран}}$  без учета ограничений на ресурсы.

Работы сортируются по возрастанию величины  $t_{i \text{ ран}}$ . С помощью этих значений определяется как первый, так и все последующие интервалы. Если на данном временном интервале объем ресурсов, необходимый для выполнения всех предварительно запланированных работ, меньше имеющегося значения  $R$ , то предварительное время начала указывается как окончательное, и осуществляется переход к следующему временному интервалу. В противном случае ставится задача поиска работ, которые необходимо выполнить в данный момент времени, и работ, которые можно перенести на более поздние сроки.

Для этого у каждой работы рассчитывается величина резерва, равная разнице между возможным поздним и ранним началом. Работы приоритизируются в соответствии с величиной резерва. Далее осуществляется назначение времени начала для работ по возрастанию их приоритета. Как только очередная работа не может быть запланирована в данное время из-за нарушения ограничений на ресурсы, она и все последующие работы переносятся на более поздние сроки. Эти сроки определяются с помощью ближайшего из возможных событий (завершения какой-либо из выполняемых работ).

Неотъемлемой частью подсистемы диспетчерского управления в случае стохастических параметров работ является возможная коррекция графика. Она может иметь место из-за несоответствия планируемого и фактического окончания работ. В этом случае по окончании работы необходимо определить ее фактическое время завершения и сравнить с плановым. Если данные значения не совпадают, то необходимо осуществлять коррекцию. Коррекция требуется для того, чтобы, с одной стороны, наиболее эффективным образом использовать ресурсы системы, а с другой, - иметь четкое представление о моменте завершения всех работ, который с каждой завершенной работой будет более предсказуемой величиной.

В целом, коррекцию можно выполнить по алгоритму, представленному на рис.2, где вместо ориентировочных начальных сроков будут использоваться значения, рассчитанные при формировании графика.



Рис. 2 – Схема алгоритма формирования план-графика

### Описание структуры приложения и результатов его работы

При выборе средств для разработки программного комплекса оценивалось несколько критериев, которым они должны были соответствовать:

- возможность взаимодействия с базой данных;

- выполнение быстрой обработки данных;
- предоставление данных в удобном виде;
- актуальность используемой технологии.

В качестве архитектуры разрабатываемого программного комплекса был выбран подход «клиент-сервер», разделяющий приложение клиентскую и серверную части. Клиентская часть (front-end) предоставляет пользовательский интерфейс в виде веб-страницы, обеспечивает первичную обработку введенных данных и отправку их на серверную часть (back-end), где сосредоточена основная логика приложения, а также интеграция с базой данных.

В общем виде структуру можно представить следующим образом (рис. 3). За клиентскую часть отвечает язык JavaScript (JS) совместно с библиотекой ReactJS. В настоящее время JavaScript является независимым языком со своей собственной спецификацией, называющейся ECMAScript. Возможности данного языка позволяют выполнять программы, не только в браузере, но и на любом другом устройстве, имеющем подходящий «движок». Библиотека ReactJS дает возможность создавать интерактивные пользовательские интерфейсы, основанные на инкапсулированных компонентах. Главная особенность данной библиотеки заключается в эффективном обновлении и отрисовки только тех компонентов веб-страницы, состояние которых изменилось при изменении соответствующих им данных.

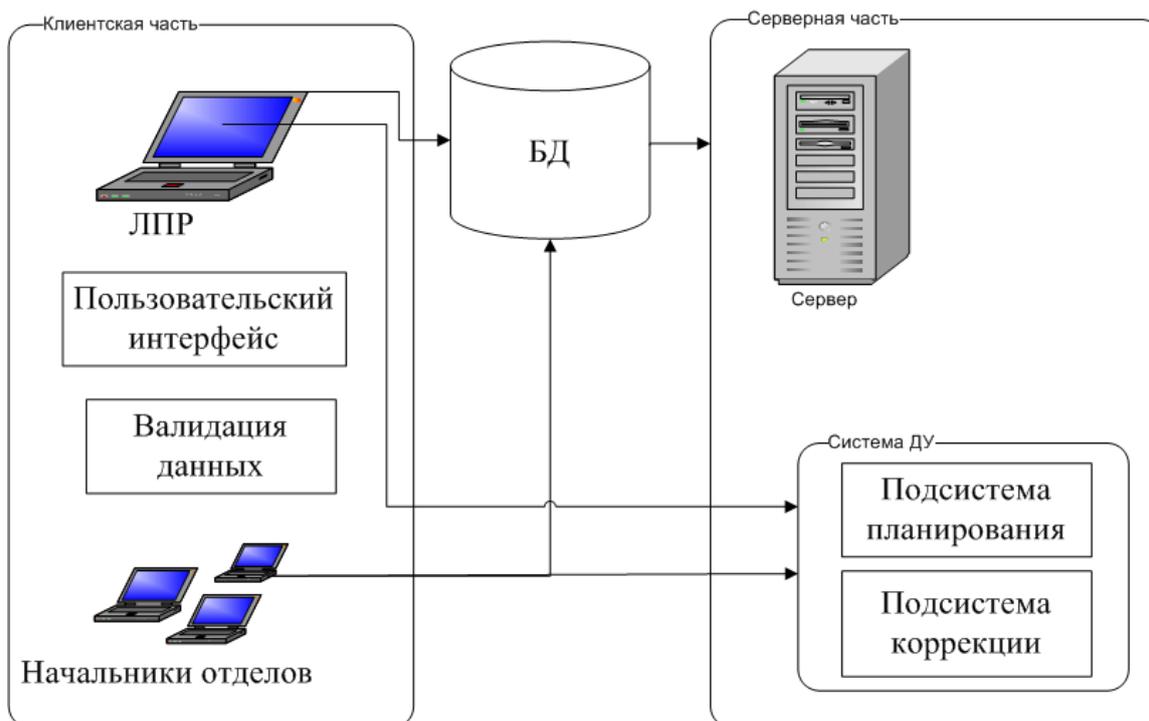


Рис. 3 – Структура приложения

В качестве сервера используется NodeJS, программная платформа, основанная на движке V8, транслирующем JavaScript в машинный код. NodeJS добавляет возможность JS полноценно взаимодействовать с устройствами ввода-вывода через свой API. Как отмечено на рис. 3, основными подсистемами, включенными в систему диспетчерского управления, будут являться система планирования и система коррекции графика.

Рассмотрим результаты работы приложения.

Интерфейс приложения представляет собой веб-форму верхней частью которой является меню, с основными вкладками приложения (рис. 4). На главной странице

представлен интерфейс создания нового или выбор уже имеющегося проекта, а также перечень работ проекта.

Рис. 4 – Форма создания нового проекта

Вкладка «Список работ» представляет собой основную рабочую область приложения, в которой задается перечень событий, характеризуемый начальной и конечной работой, а также выполняется расчет раннего времени начала работ, позднего времени и временного резерва (при нажатии на кнопку «Расчитать резерв»).

Следующая вкладка содержит список используемых ресурсов. В настоящее время предполагается, что все работы используют ресурсы одного типа. В связи с этим, пока на данной вкладке вводится лишь одно единственное значение – ограничение на количество ресурсов. В дальнейшем планируется доработка проекта, связанная с возможным использованием разных ресурсов работами. После ввода ресурсов возможно составление расписания (он формируется с помощью метода, вызываемого нажатием кнопки «Сформировать расписание»).

Начальное событие	Конечное событие	Длительность	Количество ресурсов	Раннее время начала	Позднее время	Резерв
1	2	10	3	0	0	0
1	3	8	5	0	1	1
1	4	7	4	0	5	5
2	5	6	6	10	10	0
3	5	7	4	8	9	1
3	6	6	2	8	9	1
4	6	3	7	7	12	5
5	7	6	4	16	16	0
6	7	7	3	14	15	1

Рис. 5 – Форма добавления работ проекта и расчета предварительных характеристик

Таким образом, разработано программное средство, предназначенное для формирования план-графика в условиях ограниченного объема ресурсов.

## Выводы

Данная работа посвящена реализации приложения, предназначенного для формирования и коррекции план-графика в условиях ограниченного объема ресурсов.

Анализ существующих подходов к решению данной задачи позволил взять их в качестве основы для разрабатываемого алгоритма для получения предварительных данных. Сам алгоритм решения задачи представлен на рис. 2. Разработанное приложение имеет архитектуру клиент-сервер. Его структура приведена на рис. 3, результаты работы – на рис. 4 и 5.

### Библиографический список

1. **Ахьюджа Х.** Сетевые методы управления в проектировании и производстве [Текст]/ Х. Ахьюджа. Пер. с англ. /Под. ред. В. Н. Калашникова. М.: Наука, 1979. – 640 с.
2. **Ланда Б.Д.,** Сетевое планирование [Текст]/ Б.Д. Ланда. М.: Знание, 1966. – 45с.
3. Project Scheduling. A Research Handbook [Текст]/ Eric L. Demeulemeester, Willy S. Herroelen. – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 685 p.
4. **Atkinson R.** Project Management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria [Текст]/ International Journal of Project Management. – 1999. V.17. Issue 6. – pp. 337-342.

### References

1. **Ahjudja H.** Setevye metody upravleniya v proektirovanii i proizvodstve [Tekst] / H. Ahjudja. Per. s. angl./pod red. Kalashnikova. M. Nauka, 1979. – 640 s.
2. **Ladna B.D.** Setevoe planirovanie [Tekst] / B.D. Landa. M. Znanie, 1966. – 45 s.
3. Project Scheduling. A Research Handbook [Tekst]/ Eric L. Demeulemeester, Willy S. Herroelen. – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 685 p.
4. **Atkinson R.** Project Management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria [Tekst]/ International Journal of Project Management. – 1999. V.17. Issue 6. – pp. 337-342.

УДК 621.31

**А.В. НИКОЛАЙЧИК<sup>1</sup>, К.А. ГРИГОРЬЕВА<sup>2</sup>****СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ЦИФРОВОЙ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2</sup>  
Россия, г. Воронеж*

В статье рассматривается современная цифровая электроэнергетическая система РФ, ее структура и особенности входящих в нее подсистем, с учетом применяемых российских цифровых технологий, а также необходимость создания единого информационного пространства для более эффективной связи всех ее подсистем.

**A.V. NIKOLAYCHIK<sup>1</sup>, K.A. GRIGOREVA<sup>2</sup>****STRUCTURE AND FEATURES OF THE MODERN DIGITAL  
ELECTRICPOWER SYSTEM***Voronezh state technical University<sup>1,2</sup>  
Russia, Voronezh*

The article considers the modern digital electricpower system of the Russian Federation, its structure and features of its subsystems, taking into account the applied Russian digital technologies, as well as the need to create a single information space for more effective communication of all its subsystems.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, цифровая подстанция, ЛЭП.

**Keywords:** power system, digital substation, power lines.

**Введение**

Жизнь современного человека неразрывно связана с тем, что его постоянно окружает: будь то люди, предметы или технологии, создающие комфортную среду его обитания. С постоянным развитием технологий растут и потребности человека в их использовании для получения большего удобства в повседневной жизни. Переход от аналоговых к цифровым технологиям (телевидение, интернет, средства связи, умные бытовые приборы) вносит свои коррективы в правила их использования. Кто-то легко подстраивается под все новое и уже не представляет своей жизни без этого. А кто-то все еще с опаской относится ко всему новому, считая, что лучше пользоваться привычными, надежными, но менее технологичными устройствами. Все мы разные, но есть один неоспоримый факт, что все мы так или иначе связаны с электричеством. Этот продукт технологии настолько давно и прочно вошел в нашу жизнь, что мы этого уже и не замечаем. Однако, если происходит отключение электричества, то это вносит в нашу жизнь большое количество неудобств: от невозможности воспользоваться бытовыми приборами до потери связи с окружающим нас технологичным миром (интернет, сотовая связь).

Для того, чтобы отключения электроэнергии были минимизированы, необходимо постоянное совершенствование и обновление как оборудования, так и технологий управления, контроля и защиты процессов выработки, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

## Федеральные задачи, поставленные перед энергетической отраслью в рамках перехода к цифровой энергетической системе

В соответствии с указом Президента Российской Федерации №204 от 07.05.2018г. пункт 11 цифровая трансформация энергетической инфраструктуры обозначена в качестве одного из приоритетных направлений развития. Минэнерго России при активном участии компаний топливно-экономического комплекса (ТЭК) сформирован ведомственный проект «Цифровая энергетика».

Ведомственный проект направлен на преобразование энергетической инфраструктуры Российской Федерации посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для повышения ее эффективности и безопасности. В рамках реализации проекта планируется систематизировать уже полученный опыт внедрения цифровых решений, совместно с компаниями ТЭК и экспертным сообществом сформировать целевое видение цифровизации, а также базовые требования и критерии к внедряемым решениям, что позволит состыковать их в доверенной цифровой среде [1].

Выполнение этой важной задачи возложено на Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС») – специализированную организацию, которая согласно российскому энергетическому законодательству единолично осуществляет централизованное оперативно-диспетчерское управление в Единой энергетической системе страны.

### Структура существующей электроэнергетической системы

В настоящий момент электроэнергетическая система (ЭЭС) состоит из трех подсистем (рис. 1):

- генерации, включающая электростанции разных типов, производящие электрическую и [тепловую энергию](#);
- передачи и распределения электроэнергии, включающая ЛЭП и подстанции электрической сети;
- потребления, состоящая из разнообразных потребителей электрической энергии.

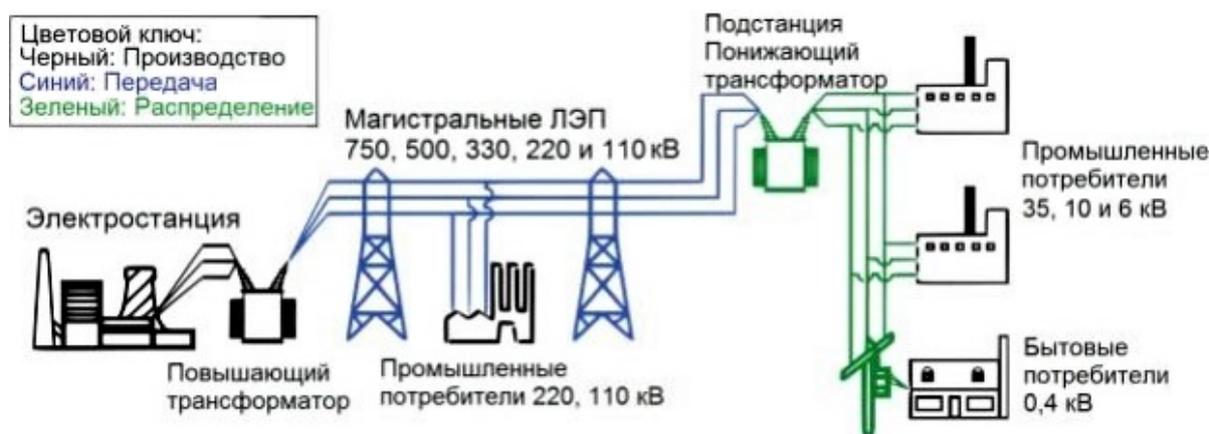


Рис. 1 - Структурная схема электроэнергетической системы [7]

Для первой подсистемы, представленной генерирующей компанией (ГК), характерны быстротечность и большое количество процессов, протекающих в ней. Поэтому человеку весьма трудно осилить весь объем данных, необходимый для анализа и управления системой. На помощь приходят современные цифровые технологии централизованной системы автоматического регулирования частоты и потоков активной мощности (АРЧМ),

которая отвечает за автоматическое поддержание одного из основных показателей качества электроэнергии – частоты тока в энергосистеме – на нормативном уровне 50 Герц.

Система позволяет регулировать перетоки мощности, поддерживать уровень частоты в соответствии с требованиями стандартов, обеспечивает требуемое качество электроэнергии у потребителя. Структурная схема систем АРЧМ представлена на рис. 2

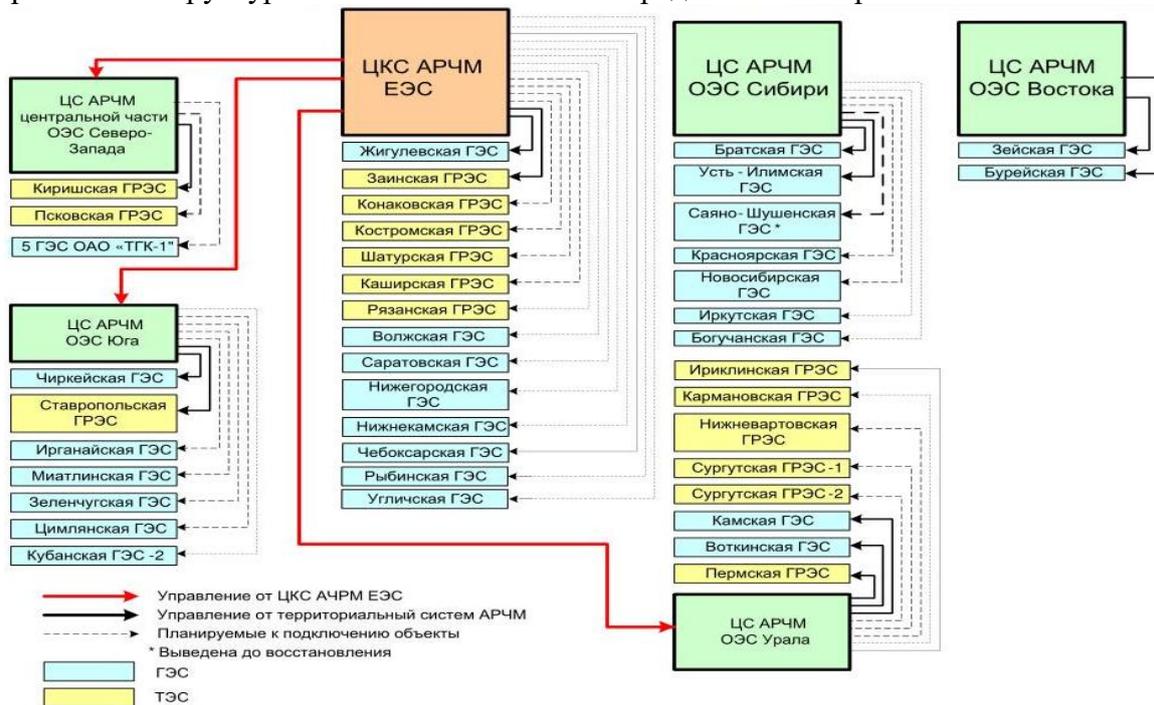


Рис. 2 - Структурная схема систем АРЧМ [8]

Централизованная система противоаварийной автоматики (ЦСПА) предотвращает каскадное развитие аварий с погашением энергосистемы [2]. Благодаря применению современной системы противоаварийной автоматики при возникновении нештатных ситуаций в электроэнергетике конечный потребитель электроэнергии чаще всего и не знает о возникающих в энергосистеме проблемах, а оборудование электростанций, ЛЭП и подстанций и сетей остаётся неповреждённым. Структура ЦСПА представлена на рис. 3.

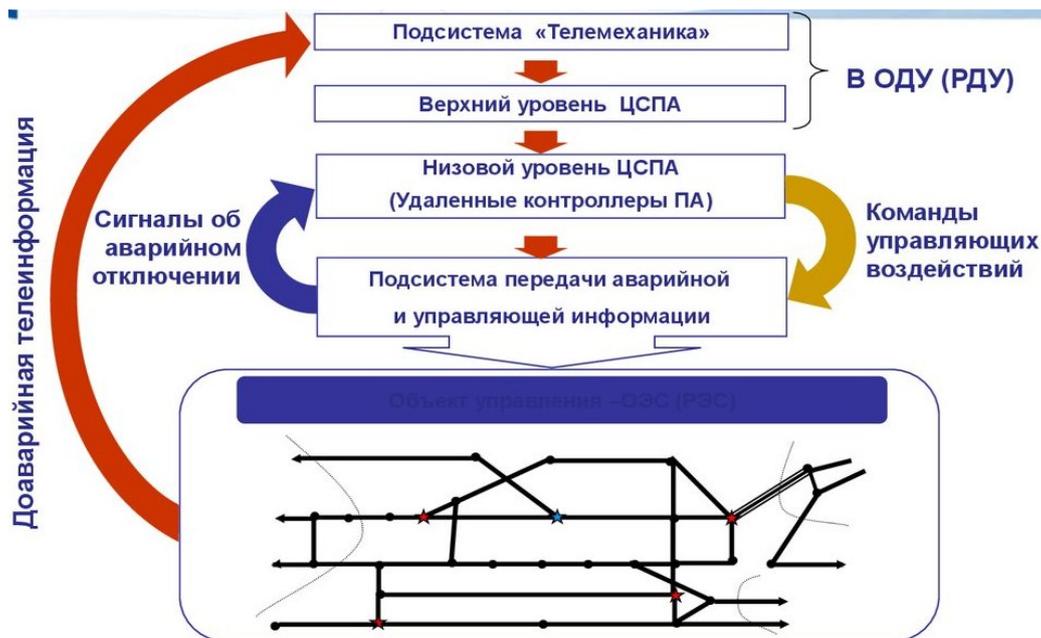


Рис. 3 - Структура ЦСПА [9]

Для второй подсистемы, представленной федеральной или межрегиональной сетевой компанией (ФСК или МРСК), характерны проблемы, возникающие в воздушных линиях электропередач, а также необходимость реконструкций существующих и проектирование новых подстанций с использованием цифровых технологий.

Использование цифровых систем диагностического мониторинга и оценки технического состояния ЛЭП позволяют контролировать следующие параметры: гололёд на проводах, температуру проводов, подвесную изоляцию, импульсы перенапряжений, локацию мест дефектов, провес и пляску проводов.

Многие российские компании активно учувствуют в разработке и производстве новых систем и комплексов мониторинга, контроля и управления ЛЭП, основанных на применении современных цифровых технологий.

Система мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи DiLin российской компании «Димрус» работает в двух режимах:

- Режим непрерывного мониторинга линии. В этом режиме контролируется разрядная активность в линии, выявляются импульсы наибольшей амплитуды, определяется место их возникновения.
- Режим контроля электромагнитных свойств отдельных участков линии. В этом режиме при помощи импульсов тестового генератора контролируется наличие гололеда, замыканий на землю, падение деревьев и т.д.

Беспроводные датчики контроля температуры проводов линии монтируются непосредственно на проводах. Информация о текущей температуре проводов передается от всех датчиков WTS в систему DiLin при помощи приемника марки WDM, подключенного к системе по проводному гальванически изолированному интерфейсу RS-485.

Основным режимом работы системы DiLin является первый, т.е. непрерывный мониторинг разрядной активности в линии.

По расписанию, несколько раз в сутки, система DiLin на несколько секунд переходит в режим сканирования электромагнитных параметров проводов линии при помощи тестового генератора. В это время регистрируются рефлектограммы [3].

Автоматизированная система мониторинга ВЛ (110 кВ, 220кВ) ASTROSE российской компании «Совтест АТЕ» позволяет контролировать следующие параметры ЛЭП: температуру провода, угол провиса провода, действующее значение тока, вибрационные характеристики провода.

Система открыта для интеграции различных датчиков, например для:

- определения замыкания на землю;
- температуры и влажности воздуха;
- солнечной радиации и др.

Измерение и передача данных происходит каждые 15 минут/10 секунд. Радиопередача данных функционирует на нелицензируемой частоте 2.4 ГГц. Данные измерений передаются по беспроводной сети от модуля к модулю до конечного пункта в виде приемной базовой станции [4]. Схема системы мониторинга представлена на рис. 4.

Система мониторинга и управления электрическими сетями КОМОРСАН российской компании АНТРАКС – это современный многоуровневый программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий наблюдаемость каждой трансформаторной и распределительной подстанции сети, а также узловых точек воздушной линии электропередачи [5].

Совмещая функции мониторинга, контроля и управления в одной системе, КОМОРСАН позволяет:

- контролировать режимы работы диагностических приборов;

- наблюдать топологию сети на топографической карте с расположением входящих в систему приборов;
- диагностировать работоспособность приборов;
- локализовать любые типы аварийных ситуаций на кабельных и воздушных сетях;
- информировать оперативный персонал РЭС об аварийной ситуации с помощью SMS и E-mail;
- видеть осциллограммы и векторные диаграммы происходящих на линии процессов;
- производить расчет напряжения у потребителя и запись профиля нагрузки на базе информации, полученной от монитора состояния сети А-Сигнал;
- осуществлять контроль перенапряжений и токов КЗ и их соответствие отключающей способности выключателей (реклоузеров) сети.

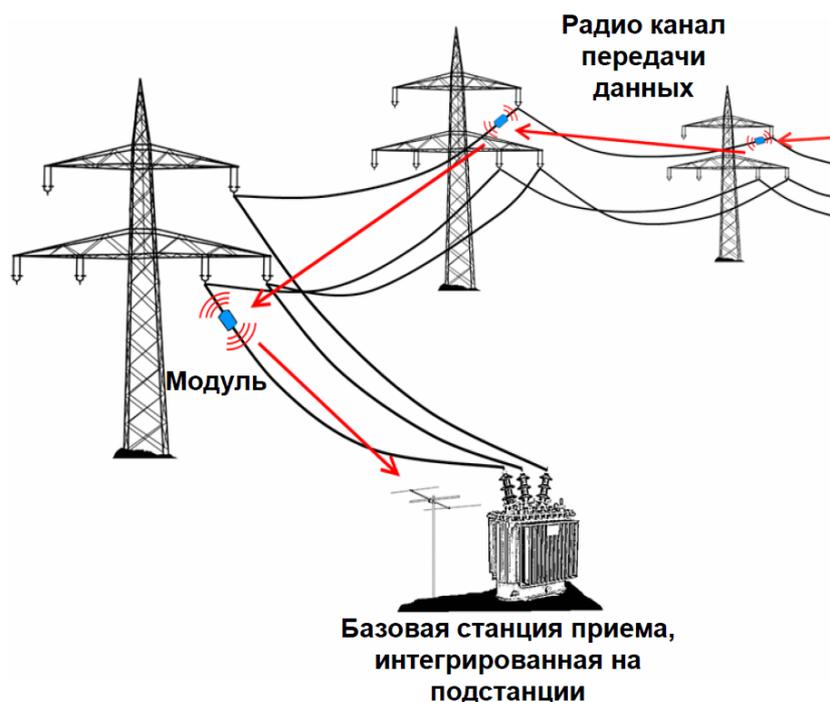


Рис. 4 - Схема системы мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи [10]

Внедрение современных стандартов МЭК 61850 обмена информацией и широкое применение цифровых устройств защиты и автоматики, а также существенное развитие аппаратных и программных средств систем управления - все это приводит к новым подходам решения задач автоматизации и управления энергообъектами, позволяя создать подстанцию современного типа — цифровую подстанцию (ЦПС). Отличительными характеристиками ЦПС являются: наличие встроенных в первичное оборудование интеллектуальных микропроцессорных устройств, использование оптических измерительных трансформаторов применение локальных вычислительных сетей для коммуникаций, цифровой способ доступа к информации, её передаче и обработке, автоматизации процессов работы и управления подстанцией. Структура цифровой подстанции представлена на рис. 5.

Основой в ЦПС является единая цифровая телекоммуникационная инфраструктура, основанная на принципе современных технологий и формирующая единую технологическую шину. Это открывает возможность быстрого и прямого обмена информацией между всеми устройствами.

Главная идея ЦПС заключается в том, чтобы контролировать все процессы как можно ближе к источникам информации, передавать полученные данные во все подсистемы по оптико-волоконным линиям связи и виртуализировать большинство функций, выполняемых

на подстанции. Таким образом, все измерительные приборы становятся источниками информации, а все встроенные интеллектуальные электронные устройства - потребителями информации.



**Рис. 5** – Структура цифровой подстанции [11]

В свою очередь, устройства автоматизации превращаются просто в компьютеры со специализированным ПО, а система защиты и управления ЦПС - в набор логических программных модулей с различным функционалом и новым уровнем защищённости. В результате виртуализированная ЦПС размещается на сервере и собирается из программных модулей РЗА, ПА, РАС, АСКУЭ и пр. Процесс проектирования также переходит в область компьютерных программ. Общим итогом всей этой деятельности является замена разно функциональных аналоговых систем единым сервером со специализированным ПО, включающем в себя профильные программные модули. С целью повышения надёжности сервер изготавливается в защищённом исполнении и дублируется для "горячего резерва". Таким образом, считается, что ЦПС позволяет повысить уровень безопасности электроэнергетических объектов, получить существенное снижение металлоёмкости, уменьшить число элементов в системах управления и мониторинга с одновременным повышением эффективности их работы, повысить уровень надёжности и наблюдаемости, а также минимизировать затраты на инжиниринг и наладку [6].

Для третьей подсистемы характерны сбор, контроль и своевременная передача данных о потреблении электроэнергии в энергосбытовую компанию, с целью анализа

полученной информации и составления актуальной ситуации режимов потребления и выявления пиков загрузки распределительной сети.

Переход от организации традиционного учета электрической энергии (со снятия показаний приборов учета и передачи их в ручную) к установке и внедрению автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) или автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) позволит любому потребителю:

- измерять объемы потребленной электроэнергии без «ручного» съема показаний, система делает это автоматически;
- контролировать почасовой, посуточный, понедельный расход электрической энергии;
- осуществлять автоматический сбор, обработку и хранение данных об объемах потребленной электроэнергии;
- рассчитывать балансы электроэнергии и контролировать «утечки» электроэнергии;
- анализировать потребление электроэнергии;
- получать мгновенную информацию обо всех неисправностях учета.

В большинстве случаев АСКУЭ состоит из трех уровней (рис. 6):

1. Первый уровень – счетчики электроэнергии.
2. Второй уровень включает в себя устройства сбора и передачи данных (УСПД) данные передаются с помощью GSM – модема или с использованием оптико-волоконных сетей и т.д.
3. Третий уровень состоит из сервера и программного обеспечения для обработки данных, получаемых с приборов учета электроэнергии.

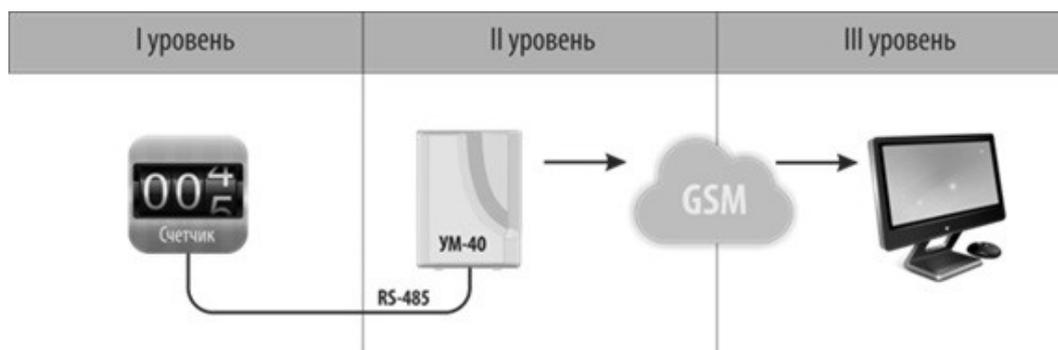


Рис. 6 - Состав АСКУЭ [12]

Порядок расчета тарифа на электроэнергию для юридических лиц отличается от тарифов на электроэнергию для населения. Однако, как для одних, так и для других установка АСКУЭ будет способствовать снижению цен.

Предприятия и бизнес могут выбирать для расчетов разные ценовые категории на электроэнергию. Выбор оптимальной ценовой категории может позволить снизить стоимость электроэнергии до 30%.

Для крупных потребителей, планирующих выход на оптовый рынок электроэнергии и перейти на прямые расчеты с поставщиками электроэнергии, а также сэкономить на услугах «посредников», строительство АИИС КУЭ является обязательным условием.

### Выводы

Для создания и полноценной работы цифровой ЭЭС необходимо организовать неразрывную связь всех ее подсистем с образованием единого информационного пространства, организовать доступ к единому информационному пространству по соответствующим протоколам всем заинтересованным лицам (Минэнерго, СО, надзорные

органы, совет рынка, муниципалитеты, потребители и т.д.). Взаимодействуя с этим пространством, получатели информации будут самостоятельно формировать необходимую отчетность в любом необходимом разрезе, что позволит улучшить быстродействие всей энергосистемы в целом, уменьшить ненужное количество операций и обращений, минимизировать ошибки в результате быстрого получения актуальных данных, избавиться от непроизводительного труда по заполнению отчетности. И в дальнейшем этот комплекс мер приведет к созданию интеллектуальной энергосистемы (рис. 7).



Рис. 7 – Концептуальная модель интеллектуальной энергосистемы [13]

В будущем такая система позволяет преобразовать всю цепочку производства и использования электрической энергии от генерирующих компаний до конечного потребителя, а также более рационально распределять мощности с учетом малейших изменений параметров, условий спроса и предложения, увязать стоимость и время потребления энергии.

### Библиографический список

1. Ведомственный проект «цифровая энергетика» [Электронный ресурс] //minenergo. – Режим доступа: [https:// gov.ru/node/14559](https://gov.ru/node/14559).
2. Цифровые технологии в управлении энергосистемой [Электронный ресурс] // gordburyatia. – Режим доступа: <https://ru/tehnologii/458-cifrovye-tehnologii-v-upravlenii-energositemy.html>
3. DiLin – система мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи [Электронный ресурс] // dimrus. – Режим доступа: [https:// ru/dilin.html](https://ru/dilin.html)
4. Автоматизированная система обнаружения гололеда на ВЛ ASTROSE (110кВ, 220кВ) [Электронный ресурс] //sovtest-ate. - Режим доступа: [https:// com/pdf/ASTROSE.pdf](https://com/pdf/ASTROSE.pdf)
5. Система мониторинга и управления электрическими сетями КОМОСАН [Электронный ресурс] //antraks. - Режим доступа: [http:// ru/produksiya/sistemy-i-kompleksy/komorsan.html](http://ru/produksiya/sistemy-i-kompleksy/komorsan.html).

6. Цифровая электроэнергетика [Электронный ресурс] //habr. - Режим доступа: <https://.com/ru/company/technoserv/blog/342268/>
7. Информационный студенческий ресурс [Электронный ресурс] //studopedia. – Режим доступа: [https://net/4\\_25483\\_struktura-tipovoy-energeticheskoy-sistemi.html](https://net/4_25483_struktura-tipovoy-energeticheskoy-sistemi.html)
8. Сервис для создания презентаций «Слайд сервис» [Электронный ресурс] // slideserve - Режим доступа: <https://.com/joshwa/5026168>
9. Сервис для показа презентаций «PPT онлайн» [Электронный ресурс] //ppt-online. - Режим доступа: <https://org/160751>
10. Инжиниринговое предприятие «Совтест АТЕ» [Электронный ресурс] //sovtest-ate. – Режим доступа: <https://com/pdf/ASTROSE.pdf>
11. Компания «Сеть-Автоматика» [Электронный ресурс] //setavt. - Режим доступа: <https://ru/tsifrovye-podstantsii/>
12. Сервис «Энергоконсультант» [Электронный ресурс] //energokonsultant. - Режим доступа: [https://.ru/sovets/elektrosnabgenie/yuridicheskim\\_licam/sistema\\_ASKUE\\_AIISKUE/ustanovka\\_i\\_vnedrenie\\_ASKUE\\_AIISKUE/](https://.ru/sovets/elektrosnabgenie/yuridicheskim_licam/sistema_ASKUE_AIISKUE/ustanovka_i_vnedrenie_ASKUE_AIISKUE/)
13. Copyright ©Accenture All rights reserved

### References

1. Vedomstvennyj proekt «cifrovaya energetika» [Elektronnyj resurs] //minenergo. – Rezhim dostupa: <https://gov.ru/node/14559>.
2. Cifrovye tekhnologii v upravlenii energosistemoy [Elektronnyj resurs] // gordburyatia. – Rezhim dostupa: <https://ru/tehnologii/458-cifrovye-tehnologii-v-upravlenii-energositemy.html>
3. DiLin – sistema monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya vozdushnyh linij elektroperedachi [Elektronnyj resurs] // dimrus. – Rezhim dostupa: <https://ru/dilin.html>
4. Avtomatizirovannaya sistema obnaruzheniya gololeda na VL ASTROSE (110kV, 220kV) [Elektronnyj resurs] //sovtest-ate. - Rezhim dostupa: <https://com/pdf/ASTROSE.pdf>
5. Sistema monitoringa i upravleniya elektricheskimi setyami KOMORSAN [Elektronnyj resurs] //antraks. - Rezhim dostupa: <http://ru/produktsiya/sistemy-i-kompleksy/komorsan.html>.
6. Cifrovaya elektroenergetika [Elektronnyj resurs] //habr. - Rezhim dostupa: <https://.com/ru/company/technoserv/blog/342268/>
7. Informacionnyj studencheskij resurs [Elektronnyj resurs] //studopedia. – Rezhim dostupa: [https://net/4\\_25483\\_struktura-tipovoy-energeticheskoy-sistemi.html](https://net/4_25483_struktura-tipovoy-energeticheskoy-sistemi.html)
8. Servis dlya sozdaniya prezentacij «Slajd servis» [Elektronnyj resurs] // slideserve - Rezhim dostupa: <https://.com/joshwa/5026168>
9. Servis dlya pokaza prezentacij «RRT onlajn» [Elektronnyj resurs] //ppt-online. - Rezhim dostupa: <https://org/160751>
10. Inzhiniringovoe predpriyatie «Sovtest ATE» [Elektronnyj resurs] //sovtest-ate. – Rezhim dostupa: <https://com/pdf/ASTROSE.pdf>
11. Kompaniya «Set'-Avtomatika» [Elektronnyj resurs] //setavt. - Rezhim dostupa: <https://ru/tsifrovye-podstantsii/>
12. Servis «Energokonsul'tant» [Elektronnyj resurs] //energokonsultant. - Rezhim dostupa: [https://.ru/sovets/elektrosnabgenie/yuridicheskim\\_licam/sistema\\_ASKUE\\_AIISKUE/ustanovka\\_i\\_vnedrenie\\_ASKUE\\_AIISKUE/](https://.ru/sovets/elektrosnabgenie/yuridicheskim_licam/sistema_ASKUE_AIISKUE/ustanovka_i_vnedrenie_ASKUE_AIISKUE/)
13. Copyright ©Accenture All rights reserved

УДК 338.24, 004.9

**Ю.А. ВОРОБЬЕВА<sup>1</sup>, Е.Э. БУРАК<sup>2</sup>, А.Н. ИШКОВ<sup>3</sup>, А.А. СКОРКИН<sup>4</sup>****ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА***Воронежский государственный технический университет<sup>1,2,3,4</sup>  
Россия, г. Воронеж*

В статье проводится анализ различных аспектов внедрения технологических инноваций при предоставлении социальных и жилищно-коммунальных услуг населению. Рассмотрены и систематизированы десятки интеллектуальных приложений, позволяющих улучшить качество услуг за счет принятия предварительных и ранних мер обнаружения и устранения нарушений для предотвращения удорожания услуг в будущем. Приведены технологические инструменты, позволяющие сотрудникам отслеживать истории клиентов, направлять их в дополнительные программные области и сотрудничать со смежными подразделениями и службами. Подобраны критерии принятия решений и проведена оценка влияния использования цифровых технологий на ключевые показатели качества жизни населения в различных городах мира.

**Y.A. VOROB'YVA<sup>1</sup>, E.E. BURAK<sup>2</sup>, A.N. ISHKOV<sup>3</sup>, A.A. SKORKIN<sup>4</sup>****USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES***Voronezh state technical university<sup>1,2,3,4</sup>  
Russia, Voronezh*

The article analyzes various aspects of the introduction of technological innovation in the provision of social and housing services to the population. Dozens of intelligent applications that improve the quality of services through the adoption of preliminary and early measures to detect and eliminate violations to prevent the cost of services in the future are reviewed and systematized. Technological tools are provided that allow employees to track customer stories, send them to additional program areas and collaborate with related departments and services. The decision-making criteria were selected and the impact of the use of digital technologies on key indicators of the quality of life of the population in various cities of the world was evaluated.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, интеллектуальные приложения, жилищно-коммунальное хозяйство, качество жизни населения

**Keywords:** digital technologies, smart applications, housing and communal services, the quality of life of the population

**Введение**

Рост городов приводит к новым требованиям по качеству жизни и развитию инфраструктуры, снижению стоимости услуг, росту экологической нагрузки на окружающую среду, цифровизации жилищно-коммунального хозяйства. Современные технологии позволяют в городах создавать условия, отвечающие современным потребностям общества и реагировать на вызовы урбанизации [1,2].

До недавнего времени считалось, что цифровые технологии – это, прежде всего, инструменты, используемые непосредственно для управления сложными операциями и автоматизацией инфраструктурных систем без участия населения в высокотехнологичных

командных центрах. Теперь технологии внедряются непосредственно в жизнь людей [3-5]. Важную роль в управлении городской структурой стали играть смартфоны, предоставляя мгновенную информацию о транспорте, трафике, медицинском обслуживании, безопасности миллионам потребителей. Кроме того, передача информации в режиме реального времени отдельным лицам и компаниям дает возможность муниципальным властям принимать оперативные решения и играть активную роль в формировании общей эффективности города.

Проблемы жителей должны быть в центре любой технологической стратегии. Это не просто встраивание цифровых интерфейсов в традиционную инфраструктуру или рационализация городских операций, а использование технологий и данных целенаправленно для принятия обоснованных решений и обеспечения лучшего качества жизни. Миллионы отдельных цифровых решений и совместных действий делают инфраструктуру жилищно-коммунального хозяйства и в целом город более продуктивным и открытым [6,7].

В исследовании [3] выделены три составляющие цифровизации городов (рис. 1). Первый уровень - это технологическая база, которая включает в себя критическую массу смартфонов и других датчиков, высокоскоростные сети связи, а также открытые порталы данных. Датчики постоянно фиксируют показания переменных, таких как транспортный поток, потребление энергии, качество воздуха и многие другие аспекты повседневной жизни и передают информацию конечным потребителям.

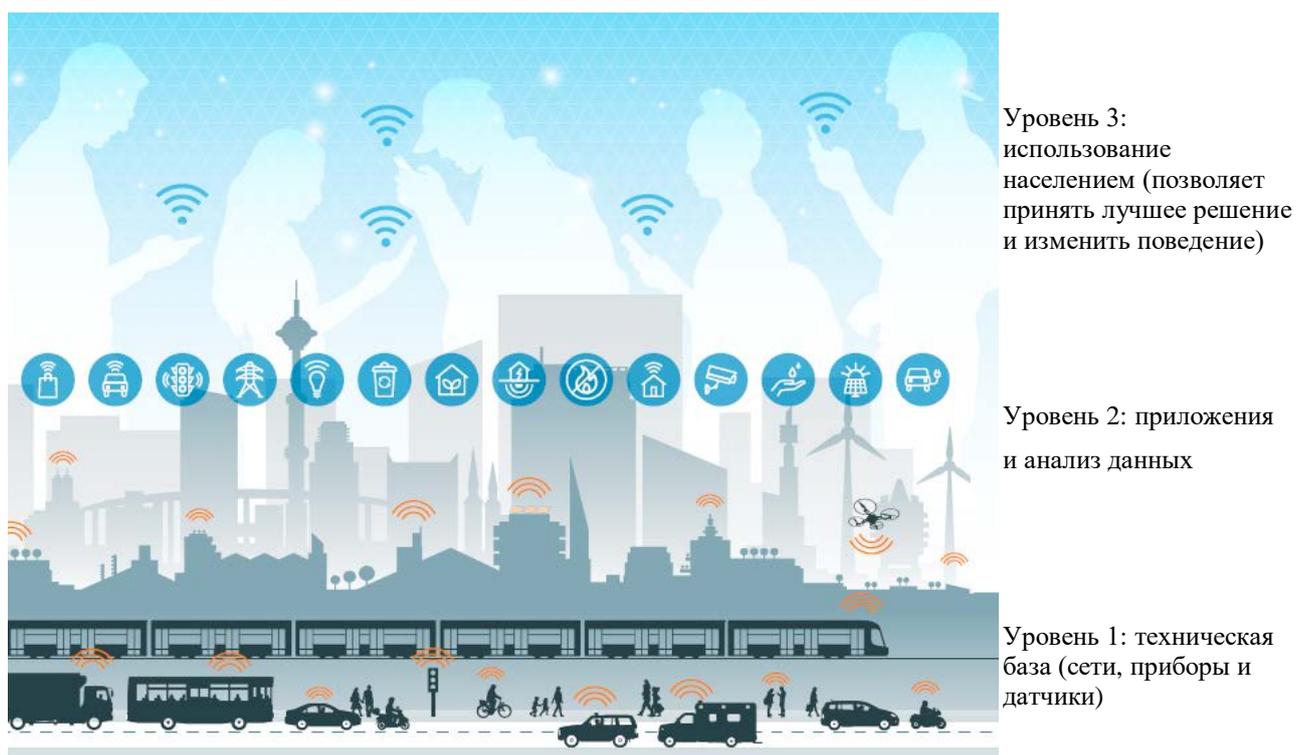


Рис. 1 - Три уровня цифровизации городов (McKinsey Global Institute)

Второй уровень состоит из конкретных приложений. Преобразование необработанных данных в соответствующую информацию, позволяющую принимать решения и действовать, требует правильных инструментов, и здесь поставщиками технологий и приложений являются разработчики. Возможно, лучший способ понять, что такое умный город, - это посмотреть на полный набор доступных на данный момент приложений (рис. 2). Инструменты доступны в нескольких доменах: безопасность, мобильность, здоровье,

энергия, вода, отходы, экономическое развитие и жилье, а также взаимодействие и сообщество.

Третий уровень - публичное использование. Многие решения успешны, только если они приняты широкой общественностью и влияют на изменение ее поведения. Некоторые из них позволяют переместиться пользователям в необходимое место, предоставляют им более прозрачную информацию для лучшего выбора.

Характерными особенностями цифровизации системы жилищно-коммунального хозяйства являются: массовое внедрение информационно-коммуникационных технологий во все сферы жизнедеятельности; мобильность; социальные коммуникации; облачные технологии; большие данные и предсказательная аналитика; машинное обучение и искусственный интеллект; технологии обеспечения кибербезопасности; «интернет вещей». Основная цифровая инфраструктура должна включать сеть датчиков и устройств сбора данных, комплексные широкополосные и беспроводные сети и платформы, на которые можно передавать, хранить и обменивать информацию. Поскольку многие приложения требуют, чтобы люди передавали и получали данные на ходу, смартфоны являются важной составляющей цифровизации жилищно-коммунального хозяйства.

Адаптация и наращивание использования интернета вещей (IoT) в системе жилищно-коммунального хозяйства в последнее время начала ускоряться, так как стоимость датчиков IoT, вычислительной мощности и облачного хранилища постоянно снижаются. Как пример использования датчиков и исполнительных механизмов - выключение системы отопления и кондиционирования воздуха при отсутствии жителей в помещении. RFID метки отслеживают движение и работу коммунальной техники, системы GPS направляют водителей к месту назначения, город с сильными сетями связи может быстро и безопасно передавать данные собранные смартфонами и другими датчиками.

Платформы открытых данных являются важным компонентом технологической базы. Цифровые технологии работают с данными, а города с их огромным масштабом и сложностью генерируют бесконечные потоки информации. Они создают огромные объемы данных о транспортном потоке, системе общественного транспорта, спросе на энергию, удалении отходов, шуме, погодных условиях и множество других аспектов повседневной жизни. Платформы с открытыми данными позволяют безопасно хранить и предоставлять адекватный доступ к различным источникам информации и могут обеспечить рост инноваций [8].

В данном исследовании были рассмотрены десятки интеллектуальных приложений, которые могут быть актуальными для жилищно-коммунального хозяйства Российских городов. Среди них: умное наблюдение, реагирования на чрезвычайные ситуации, изношенные камеры, раннее предупреждение о бедствиях, персональные оповещения, системы домашней безопасности, информация о качестве воздуха в реальном времени, системы автоматизации зданий, домашняя энергетика, умные уличные фонари, автоматизация распределения, отслеживание потребления ресурсов, обнаружение утечки и контроль, умное орошение, мониторинг качества воды, цифровое отслеживание и оплата, оптимизация отходов, маршруты сбора, несанкционированные свалки, общественный транспорт в режиме реального времени, цифровая оплата общественного транспорта, автономные транспортные средства, оценка заторов, такси, микротранзит по требованию, умная парковка, обмен автомобилями, прокат велосипедов, дорожная навигация в реальном времени, экономическое развитие и жилье, цифровое землепользование и строительство, открытая кадастровая база данных, участие граждан в социальных проектах и различные сообщества, цифровые гражданские услуги и др.

Для оценки влияния городских приложений на качество жилищно-коммунальных услуг и безопасность жизни населения: безопасность, время реагирования на аварийные

ситуации, удобство, качество окружающей среды, социальные связи, гражданское участие и стоимость услуг были рассмотрены несколько критериев.

Во-первых, инструменты для различных уровней принятия решений должны быть цифровыми или технологии на основе данных. Во-вторых, они должны быть коммерчески доступны и уже развернуты в реальных условиях. В-третьих, они должны помочь решить общественную проблему. И наконец, должны играть определенную роль для города и или системы жилищно-коммунального хозяйства даже косвенными способами. Во многих аспектах было определено, что цифровые технологии могут улучшить ключевые показатели на 10–30 % с момента их введения.

Широкий диапазон результатов объясняется тем, что приложения работают по-разному от города к городу, в зависимости от таких факторов, как устаревшая инфраструктура и исходные точки отсчета. Почти половина приложений затрагивает более одного аспекта качества жизни. Например, интеллектуальная система загруженности автодорог не только улучшает мобильность автотранспорта, но также снижает выбросы от него и делает дороги более безопасными [9]. Сбор и анализ данных об использовании общественного транспорта и его загрузки также может помочь городам принять более обоснованные решения об изменении автобусных маршрутов, установке светофоров и дополнительных полос или велосипедных дорожек. Оптимизированные диспетчерские и синхронизированные светофоры могут сократить время аварийного реагирования на 20–35 %. Цифровые технологии могут сократить время поездок на 15–20 % в среднем, что актуально для крупных городов, таких как Москва, Джакарта, Рио, Сеул и др. Улучшение ежедневных поездок на работу имеет решающее значение для качества жизни.

Потенциал, связанный с каждым приложением, сильно варьируется, в зависимости от плотности каждого города, существующей транзитной инфраструктуры и схемы движения. В таком городе, как Нью-Йорк, технологии экономят среднестатистическому пассажирам почти 15 мин. в день, Москве реализованы различные интеллектуальные инструменты управления транспортным потоком в сочетании с крупными инвестициями в общественный транспорт и новые правила парковки. Приложения для парковки показывают ближайшие свободные места, исключая время, потраченное на их поиск в городских кварталах. В США, Бостоне, Сиэтле и других городах разработано 311 приложений для некоммерческих организаций, таких как сообщения об авариях, выбоинах и граффити [10,11].

Развертывание ряда приложений также может сократить степень выбросов на 10–15 %, снизить потребление воды на 20–30 %, и сократить объем твердых отходов на душу населения на 10–20 % [11]. Еще одно приложение со значительным потенциалом для системы ЖКХ - это динамическое ценообразование на электроэнергию, которое позволяет коммунальным предприятиям регулировать плату при пиковых нагрузках, сокращая потребление и переключая нагрузку на непиковые периоды. Это сокращает использование энергетического сектора, снижая при этом выбросы.

Ассортимент новых приложений постоянно расширяется, а их возможности становятся все более сложными. Тем не менее, когда вводится любая новая технология, ее адаптация со всеми организационными изменениями, которые оно влечет за собой, требует времени.

### **Выводы**

Использование цифровых приложений для системы жилищно-коммунального хозяйства, позволяет городским властям получить значительный эффект повышения качества жизни населения, умеренный прогресс в достижении целей в области устойчивого развития.

Города находятся на разных этапах цифровизации своих услуг, в том числе и социальных. Приложения работают по-разному от города к городу, в зависимости от таких

факторов, как устаревшая инфраструктура и административные решения руководителей. Большая часть приложений затрагивает более одного аспекта качества жизни.

Обмен необходимой информацией в реальном времени через приложения для смартфонов дает возможность людям принимать меры, по экономии ресурсов, предотвращению потенциальных поломок в инженерных системах, снижению негативных последствий аварий ЖКХ, времени на проезд по городу и т.д.

### Библиографический список

1. **Воробьева Ю.А.** Развитие цифровой инфраструктуры как механизм повышения качества управления в регионе [Текст]/ Воробьева Ю.А., Попова И.В., Муравьев А.В.// ФЭС: Финансы. Экономика.. 2019. Т. 16. № 6. С. 35-38.
2. **Акаткин Ю.М.** Цифровая трансформация государственного управления [Текст]/ Акаткин Ю.М., Ясиновская Е.Д.// Датацентричность и семантическая интероперабельность, Москва, 2018
3. McKinsey Global Institute. Smart cities: digital solutions for a more livable future, - 2018 <https://www.mckinsey.com/mgi/publications/multimedia/>
4. **Proskurin D.** Digitalization of energy facility management processes in the Voronezh region/Proskurin D., Vorobeva Yu., Kalinina O.// В сборнике: E3S Web of Conferences 2019. С. 02123.
5. **Taewoo N.** Smart City as Urban Innovation: Focusing on Management, Policy, and Context/ Taewoo Nam, Theresa A. // Pardo Center for Technology in Government University at Albany, State University of New York, U.S.
6. **Восколович Н.А.** Особенности развития электронных услуг в цифровом обществе [Текст]/ Восколович Н.А., Василькевич Т.Ю.// Государственное управление. Электронный вестник Выпуск № 68. 2018 г.
7. **Воробьева Ю.А.** Применение информационных систем при эксплуатации жилищного фонда [Текст]/ Воробьева Ю.А., Лопатина Е.С.// Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6. № 6 (42). С. 66-68
8. **Вереvченко А.В.** Информационные ресурсы для принятия решений [Текст]/ Вереvченко А.В., Горчаков В.В., Иванов И.В., Голодовой О.В., Москва, 2002
9. **Мизилина Е.Г.** Анализ воздействия автотранспорта на реконструируемую жилую застройку на примере г. Воронеж [Тест]/ Мизилина Е.Г., Воробьева Ю.А. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. 2016. № 9. С. 77-81.
10. **Смотрицкая И.И.** Современные тенденции цифровой трансформации государственного управления [Тест]/ Смотрицкая И.И., Черных С.И.// Вестник Института экономики Российской академии наук. 2018. № 5. С. 22-36
11. **Barrett M.** et al. Service innovation in the digital age: key contributions and future directions // MIS quarterly. 39(1). 2015. Pp. 135–154

### References

1. **Vorob'eva YU.A.** Razvitie cifrovoj infrastruktury kak mekhanizm povysheniya kachestva upravleniya v regione [Tekst]/ Vorob'eva YU.A., Popova I.V., Murav'ev A.V.// FES: Finansy. Ekonomika.. 2019. T. 16. № 6. S. 35-38.

2. **Akatkin YU.M.** Cifrovaya transformaciya gosudarstvennogo upravleniya [Tekst]/ Akatkin YU.M., YAsinovskaya E.D.// Datacentrichnost' i semanticheskaya interoperabel'nost', Moskva, 2018
3. McKinsey Global Institute. Smart cities: digital solutions for a more livable future, - 2018 <https://www.mckinsey.com/mgi/publications/multimedia/>
4. **Proskurin D.** Digitalization of energy facility management processes in the Voronezh region/Proskurin D., Vorobeva Yu., Kalinina O.// V sbornike: E3S Web of Conferences 2019. S. 02123.
5. Taewoo N. Smart City as Urban Innovation: Focusing on Management, Policy, and Context/ Taewoo Nam, Theresa A. // Pardo Center for Technology in Government University at Albany, State University of New York, U.S.
6. **Voskolovich N.A.** Osobennosti razvitiya elektronnyh uslug v cifrovom obshchestve [Tekst]/ Voskolovich N.A., Vasil'kevich T.YU.// Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik Vypusk № 68. 2018 g.
7. **Vorob'eva YU.A.** Primenenie informacionnyh sistem pri ekspluatatsii zhilishchnogo fonda [Tekst]/ Vorob'eva YU.A., Lopatina E.S.// Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. 2018. T. 6. № 6 (42). S. 66-68
8. **Verevchenko A.V.** Informacionnye resursy dlya prinyatiya reshenij [Tekst]/ Verevchenko A.V., Gorchakov V.V., Ivanov I.V., Golodovoj O.V., Moskva, 2002
9. **Mizilina E.G.** Analiz vozdeystviya avtotransporta na rekonstruiruemuyu zhiluyu zastrojku na primere g. Voronezh [Test]/ Mizilina E.G., Vorob'eva YU.A. Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Student i nauka. 2016. № 9. S. 77-81.
10. **Smotrickaya I.I.** Sovremennye tendencii cifrovoj transformacii gosudarstvennogo upravleniya [Test]/ Smotrickaya I.I., CHernyh S.I.// Vestnik Instituta ekonomiki Rossijskoj akademii nauk. 2018. № 5. S. 22-36
11. **Barrett M.** et al. Service innovation in the digital age: key contributions and future directions // MIS quarterly. 39(1). 2015. Rr. 135–154

УДК 621.316.13

**П.Н. ЛЕВИН<sup>1</sup>, П.А. ДОБРЫНИН<sup>2</sup>, О.А. СЕРЕДКИН<sup>3</sup>****СЕКЦИОНИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ РЕКЛОУЗЕРОВ, С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ***Липецкий государственный технический университет<sup>1,2</sup>**Россий г. Липецк**ПАО «МРСК-Центр»-«Липецкэнерго»<sup>3</sup>**Россий г. Липецк*

В статье рассматривается способ повышения надежности электрических распределительных сетей напряжением 6 – 35кВ. Представлены показатели, по которым производится качественная оценка надежности электрической сети, представлены примеры и методы, с помощью которых достигается повышение отказоустойчивости.

**P.N. LEVIN<sup>1</sup>, P.A. DOBRYNIN<sup>2</sup>, O.A. SEREDKIN<sup>3</sup>****SECTION OF DISTRIBUTION NETWORKS USING ADVERTISERS, IN ORDER TO INCREASE THE RELIABILITY OF ELECTRIC NETWORKS***Lipetsk State Technical University<sup>1,2</sup>**Russian Lipetsk**IDGC of Center, PJSC - Lipetskenergo<sup>3</sup>**Russian Lipetsk*

The article discusses a way to improve the reliability of electric distribution networks with a voltage of 6 - 35 kV. Indicators are presented, according to which a qualitative assessment of the reliability of the electric network is made, examples and methods are presented with the help of which fault tolerance is improved.

**Ключевые слова:** Надежность, распределительная сеть, секционирование, реклоузер, фидер**Keywords:** Reliability, distribution network, partitioning, recloser, feeder**Введение**

В системах передачи и распределения электрической энергии большое распространение получили распределяющие сети 6 – 35 кВ, т.к. они зачастую являются последним или предпоследним звеном в общей цепи трансформации электрической энергии перед потребителями. Конечным результатом работы всей энергетической сети является доведение электроэнергии до потребителя или группы потребителей. Электрические сети эксплуатируются непрерывно, поэтому они сильно подвержены износу и риску возникновения внештатных аварийных ситуаций. Это может быть обрыв провода, замыкания двух фаз между собой, замыкания на землю и т.д. Для того, чтобы максимально минимизировать производственные потери от возникших аварий, необходимо иметь возможность быстро находить поврежденный участок, изолировать его, переключать отключенных потребителей к другим источникам и т.д.

**Повышение надежности за счет применения реклоузеров**

Одним из эффективных решений для таких задач является секционирование сетей. Суть заключается в том, что с помощью специальных коммутационных аппаратов можно

было разделить фидер на несколько секций, локализовать отдельно взятый участок или переключить питание потребителей с одного источника на другой.

На данный момент наиболее привлекательным решением является реклоузел. Реклоузер представляет собой устройство автоматического управления и защиты воздушной ЛЭП. На реклоузер могут возлагаться такие задачи, как: осуществление штатных переключений, мониторинг и учет характеристик и параметров электросети, автоматическое отключение участков с повреждениями, автоматическое восстановление электропередачи неповрежденных участков.

Для оценки надежности электрической сети выделяют ряд параметров: SAIFI (среднее количество отключений в год); SAIDI (средняя длительность отключений потребителей в год). А для оценки эффективности руководствуются такими параметрами: RNRE(относительная эффективность реконструкции сети); ARIE(средняя эффективность инвестиций); RDCO(относительное снижение стоимости владения сетью). Формулы всех параметров представлены, соответственно, ниже:

$$SAIFI = \frac{\sum (\omega_i \times N_i)}{\sum N_i}, \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{\sum (T_i \cdot N_i)}{\sum N_i}, \quad (2)$$

$$RNRE = \left(1 - \frac{SAIFI}{SAIFI(0)}\right) \cdot 100\%, \quad (3)$$

$$ARIE = \left(\frac{CIE}{RNRE}\right), \quad (4)$$

$$RDCO = \left(1 - \frac{CO}{CO(0)}\right) \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $\omega_i$  – количество отключений потребителей  $i$ -го участка фидера;  $N_i$  – количество потребителей  $i$ -го участка фидера, шт.;  $T_i$  – время перерыва электроснабжения потребителей  $i$ -го участка фидера;  $CIE$ – инвестиции, требуемые для реконструкции, руб.

В большинстве случаев фидер (участок электрической сети) может быть радиальным (рис. 1) или кольцевым (рис. 2).

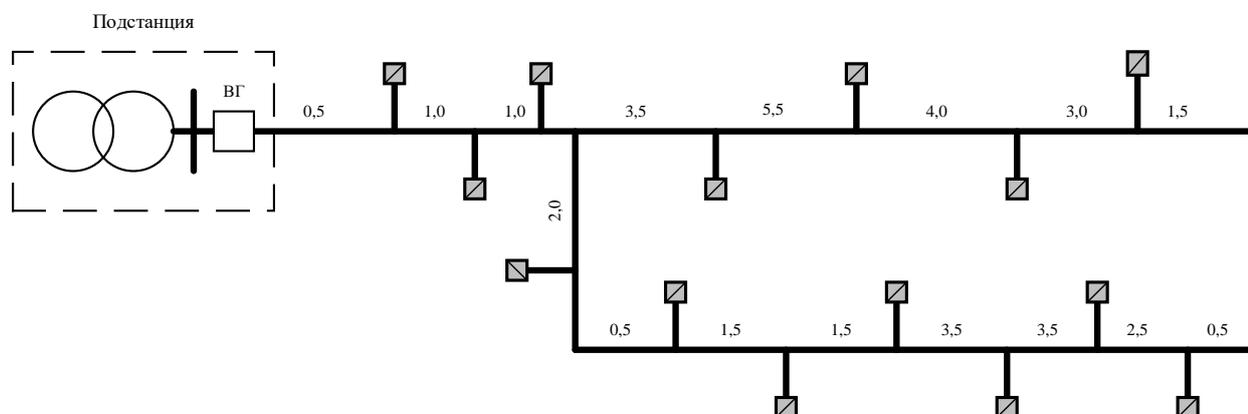


Рис. 1 – Радиальный фидер

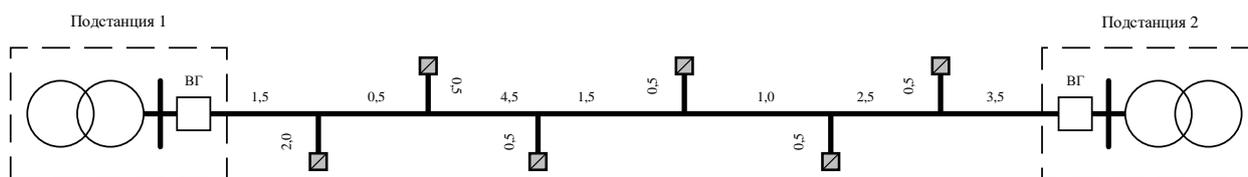


Рис. 2 – Кольцевой фидер

Реклоузеры должны устанавливаться не по краям фидера, рядом с головными выключателями ВГ, а в тех местах, где от результата их работы будет наибольшая эффективность. Т.е. с их помощью можно разделить участок на несколько секций, и при возникновении аварии на конце фидера не отключать весь фидер, а отключить только поврежденный участок, тем самым часть потребителей останется подключенным к источнику.

Если рассмотреть конкретный пример для кольцевого фидера (рис. 3), то в данном случае лучшим вариантом будет разделение фидера на участки, руководствуясь количеством потребителей на участке и протяженностью участка со всеми ответвлениями.

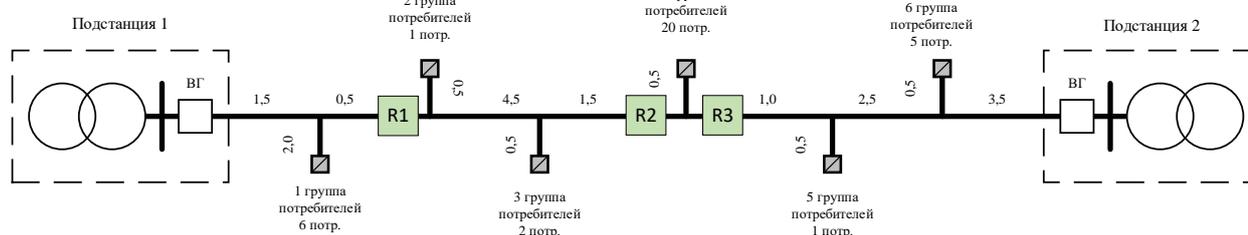


Рис. 3 – Пример расстановки реклоузеров на кольцевом фидере

Из рисунка 3 стоит отметить, что при такой расстановке реклоузеров весь кольцевой фидер делится на 4 участка: подстанция 1-реклоузер R1; R1-R2; R2-R3; R-подстанция 2.

Так же стоит отметить, что на головных выключателях также стоит реализовать одно или двукратное АПВ, т.к. зачастую короткие замыкания на линии самоустраняются за время срабатывания автоматического повторного включения.

В таблице представлены полученные при расчете показатели SAIFI и SAIDI до и после установки реклоузеров и обеспечения АПВ.

Таблица

Расчетные показатели		
	SAIFI, откл/год	SAIDI, ч/год
До установки	3,02	18,1
После установки	0,2	0,7

Из результатов видно, что установка реклоузеров и обеспечение АПВ существенно снижают показатели, тем самым повышают эффективность сети. Выбор места установки реклоузеров осуществляется по минимальному показателю SAIFI, а минимальное значение достигается равенством произведения количества потребителей и протяженности фидера со всеми отпайками на каждом из образовавшихся участков при установке реклоузеров.

### Выводы

Приведенное решение по секционированию распределительных сетей является простым и надежным решением. Стоимость такого решения относительно высока, т.к. стоимость одного реклоузера составляет порядка 1,5 млн. р. Конечно, реклоузеры не должны

быть единственными коммутационными аппаратами на линии, их необходимо применять совместно с управляемыми разъединителями и выключателями нагрузки. Именно сочетанием таких коммутационных аппаратов можно достичь большей безотказности при минимальных затратах.

Важным вопросом при решении общей задачи является то, как именно стоит сочетать и где непосредственно устанавливать секционирующие и коммутационные аппараты, для достижения наилучших показателей.

### Библиографический список

1. СТО 34.01-2.2-033-2017 Сборник типовых технических решений ПАО «Россети». Линейное коммутационное оборудование 6-35 кВ – секционирующие пункты (реклоузеры) – Москва: ПАО «Россети», 2017. – 22 с.
2. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» – Москва: ПАО «Россети», 2019. – 219 с.
3. **Гловацкий В.Г.** Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей [Текст] / В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев. – Москва: АНО «Сотрудничество», 2003. – 535 с.
4. Пат. 2142187 Российская Федерация, МПК H02B 13/00. Реклоузер (автоматический выключатель воздушных линий) серии TEL [Текст] / Чалый А.М., Червинский О.И.; заявитель и патентообладатель ООО «Таврида Электрик Р»,. - № 97113082/09 заявл.18.07.1997; опубл. 27.11.1999. – 5 с.
5. **Чернобровов Н.В.** Релейная защита энергетических систем: Учеб. Пособие для техникумов [Текст] / Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. – Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.

### References

1. STO 34.01-2.2-033-2017 Sbornik tipovyh tekhnicheskikh reshenij PAO «Rosseti». Linejnoe kommutacionnoe oborudovanie 6-35 kV – sekcioniruyushchie punkty (reklouzery) – Moskva: PAO «Rosseti», 2017. – 22 s.
2. Polozhenie PAO «Rosseti» «O edinoj tekhnicheskoy politike v elektrosetevom komplekse» – Moskva: PAO «Rosseti», 2019. – 219 s.
3. **Glovackij V.G.** Sovremennye sredstva relejnoj zashchity i avtomatiki elektrosetej [Tekst] / V.G. Glovackij, I.V. Ponomarev. – Moskva: ANO «Sotrudnichestvo», 2003. – 535 s.
4. Pat. 2142187 Rossijskaya Federaciya, MPK H02B 13/00. Reklouzer (avtomaticheskij vyklyuchatel' vozdushnyh linij) serii TEL [Tekst] / CHalyj A.M., CHervinskij O.I.; zayavitel' i patentoobladatel' ООО «Tavrida Elektrik R»,. - № 97113082/09 zayavl.18.07.1997; opubl. 27.11.1999. – 5 s.
5. **CHernobrovov N.V.** Relejnaya zashchita energeticheskikh sistem: Ucheb. Posobie dlya tekhnikumov [Tekst] / N.V. CHernobrovov, V.A. Semenov. – Moskva: Energoatomizdat, 1998. –

## *Информационный раздел*

### Правила оформления статей в журнале «Инженерные системы и сооружения»

Уважаемые авторы, пожалуйста, следуйте правилам оформления статей для опубликования в журнале.

Создавайте заголовки и подзаголовки, текст статьи, таблицы, подписи и библиографический список, используя соответствующие стили.

УДК (Указать номер УДК шрифтом 12 пунктов Times New Roman, без отступа)

**И.И. ИВАНОВ, В.Ю. ПЕТРОВ**

#### **РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК**

(12 шрифт Times New Roman, полужирный, заглавными, по центру, без переноса)

Рассматриваются положения методики расчета технико-экономического обоснования предложенных схем теплогенерирующих установок, оборудованных двухступенчатыми конденсационными теплообменниками, использующими теплоту конденсации водяных паров дымовых газов при температуре выше точки росы

(10 шрифт Times New Roman, красная строка 3см, поля по 2см., по ширине объемом не более 8 строк)

**I.I. IVANOV, V.YU. PETROV**

#### **PROCEDURE FOR TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION OF DIAGRAMS OF HEAT-GENERATING PLANTS THIS PRESSURIZED UTILIZERS**

The present paper deals with the first stage of pressurized heatutilizer forming non-stationary heat fields in condensing vapours from the steam-gas media. Integration of the differential equations obtained makes it possible to get heat and structural parameters for calculating pressurized heat-utilizers

(Авторы, название статьи, аннотация статьи все на английском языке. Приводится точный перевод аннотации на русском языке).

После аннотации указываются ключевые слова на русском и английском языках (шрифт 10 пт, по ширине).

**Ключевые слова:** теплогенерирующие установки, двухступенчатый конденсационный теплообменник, теплота конденсации, водяные пары, дымовые газы, точка росы

**Keywords:** condensing vapours, installations, two-level, heat of condensation, water pairs, smoke gases, a dew-point

Статьи представляются в отпечатанном виде и электронном (на диске или флэш-карте). Бумажный вариант должен быть подписан автором (авторами). Объем статей – от 5 до 10 **полных** страниц формата А4. Поля слева и справа по 2 см, снизу и сверху - по 2,5 см. Не допускается для оформления статьи использовать Office Open. Для основного текста

используйте только шрифт Times New Roman высотой 12 пунктов с одинарным интервалом. Не используйте какой-либо другой шрифт. Для обеспечения однородности стиля не используйте курсив, а также не подчеркивайте текст. Отступ первой строки абзаца – 1,25 см.

В нижнем колонтитуле первой страницы с выравниванием по левому краю должен быть приведен авторский знак © с указанием фамилий и инициалов всех авторов и года публикации. Пример:

© Иванов И.И., Петров В.Ю., 2013.

Сложные формулы выполняются при помощи встроенного в WinWord редактора формул MS Equation 3.0. Выравнивание по центру колонки без отступа, порядковый номер формулы в круглых скобках размещается строго по правому краю колонки (страницы). Единственная в статье формула не нумеруется. Сверху и снизу формулы не отделяются от текста интервалом.

Для ссылок на формулы в тексте используете следующий стиль: выражение (1) или (1).

Пример:

$$\eta(a) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta) e^{-\gamma \frac{a}{g}}, \quad (1)$$

где  $\eta_0$  и  $\eta$  - начальные и конечные значения коэффициентов вязкости;  $a$  - ускорение колебаний грунта;  $g$  - ускорение свободного падения.

Иллюстрации выполняются в векторном формате в графическом редакторе Corel Draw 7.0, 8.0 или 9.0 либо в любом из графических приложений MS Office 97, 98 или 2000. Графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них в удобном для автора виде. Название иллюстраций (10 пт, обычный) дается под ними по центру после слова Рис. с порядковым номером (10 пт, полужирный). Если рисунок в тексте один, номер не ставится, пишется только Рис., без номера и далее – название рисунка. Точка после подписи названия рисунка не ставится. Между подписью к рисунку и текстом - 1 интервал. Все рисунки и фотографии должны иметь хороший контраст и разрешение не менее 300 dpi. Все графики, рисунки и фотографии можно представлять как в черно-белом, так и в цветном варианте. Избегайте тонких линий в графиках (толщина линий должна быть не менее 0,2 мм).

Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются.

Размещайте подписи к рисункам непосредственно под рисунками. Оставьте один пробел между подписью к рисунку и нижележащим текстом. Название рисунка дается без переносов. Иллюстрации обязательно должны быть прокомментированы, комментарии приводятся непосредственно под иллюстрациями, после подрисуночных подписей (в приведенном ниже примере комментарии к рис. 1 опущены).

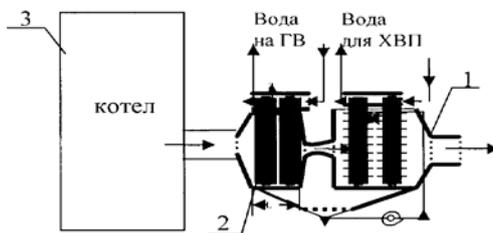


Рис. 1 - Комбинированная схема использования двухступенчатого конденсационного теплообменника

Слово Таблица с порядковым номером размещается по правому краю. На следующей строке приводится название таблицы (выравнивание по центру без отступа) без точки в конце. Содержание таблицы (10 пт), форматирование по левому краю. После таблицы - пробел в 1 интервал. Единственная в статье таблица не нумеруется, над ней только приводится по центру название, без переносов. Ссылка на нее по тексту – слово Таблица (полностью).

Для создания таблиц используйте образец, приведенный ниже. Оставьте один пробел между таблицей и нижележащим текстом.

Текст статьи обязательно должен быть включен раздел **Введение**, отражающий актуальность рассматриваемой в статье тематики. Остальной текст должен быть разделен на тематические блоки (не менее двух), заголовки которых четко и ясно отражают их содержание. Материалы статьи также обязательно должны иметь логическое заключение, выделенное по тексту заголовком **Выводы**, по центру страницы жирным шрифтом (12пт). После слов Введение и Выводы точка или двоеточие не ставятся. Слова Введение и Выводы с обеих сторон отделяются от текста пробелами в один интервал.

Аннотации должны полностью отражать основное содержание статьи: краткое обоснование актуальности темы и цели написания статьи; задач, поставленных в рамках статьи для решения обозначенной цели, и трактовка основных выводов.

Ссылки на литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки [1].

Библиографический список приводится после текста статьи на русском и английском языках (**транслитерацией**). После слов **Библиографический список** и **References** точка или двоеточие не ставятся. Затем следует пробел в 1 интервал и приводится список источников по порядку их упоминания в тексте. Шрифт 12 пт обычный, выравнивание по ширине страницы, красная строка 1 см. В одной научной статье должно быть не менее четырех и не более 15 ссылок на литературные источники.

Используйте данный стиль для библиографического списка в конце статьи. Несколько статей одного автора должны быть приведены в хронологическом порядке.

Максимальное количество авторов в статье – 4, в т.ч. не более 2-х преподавателей (допускается еще один аспирант/магистрант и один студент).

Таблица 1

Технико-экономическая характеристика применения комбинированной схемы использования двухступенчатого конденсационного теплообменника

Величина	Обозначение	Размерность	Формула	Значение

### Библиографический список

1. **Иванов И.И.** Разработка математической модели тепломассообмена в напорных теплоутилизаторах / И.И. Иванов, В.В. Петров, М.М. Васильев // Вестник ВГТУ. - 2005. - Т.1. - №6. - С.79-82.
2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования: утв. Мин-вом экономики РФ мин-вом финансов РФ, Госкомпромом России, Госстроем России 31.03.94, №7-12\47. - М., 1994. - 80 с.

### References

1. **Ivanov I.I.** Razrabotka matematicheskoy modeli teplomassoobmena v napornyh teploutilizatorah / I.I. Ivanov, V.V. Petrov, M.M. Vasil'ev // Vestnik VGTU. - 2005. - T.1. - №6. - S.79-82.
2. Metodicheskie rekomendacii po ocenke ehffektivnosti investicionnyh proektov i ih otboru dlya finansirovaniya: utv. Min-vom ehkonomiki RF min-vom finansov RF, Goskompromom Rossii, Gosstroem Rossii 31.03.94, №7-12\47. - M., 1994. - 80 s.

**Состав редакционной коллегии  
научного журнала «Инженерные системы и сооружения»**

№ п/п	Ф.И.О.	Ученая степень, ученое звание	Должность
1	<b>Колодяжный Сергей Александрович</b>	Д-р. техн. наук, профессор РАЕ	Ректор ВГТУ, член Правления Ассоциации строительных вузов Российской Федерации, член Совета РААСН по интеграции академической и вузовской науки, член совета Учебно-методического объединения по укрупненной группе подготовки «Техника и технологии строительства», эксперт секции «Кадровое обеспечение ТЭК» Консультативного Совета при Председателе Комитета по энергетике Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, эксперт в научно-технической сфере ФГБНУ НИИ «Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы», эксперт ФГБУ «Росаккредагентство» Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки, член клуба ректоров Европы (Оксфорд, Великобритания), профессор Российской Академии Естествознания
2	<b>Сотникова Ольга Анатольевна</b>	Д-р техн. наук, профессор	Заведующая кафедрой проектирования зданий и сооружений им. Н.В.Троицкого ВГТУ, доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, член Президиума Ассоциации «АВОК» (г. Москва), эксперт секции «Зеленые стандарты, технологии и материалы в энергосбережении» Консультативного Совета при Председателе комитета по энергетике Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, эксперт РФФИ от Московского государственного строительного университета с 2014 года, эксперт ФГБУ «Росаккредагентство» Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки
3	<b>Лапина Ксения Николаевна</b>	К.т.н., профессор РАЕ	Заместитель главного редактора, кандидат технических наук, профессор РАЕ, начальник отдела финансового планирования ВГТУ
4	<b>Бродач Марианна Михайловна</b>	Канд. техн. наук, профессор	Вице-президент Некоммерческого Парнерства «АВОК», профессор МАРХИ

№ п/п	Ф.И.О.	Ученая степень, ученое звание	Должность
4	<i>Исмаилов Рашид Айдынович</i>		Директор Некоммерческого Партнерства «Центр Зеленых Стандартов», член Высшего экологического совета Комитета Госдумы по природным ресурсам, природопользованию и экологии
5	<i>Кобелев Николай Сергеевич</i>	Д-р техн. наук, профессор	член-корреспондент РАЕН, действительный член СПАНИ, Заслуженный изобретатель РФ, Почетный работник высшего профессионального образования
6	<i>Ляхович Леонид Семенович</i>	Д-р техн. наук, профессор	Заведующий кафедрой «Строительная механика» ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
7	<i>Мелькумов Виктор Нарбенович</i>	Д-р техн. наук, профессор	Заведующий кафедрой теплогазоснабжения и нефтегазового дела Воронежского государственного технического университета
8	<i>Мищенко Валерий Яковлевич</i>	Д-р техн. наук, профессор	Заведующий кафедрой технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью Воронежского государственного технического университета
9	<i>Раде Раткович</i>	Ph. D., Professor	Декан факультета бизнеса и туризма (г. Будва, Черногория)
10	<i>Рудаков Олег Борисович</i>	Д-р хим. наук, профессор	Заведующий кафедрой химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета
11	<i>Умнякова Нина Павловна</i>	Канд. техн. наук, доцент	Зам. Директора по научной работе НИИ строительной физики РААСН (г. Москва)
12	<i>Хребтов Александр Валентинович</i>		Директор по развитию и науке, член правления Национального агентства по энергосбережению и возобновляемым источникам энергии (Республика Беларусь)

**По вопросам размещения публикации научных статей просьба обращаться по адресу:**

394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, Корпус 1

или по адресам электронной почты редакции: e-mail: [isis.journal@yandex.ru](mailto:isis.journal@yandex.ru),

[redactor@isis-journal.ru](mailto:redactor@isis-journal.ru)

Website журнала: [www.isis-journal.ru](http://www.isis-journal.ru)

**Председатель редакционного совета журнала, проф. Колодяжный Сергей Александрович,**

тел. +7(473)277-43-39

**Главный редактор журнала, д-р техн. наук Сотникова Ольга Анатольевна,**

тел. +7(473)277-43-39

**Заместитель главного редактора журнала, канд. техн. наук Чугунова Ксения Николаевна**

тел. +7(473)277-43-39

**Научный секретарь журнала, канд. техн. наук Чудинов Дмитрий Михайлович,**

тел. +7(473)277-43-39

**Выпускающий редактор журнала, канд. техн. наук Тульская Светлана Геннадьевна,**

тел. +7(473)277-43-39

**Ответственный секретарь журнала, инженер Плаксина Елена Владимировна,**

тел. +7(473)277-43-39

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ  
И СООРУЖЕНИЯ**

Выпуск №1 (38), 2020

Дата выхода в свет: \_\_.\_\_.20\_\_. Формат 60\*84 1/8. Бумага писчая.

Тираж 500 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Свободная цена

---

Отпечатано: Бизнес-Полиграфия (г. Воронеж, ул. Пеше-Стрелецкая, д.27)