

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2019

№ 1 (45)

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям.

Группа специальностей 05.11.00 «Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы»:

- 05.11.01 – Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки);
- 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям) (технические науки);
- 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Группа специальностей 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»:

- 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки);
- 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (технические науки);
- 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки);
- 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
- 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки);
- 05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).

Журнал входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory.

Астрахань

Издательский дом «Астраханский университет»

2019

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Астраханского государственного университета

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2019
№ 1 (45)

Редакционная коллегия

И.М. Ажмухамедов, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационная безопасность» Астраханского государственного университета (главный редактор)

И.В. Аникин, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы информационной безопасности» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ

А.А. Большаков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и управления» Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)

Ю.М. Брумиштейн, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные технологии» Астраханского государственного университета (ответственный секретарь)

Ж.И. Батырканов, доктор технических наук, профессор, профессор Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Кыргызская Республика, г. Бишкек)

С.Н. Гончаренко, доктор технических наук, профессор, профессор Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Москва)

Л.А. Демидова, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вычислительной и прикладной математики» Рязанского государственного радиотехнического университета (г. Рязань)

Б.О. Дзюлдошоев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматическое управление» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Кыргызская Республика, г. Бишкек)

И.Ю. Квятковская, доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий и коммуникаций Астраханского государственного технического университета

А.Г. Кравец, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета

Ю.В. Литовка, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» Тамбовского государственного технического университета

А.А. Лобатый, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, г. Минск)

В.В. Морозов, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (г. Владимир)

Е.В. Никольцев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление и моделирование систем» Московского технологического университета (МИРЭА) (г. Москва)

В.О. Осипян, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные технологии» Кубанского государственного университета (г. Краснодар)

И.Ю. Петрова, доктор технических наук, профессор, первый проректор Астраханского государственного архитектурно-строительного университета, заведующая кафедрой САПР Астраханского государственного архитектурно-строительного университета

А.В. Рыбаков, кандидат физико-математических наук, директор «Физико-математического института» Астраханского государственного университета; доцент кафедры электротехники, электроники и автоматики Астраханского государственного университета

А.В. Скрипаль, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Медицинская физика» Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

И.Б. Старченко, доктор технических наук, профессор, ООО «Параметрика», научный руководитель (г. Таганрог Ростовской области)

Ю.Ю. Тарасевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор Астраханского государственного университета, заведующий лабораторией «Математическое моделирование и информационные технологии в науке и образовании»

Т.Л. Тен, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» Карагандинского экономического университета (Республика Казахстан, г. Караганда)

Е.Н. Тищенко, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и защита информации» Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) – г. Ростов-на-Дону

М.А. Ураксеев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» Уфимского государственного авиационного технического университета

Д.А. Усанов, заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика твердого тела» Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

С.А. Филлист, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Биомедицинская инженерия» Юго-Западного государственного университета (г. Курск)

Л.Р. Фионова, доктор технических наук, профессор, декан факультета Вычислительной техники, заведующая кафедрой «Информационное обеспечение управления и производства» Пензенского государственного университета

В.А. Цимбал, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого МО в г. Серпухов Московской области)

Н.К. Юрков, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Пензенского государственного университета

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science, University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS dept. and MBDS innovation lab (www.mbds-fr.org)

Журнал выходит 4 раза в год
Все материалы, поступающие в редколлегию журнала,
проходят независимое рецензирование

© Астраханский государственный университет,
Издательский дом «Астраханский университет», 2019
© Свиридов В. Б., дизайн обложки, 2019

ASTRAKHAN STATE UNIVERSITY

**PRIKASPIYSKIY ZHURNAL:
Upravlenie i Vysokie Tekhnologii**

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

2019

No. 1 (45)

The journal is included in the list of the reviewed scientific journals recommended by VAK of Russia for the publication of the main scientific results of theses for the candidate of science degree, for the doctor of science degree on the following scientific specialties.

Group of specialties 05.11.00 “Instrument engineering, measurement science, information and measuring devices and systems”:

05.11.01 – Instruments and measurement methods (by measurement types) (technical sciences);

05.11.16 – Information-measuring and control systems (by branches) (technical sciences);

05.11.17 – Medical instruments, systems and items (technical sciences).

Group of specialties 05.13.00 “Informatics, computer technique and control”:

05.13.01 – System analysis, information control and processing (by branches) (technical sciences);

05.13.05 – Components and devices of computational tools and control systems (technical sciences);

05.13.10 – Management in social and economic systems (technical sciences);

05.13.11 – Mathematical software and software for computing machines, computer systems and networks (technical sciences);

05.13.18 – Mathematical modelling, numerical methods and complexes of programmes (technical sciences);

05.13.19 – Information security methods and systems, information security (technical sciences).

The journal is included into the database Ulrich’s Periodicals Directory.

Astrakhan
Publishing House “Astrakhan University”
2019

Recommended by the Editorial and Publishing Board
of Astrakhan State University

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

2019

No. 1 (45)

Editorial Board

I.M. Azhmukhamedov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Security Department, Astrakhan State University (Editor-in-Chief)

I.V. Anikin, Doct. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of Information Security System Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI»

A.A. Bolshakov, Doct. Sci. (Engineering), Professor of «Systems of Automated Design Engineering and Control» department, St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)

Yu.M. Brumshteyn, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of Astrakhan State University (Executive Editor)

Zh.I. Batyrkanov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov (Kyrgyz Republic, Bishkek)

S.N. Goncharenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the National University of Science and Technology «MISIS» (Moscow)

L.A. Demidova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Computational and Applied Mathematics Department, Ryazan State Radio Engineering University (Ryazan)

B.O. Dzholdoshov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Automatic Control Department, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov (Kyrgyz Republic, Bishkek)

I.Yu. Kvyatkovskaya, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of “Information Technologies and Communications” Institute of the Astrakhan State Technical University

A.G. Kravets, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Automated Design Engineering Systems and Search Constructing Department, Volgograd State Technical University

Yu.V. Litovka, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Automated Support System for Decision-Making, Tambov State Technical University

A.A. Lobaty, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Systems and Technologies Department, Belarusian National Technical University (Belarus, Minsk)

V.V. Morozov, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor of the Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov (Vladimir)

E.V. Nikulchev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the System Management and Modeling Department, Moscow Technological University (Moscow)

V.O. Osipyan, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor of the Kuban State University (Krasnodar)

I.Yu. Petrova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, First Vice-Rector of the Astrakhan State Architectural and Construction University, Head of the CAD department of Astrakhan State Architectural and Construction University

A.V. Rybakov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Director of the Institute of Physics and Mathematics, Astrakhan State University

A.V. Skripal, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Head of Medical Physics Department of the Saratov national research State University named after N.G. Chernyshevsky

I.B. Starchenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, OOO «Parametrica» (Taganrog, Rostov Oblast), Research Supervisor

Yu.Yu. Tarasevich, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Professor of the Astrakhan State University, head of the laboratory «Mathematical modeling and information technologies in science and education»

T.L. Ten, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Karaganda Economic University (Republic of Kazakhstan, Karaganda)

E.N. Tishchenko, Doct. Sci. (Economics), Professor, Head of the Information Technologies & Information Security Department, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don

M.A. Urakseev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Information and Measuring Equipment department of Ufa State Aviation Technical University

D.A. Usanov, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), head of the department «Solid State Physics», Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky

S.A. Filist, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of Biomedical Engineering Department, Southwest State University (Kursk)

L.R. Fionova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Dean of the Computer Technology Faculty, Head of the Department «Information Support of Management and Production, Penza State University

V.A. Tsimbal, Doct. Sci. (Engineering), Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor, Professor of the Automated Control Systems Department (Branch of the Military Academy of the Russian Strategic Missile Forces named after Peter the Great of the Moscow Oblast, Serpukhov, Moscow Oblast)

N.K. Yurkov, Honored worker of science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the department «Designing and production of the radio equipment», Penza State University

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science dept., University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS department and MBDS innovation lab (www.mbd-fr.org)

The journal is published four times a year
All materials that come to the Editorial Board of the journal
are subject to independent peer-review

© Astrakhan State University,
Publishing House “Astrakhan University”, 2019
© V. B. Sviridov, cover design, 2019

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Абрамович В. В.</i>	<i>10–33</i>	<i>Кушников В. А.</i>	<i>137–154</i>
<i>Аданья С. Г.</i>	<i>96–109</i>	<i>Кушникова Е. В.</i>	<i>137–154</i>
<i>Ажмухамедов И. М.</i>	<i>172–181</i> <i>210–217</i>	<i>Маркелов К. А.</i>	<i>117–136</i>
<i>Аль-Мерри Гайс М. С.</i>	<i>73–84</i>	<i>Наркулиев Б. Н.</i>	<i>64–73</i>
<i>Боскебеев К. Д.</i>	<i>84–95</i>	<i>Оконов М.</i>	<i>84–95</i>
<i>Брумитейн Ю. М.</i>	<i>10–33</i> <i>45–63</i>	<i>Осипян В. О.</i>	<i>164–172</i>
<i>Власенко А. В.</i>	<i>181–187</i> <i>188–192</i>	<i>Парыгин Д. С.</i>	<i>96–109</i>
<i>Горкавенко В. С.</i>	<i>172–181</i>	<i>Пивоваров В. В.</i>	<i>96–109</i>
<i>Григорян Э. С.</i>	<i>164–172</i>	<i>Резчиков А. Ф.</i>	<i>137–154</i>
<i>Гуртяков А. С.</i>	<i>96–109</i>	<i>Сай Ван Квонг</i>	<i>33–44</i>
<i>Дзьобан П. И.</i>	<i>181–187</i>	<i>Сальникова Н. А.</i>	<i>73–84</i>
<i>Егунов В. А.</i>	<i>154–163</i>	<i>Соколов А. А.</i>	<i>193–210</i>
<i>Иванов С. А.</i>	<i>110–117</i>	<i>Станишевская А. В.</i>	<i>210–217</i>
<i>Иващенко В. А.</i>	<i>137–154</i>	<i>Стрекалова А. С.</i>	<i>96–109</i>
<i>Квятковская И. Ю.</i>	<i>110–117</i>	<i>Тимонов Д. А.</i>	<i>188–192</i>
<i>Коновалова Д. И.</i>	<i>45–63</i> <i>64–73</i>	<i>Цвиркун А. Д.</i>	<i>137–154</i>
<i>Кравец А. Г.</i>	<i>73–84</i>	<i>Швырев Б. А.</i>	<i>188–192</i>
<i>Куцев Е. В.</i>	<i>84–95</i>	<i>Шпилова О. В.</i>	<i>10–33</i>
<i>Кушелева Е. В.</i>	<i>137–154</i>	<i>Щербаков М. В.</i>	<i>33–44</i>

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

В. В. Абрамович, Ю. М. Бруштейн, О. В. Шипилова

Двумерные графические коды: анализ информационной емкости, способов генерации, направлений применения 10–33

Сай Ван Квонг, М. В. Щербakov

Метод прогнозирования остаточного ресурса на основе обработки данных многообъектных сложных систем 33–44

Ю. М. Бруштейн, Д. И. Коновалова

Системный анализ технологий компьютерного тестирования с использованием нечетких ответов.

Часть 2. Тестовые задания категорий «на установление соответствия объектов» и «со свободным вводом ответов» 45–63

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Б. Н. Наркулиев, Д. И. Коновалова

Анализ подходов к обеспечению информационно-телекоммуникационной компетентности населения и специалистов в Республике Туркменистан 64–73

М. С. Аль-Мерри Гайс, А. Г. Кравец, Н. А. Сальникова

Управление бизнес-процессами в туристической индустрии на основе методов семантической паутины и онтологического моделирования 73–84

М. Оконов, Е. В. Куцев, К. Д. Боскебеев

Модели и методы районирования территории по радиоклиматическим параметрам (на примере Кыргызской Республики) 84–95

Д. С. Парыгин, А. С. Стрекалова, А. С. Гуртяков, С. Г. Аданья, В. В. Пивоваров

Применение рекомендательных технологий в системах с пространственной информацией 96–109

С. А. Иванов, И. Ю. Квятковская

Использование методики оценки совокупной ценности (TVO) для определения эффективности системы поддержки принятия решений при выборе комплектующих для автоматизированной системы закрытого грунта 110–117

К. А. Маркелов

Информатизация трансграничных перевозок в Каспийском бассейне: анализ направлений влияния на ИТ-компетентность персонала организаций и населения в прикаспийских регионах России 117–136

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

А. Д. Цвиркун, Е. В. Кушелева, А. Ф. Резчиков, Е. В. Кушникова, В. А. Иващенко, В. А. Кушников

Математическая модель для прогнозирования последствий выбросов химически опасных веществ в атмосферу с учетом загрязнения городского воздуха автотранспортом 137–154

В. А. Егунов

Кэш-оптимизация процесса вычисления собственных значений на параллельных вычислительных системах 154–163

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

В. О. Осипян, Э. С. Григорян

Метод параметризации диофантовых уравнений
и математическое моделирование систем защиты данных на их основе 164–172

В. С. Горкавенко, И. М. Ажмухамедов

Модель и проектные диаграммы системы
централизованной защиты подсети хостов
под управлением Unix-подобных операционных систем 172–181

А. В. Власенко, П. И. Дзьобан

Идентификация DDOS-атак на web-серверы 181–187

А. В. Власенко, Б. А. Швырев, Д. А. Тимонов

Параметры канала утечки акустической
информации за счет модуляции видимого света 188–192

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ

И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

А. А. Соколов

Система поддержки принятия решений синтеза
физической топологии сети сбора и передачи данных
в системах энергетического менеджмента 193–210

Yu. A. Gostyunin, A. V. Stanishevskaya, I. M. Azhmukhamedov

Formalization of the information
on the condition of the electric power system
in risk-based maintenance strategy 210–217

ИНФОРМАЦИЯ О ПРЕДСТОЯЩИХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ 218

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 219

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER TECHNIQUE AND CONTROL

SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

V. V. Abramovich, Yu. M. Brumshteyn, O. V. Shipilova

Two-dimensional graphic codes: analysis of information capacity,
ways of generation, directions of application 10–33

Sai Van Cuong, M. V. Shcherbakov

A data-driven method for remaining useful life
prediction of multiple-component systems 33–44

Yu. M. Brumshteyn, D. I. Konovalova

System analysis of computer testing technologies with illegible answers using.
Part 2. Test tasks of categories “establishment of objects conformity “
and “free answers input” 45–63

CONTROL IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

B. N. Narkuliev, D. I. Konovalova

Analysis of approaches to ensuring
information and telecommunication competence
of the population and specialists in the Republic of Turkmenistan 64–73

M. S. Al-Merry Gais, A. G. Kravets, N. A. Salnikova

Semantic web model for business process management
in the tourism industry 73–84

M. Okonov, E. V. Kutsev, K. Dzh. Boskebeev

Models and methods of zoning the territory by radioclimatic parameters
(on the example of the Kyrgyz Republic) 84–95

**D. S. Parygin, A. S. Strekalova, A. S. Gurtyakov,
S. G. Adanya, V. V. Pivovarov**

Application of recommender technologies
in systems with spatial information 96–109

S. A. Ivanov, I. Yu. Kvyatkovskaya

Using the methodology total value of opportunity (TVO)
to evaluate the efficiency of the support system for decision making
for selecting components of the automated greenhouse system 110–117

K. A. Markelov

Informatization of cross-border transportations
in the Caspian basin: analysis of the directions of influence
on the IT-competence of population and organizations personnel
in Russian Caspian regions 117–136

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM SYSTEMS

**A. D. Tsvirkun, E. V. Kusheleva, A. F. Rezhikov,
E. V. Kushnikov, V. A. Ivashenko, V. A. Kushnikov**

Model for predicting the consequences of an accident
with the release of chemically hazardous substances into the atmosphere,
taking into account regular air pollution by autotransport 137–154

V. A. Egunov

Cache-optimization of solving eigenvalues problem
for parallel computing systems 154–163

INFORMATION SAFETY AND INFORMATION PROTECTION

V. O. Osipyan, E. S. Grigoryan

Method of parametrization of Diophantine equations
and mathematical modeling of data protection systems on their basis 164–172

V. S. Gorkavenko, I. M. Azhmukhamedov

Model and project diagrams of the system
of centralized protection of a subnet of hosts
under the management of Unix-like operational systems 172–181

A. V. Vlasenko, P. I. Dzoban

Identification of DDOS attacks on web servers 181–187

A. V. Vlasenko, B. A. Shvyrev, D. A. Timonov

The parameters of the leakage of acoustic information
by modulating the visible light 188–192

INSTRUMENT ENGINEERING, MEASUREMENT SCIENCE, INFORMATION AND MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

A. A. Sokolov

System for the decision-making support of the synthesis
of physical topology of collection and data transfer network
in energy management systems 193–210

Yu. A. Gostyunin, A. V. Stanishevskaya, I. M. Azhmukhamedov

Formalization of the information
on the condition of the electric power system
in risk-based maintenance strategy 210–217

INFORMATION ON FORTHCOMING SCIENTIFIC EVENTS 218

RULES FOR THE AUTHORS 219

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.8+004.046+004.67

ДВУМЕРНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ КОДЫ: АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЕМКОСТИ, СПОСОБОВ ГЕНЕРАЦИИ, НАПРАВЛЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ

Статья поступила в редакцию 28.02.2019, в окончательном варианте – 28.03.2019.

Абрамович Василий Владимирович, Астраханский государственный университет, 4141056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

инженер отдела эксплуатации вычислительной техники, e-mail: abramovich@email.su

Брумиштейн Юрий Моисеевич, Астраханский государственный университет, 4141056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

кандидат технических наук, доцент, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0016-7295>, e-mail: brum2003@mail.ru

Шипилова Оксана Владимировна, Астраханский государственный университет, 4141056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

магистрант, учитель средней школы № 37 г. Астрахани, e-mail: oksanashipilova1504@yandex.ru

Обоснованы достоинства и недостатки использования двумерных графических кодов по сравнению с представлением той же информации в виде линейных (одномерных) штрих-кодов. Представлены основные варианты бихроматических двумерных графических кодов, сравнены их особенности. Показано, что за счет «информационной избыточности» бихроматических двумерных графических кодов в сочетании с ними могут применяться различные надписи, эмблемы и пр. Рассмотрены возможные технологии и программные средства для генерации бихроматических двумерных графических кодов, управления параметрами такой генерации, обеспечения информационной безопасности при генерации кодов. Кратко описаны технические средства и программно-алгоритмические решения для нанесения бихроматических двумерных графических кодов на объекты, методы считывания бихроматических двумерных графических кодов, обработки считанной информации, обеспечения информационной безопасности при обработке бихроматических двумерных графических кодов. Указаны основные традиционные, малоиспользуемые и потенциально возможные направления применения бихроматических двумерных графических кодов. Кратко описаны возможности генерации, нанесения на объекты, считывания, использования полихроматических двумерных графических кодов, в том числе для тестирования/тренинга цветовой памяти испытуемых лиц.

Ключевые слова: графическое кодирование информации, идентификация объектов, бихроматические двумерные графические коды, информационная емкость, информационная избыточность, информационная безопасность, генерация, нанесение, считывание, полихроматические коды, тестирование зрительной памяти

TWO-DIMENSIONAL GRAPHIC CODES: ANALYSIS OF INFORMATION CAPACITY, WAYS OF GENERATION, DIRECTIONS OF APPLICATION

The article was received by editorial board on 28.02.2019, in the final version – 28.03.2019.

Abramovich Vasily V., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

engineer of computer technique exploitation department, e-mail: abramovich@email.su

Brumshteyn Yuriy M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0016-7295>, e-mail: brum2003@mail.ru

Shipilova Oksana V., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

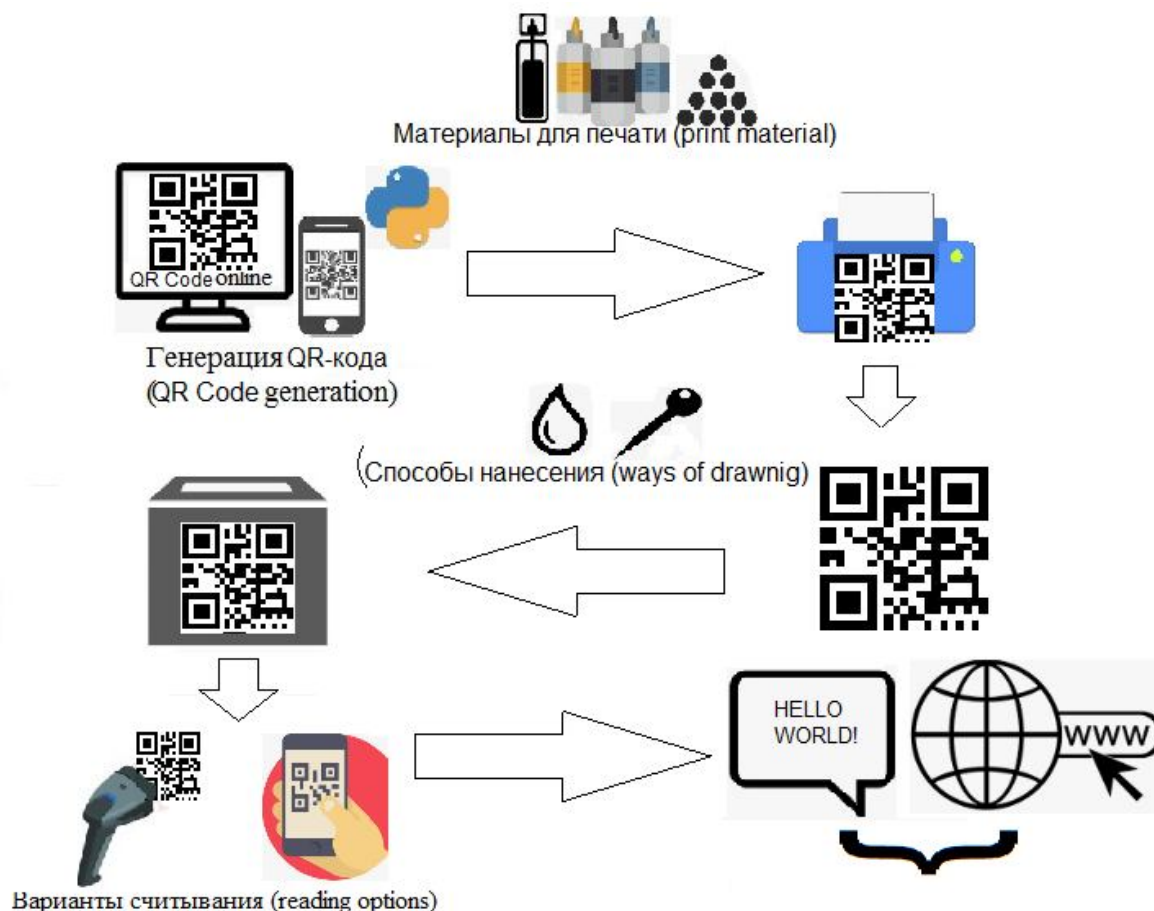
undergraduate student, teacher of secondary school no. 37 of Astrakhan, e-mail: oksanashipilova1504@yandex.ru

Merits and demerits of use of two-dimensional graphic codes in comparison with submission of the same information in the form of linear (one-dimensional) barcodes are proved. The main versions of the bichromatic two-dimensional graphic codes are submitted, their features are compared. It is shown that due to "information redundancy" by the bichromatic two-dimensional graphic codes in combination with them various inscriptions, emblems and so forth can be applied.

Possible technologies and software for generation of the bichromatic two-dimensional graphic codes, management of parameters of such generation, ensuring information security at generation of codes are considered. Technical means, program and algorithmic decisions for drawing the bichromatic two-dimensional graphic codes on objects, methods of reading of the bichromatic two-dimensional graphic codes, processing of only a few information, ensuring information security when processing the bichromatic two-dimensional graphic codes are briefly described. In this article the main traditional, low-used and potentially possible directions of the bichromatic two-dimensional graphic codes application are specified. Possibilities of generation, drawing on objects, reading, use of polychromatic two-dimensional graphic codes, including for a testing/training of color memory of examinees of persons are briefly described.

Key words: graphic coding of information, identification of objects, bichromatic two-dimensional graphic codes, information capacity, information redundancy, information security, generation, drawing, reading, polychromatic codes, testing of visual memory

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. В предыдущей работе [1] была рассмотрена проблематика, связанная с созданием и использованием линейных штрих-кодов (ЛШК) [11]. Такие коды очень широко применяются в различных сферах деятельности – особенно в области торговли. Однако наращивание информационной емкости ЛШК за счет роста количества полосок приводит к увеличению размеров таких кодов и, как следствие, к усложнению процессов их генерации, размещения на объектах, считывания (особенно считывания с объектов, имеющих сложную форму).

Поэтому все более широкое применение в различных областях находят двумерные графические коды (ДГК), которые могут содержать значительно больше информации на «единицу» занимаемой площади по сравнению с ЛШК. В данной статье предпринята попытка комплексного рассмотрения проблематики ДГК, в том числе некоторых нетрадиционных вопросов, которые в литературе исследованы слабо или не исследованы вообще.

В последующем тексте основное внимание мы будем уделять бихроматическим ДГК (БДГК), которые в большинстве случаев являются «черно-белыми». Такие БДГК в некоторых случаях используются и в комбинациях с ЛШК – например, на кассовых чеках в сети магазинов «Магнит» и в ряде иных организаций.

Цветные бихроматические ДГК используются значительно реже – главным образом, когда размещение на объектах таких кодов позволяет решать какие-то задачи эстетического характера.

Некоторые вопросы, связанные с использованием полихроматических ДГК (ПДГК), а также ДГК специальных типов, будут рассмотрены в конце статьи.

Характеристика основных видов ДГК, не содержащих дополнительных графических объектов. Наиболее широко используются стандартные QR коды [27], состоящие из квадратных элементов белого или черного цветов (рис. 1). В таком варианте QR-код был разработан и впервые представлен японской компанией Denso-Wave в 1994 году [25].



Рисунок 1 – Пример ДГК в виде стандартного (обычного) QR-кода с квадратными элементами (источник: <http://qr-code-generator.online>)

В таких QR-кодах маленькие квадраты, т.е. элементарные квадратные элементы (ЭКЭ), белого или черного цветов объединены в модули по 8 квадратов (модулей). При этом в QR-кодах содержатся блоки типа «D» (данные) и типа «E» (коррекции ошибок). Также в QR-кодах указывается, куда должна быть перенаправлена считанная информация в виде «гипертекста». Типичный вариант – перенаправление адреса интернет-страницы браузеру, который установлен на смартфоне по умолчанию. Браузер в свою очередь открывает страницу сайта, указанную в QR-коде. Объем информации, размещенной на такой странице, (включая текст, графику, звуковые объекты) может быть достаточно большой. При этом использование звуковых объектов на сайте для обеспечения передачи звуковой информации пользователям может быть полезным для слабовидящих людей.

Однако если на смартфоне (или компьютерном планшете) не установлены «антивирусные средства», то при открытии сайтов, на которые ведут ссылки по гиперкодам, потенциально возможно заражение операционной системы вредоносными программами. Ими могут быть программы рекламного характера, «оформления платных подписок» и пр. В связи с этим использование QR-кодов, полученных из неизвестных источников, нарушает базовые требования информационной безопасности при работе на устройствах вычислительной техники.

Более редкий вариант – непосредственно в QR-коде указывается перенаправление в смартфон номера телефона, по которому должен быть произведен вызов.

Минимальный размер ДГК типа того, который показан на рисунке 1, составляет 5×5 элементов – это обеспечивает информационную емкость (ИнЕ) в 15 байт [8]. Максимальный размер QR-кода – 40×40 элементов – это соответствует ИнЕ 2953 байт [9, 23, 30]. Таким образом, при стандартном использовании QR-кодов их ИнЕ относительно невысока. Однако для большинства типичных QR-кодов количество информации, приходящееся на единицу занятой ими площади, больше, чем для штрих-кодов [1].

В принципе возможен и иной подход к использованию QR-кодов. При нем каждый из ЭКЭ изображения QR-кода высокого качества кодирует «0» или «1». Тогда для QR-кода размером 40×40 количество возможных сочетаний расположений ЭКЭ может быть очень большим. Если не учитывать «потери площади» на элементы типа «Finder Pattern» (см. далее), «крайние» случаи типа «все ЭКЭ черные или белые», а также близкие к таким случаям варианты, то ИнЕ можно оценить величиной порядка 2^{1600} .

Возможна и иная оценка ИнЕ. Пусть мы используем «алфавит» из 256 возможных символов. Тогда на каждый символ потребуется по 8 бит. Следовательно, 1600 «бинарных» позиций позволят закодировать только 200 символов, да и то без учета «потерь площади» на позиционирующие элементы. Однако это также больше, чем в типичных штрих-кодах [11], примерно на порядок.

Для решения задач «скрытия» (внедрения) информации может применяться лишь небольшое количество ЭКЭ, расположенных по определенному алгоритму в пределах объекта-контейнера, внешне выглядящего как QR-код (остальные ЭКЭ могут применяться только для «маскировки»). При этом «ключом» к используемому шифру является совокупность мест расположения ЭКЭ, несущих скрытую информацию, а также порядок их считывания.

Может ли такой объект-контейнер для скрытой информации считываться как обычный QR-код? Очевидно, при большом количестве ЭКЭ ответ будет положительным (правда, с некоторыми оговорками), так как QR-коды обладают значительной информационной избыточностью. При этом открываемый сайт, соответствующий QR-коду, может содержать информацию нейтрального характера.

Если же объект-контейнер не предназначен для считывания в качестве QR-кода, то попытка использования в отношении него обычных программных средств, предназначенных для работы с такими кодами, просто не будет приводить к открытию какого-либо сайта.

Геометрические размеры QR-кодов, размещаемых на продаваемых объектах, на их упаковке, на кассовых чеках и пр., обычно составляют порядка двух сантиметров для каждой из двух сторон. Уменьшение размеров QR-кодов ограничивается главным образом возможностями печатающих и считывающих устройств. Поэтому при использовании устройств печати с высоким разрешением могут воспроизводиться миниатюрные QR-коды, для считывания которых необходимо специальное оборудование. Такое решение может быть использовано как средство защиты от нежелательного считывания QR-кодов лицами, не располагающими таким оборудованием.

С другой стороны, QR-коды размещаются и на зданиях (а также вблизи архитектурных сооружений) – в качестве средства получения доступа к дополнительной информации о таких объектах. При этом считается, что размещение QR-кода не нарушает восприятие архитектурного произведения – в отличие от достаточно длинного текстового описания. Геометрические размеры QR-кодов, размещенных вблизи зданий, памятников и пр., могут быть достаточно большими. Отметим, что на основе использования таких QR-кодов существуют возможности не только получения текстово-числовой информации об объектах, но и воспроизведения «дополненной реальности» [13].

Опыт использования QR-кодов показывает, что в результате некоторых действий, осуществленных злоумышленниками, может происходить «перенаправление» ссылок, размещенных в виде QR-кодов возле зданий (или на них), на информацию, которая к зданиям не имеет отношения. При этом может потребоваться полная замена табличек со «скомпометированными» QR-кодами [14]. Более подробная информация по этому вопросу содержится, например, в [5], где утверждается, что принято *«решение снять с исторических зданий таблички с QR-кодами, которые полгода вели на порносайты или предлагали знакомства в Tinder. При клике владелец устройства автоматически оформлял себе подписку стоимостью 35 рублей в сутки»*. Указывается, что *«в ноябре 2018 г. информация попала в СМИ. Позже сообщалось, что QR-коды были заблокированы»*. При этом не указывается, кем и как была осуществлена такая блокировка. Рассмотрим возможные причины возникновения ситуации, описанной выше.

1. ДГК на зданиях были изменены уже после установки – путем целенаправленной корректировки их ЭКЭ. При этом предварительно были выявлены (или специально созданы) ресурсы, на которые необходимо было перенаправить «ссылки», и сгенерированы соответствующие ДГК. В простейшем случае корректировка может быть реализована путем «наклеивания» нового ДГК на уже существующий, но такую «наклейку» можно достаточно легко удалить. В то же время «точечные» корректировки элементов существующего QR-кода могут быть малоэффективны из-за значительной «информационной избыточности» таких кодов. Есть, конечно, и более простой вариант – новый (поддельный) ДГК размещается рядом с существующим и содержит изображение архитектурного объекта. При этом, по крайней мере, часть пользователей будет использовать «новый» ДГК вместо правильного.

2. При отсутствии своевременной уплаты стоимости использования «доменов» (адресов интернет-страниц, на которые указывают QR-коды) на очередной год они были хостинг-провайдером сначала заблокированы для использования, а затем выставлены для «свободного приобретения» всеми желающими. При этом такие адреса могли купить и злоумышленники, а затем разместить по ним на интернет-страницах произвольную информацию (процессы такого размещения хостинг-провайдерами обычно не модерируются). В случае правомерного приобретения злоумышленником доменного имени на очередной срок «вернуть» его первоначальному владельцу на основании судебного решения крайне сложно (даже в доменных зонах «rf», «ru», «su», не говоря уже о других зонах).

Есть также вариант «переуступки» доменного имени от злоумышленника первоначальному владельцу за определенную сумму, которая может быть очень значительной. Отметим, что для доменных имен, которые могут быть использованы в QR-кодах, явление киберсквоттинга (захвата доменных имен, которые в будущем могут быть потенциально востребованы, с целью их последующей перепродажи) в общем-то не характерно.

3. Был взломан сайт, на страницу которого вела ссылка с QR-кодом. В этом случае доступ можно восстановить через владельца хоста, который также заинтересован в устранении последствий нарушения работоспособности сайта.

Поскольку в рассматриваемом выше случае таблички с QR-кодами пришлось менять, то наиболее вероятным вариантом приходится считать № 2. Использование в сообщениях СМИ термина «хакерская атака» в данном случае неправильно – этот термин может относиться только к варианту № 3.

Для обеспечения обнаружения QR-кода на изображении в его структуре предусмотрены три метки – FP (Finder Pattern). Эти метки (рис. 1) представляют собой объекты, состоящие из 3-х вложенных друг в друга квадратов разного (контрастного) цвета, один из которых обычно белый. Соотношение размеров вложенных в FP квадратов всегда одинаковое и равно 3:5:7 (рис. 2).

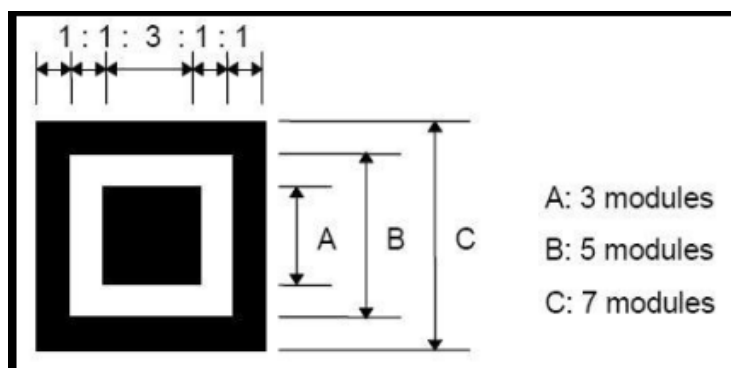


Рисунок 2 – Соотношение размеров квадратов в FP (источник: <https://docplayer.ru/27290470-Algorithm-detektirovaniya-qr-koda-na-video-potoke-s-aprobaciey-na-robote-trik.html>)

При этом для FP и ЭКЭ ДГК, несущих полезную информацию, предполагается достаточно высокий контраст между черными (или цветными) и белыми элементами. Приведем еще два ДГК (рис. 3).



Рисунок 3 – Сравнение ДГК с разными количествами модулей (источник: <https://www.the-qr-code-generator.com/>)

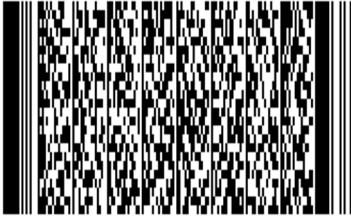
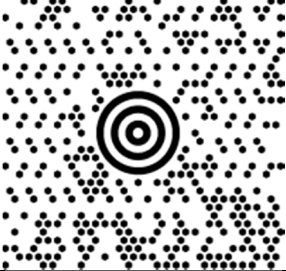
На ДГК, расположенном справа, имеются т.н. Alignment Patterns – шаблоны выравнивания. Они есть в версии QR Code 2 и выше (версия 2 соответствует размеру 25×25 модулей и более). Кроме того, на правом рисунке есть дополнительный маленький квадрат (в правом нижнем углу), обеспечивающий «шаблон поиска» при наличии искажений изображения.

В типичных случаях геометрические размеры «ДГК в целом» при увеличении количества модулей сохраняются, но растет плотность расположения модулей. Однако поскольку «шаблоны поиска» не должны накладываться на остальные элементы, то в некоторых случаях может выделяться «дополнительное» пространство за счет увеличения физических размеров ДГК.

Другие версии (варианты) черно-белых ДГК представлены в таблице 1.

Таким образом, наибольший объем хранимых данных (ИНЕ) имеют QR-код и DataMatrix. При этом QR-код имеет минимальный допустимый геометрический размер и наиболее широко применяется на практике. Преимущество использования кода в стандарте DataMatrix – он может быть считан и декодирован при наличии до 60 % повреждений на изображении [22]. В то же время для QR-кода допустимый процент повреждений составляет лишь до 30 % от общей площади. Возможности правильного декодирования таких кодов обеспечиваются их «информационной избыточностью».

Таблица 1 – Черно-белые ДГК, не содержащие дополнительных графических объектов

Название ДГК	Пример внешнего вида ДГК	Размер ДГК*	Информационная емкость (байт)
QR-код с элементами, имеющими скругленные углы [15]		Min 5 × 5 Max 40 × 40	15 min 2953 max
QR-код с нестандартной ориентацией [15]		Min 5 × 5 Max 40 × 40	2953
PDF417 Разработан компанией Symbol Technologies в 1991 г. [2, 12]		Кол-во строк 3...90 Кол-во столбцов 1...30 Ширина в модулях 90...583	2710
MaxiCode Разработан фирмой UPS в 1992 г. [3, 21]		Min 33 × 884	256
Data Matrix Разработан компанией RVSI/Asuity CiMatrix (ныне часть концерна Siemens AG), версия 1.0 датирована 2008 г. [4, 17, 19]		Min 10 × 10 Max 144 × 144	3116
Aztec Code Разработан в 1995 г. доктором Andrew Longacre, Jr., исследователем из фирмы Welch Allyn Inc. (позже Hand Held Products Inc., сейчас Honeywell Imaging and Mobility) [10, 24]		Min 15 × 15 Max 151 × 151	3832

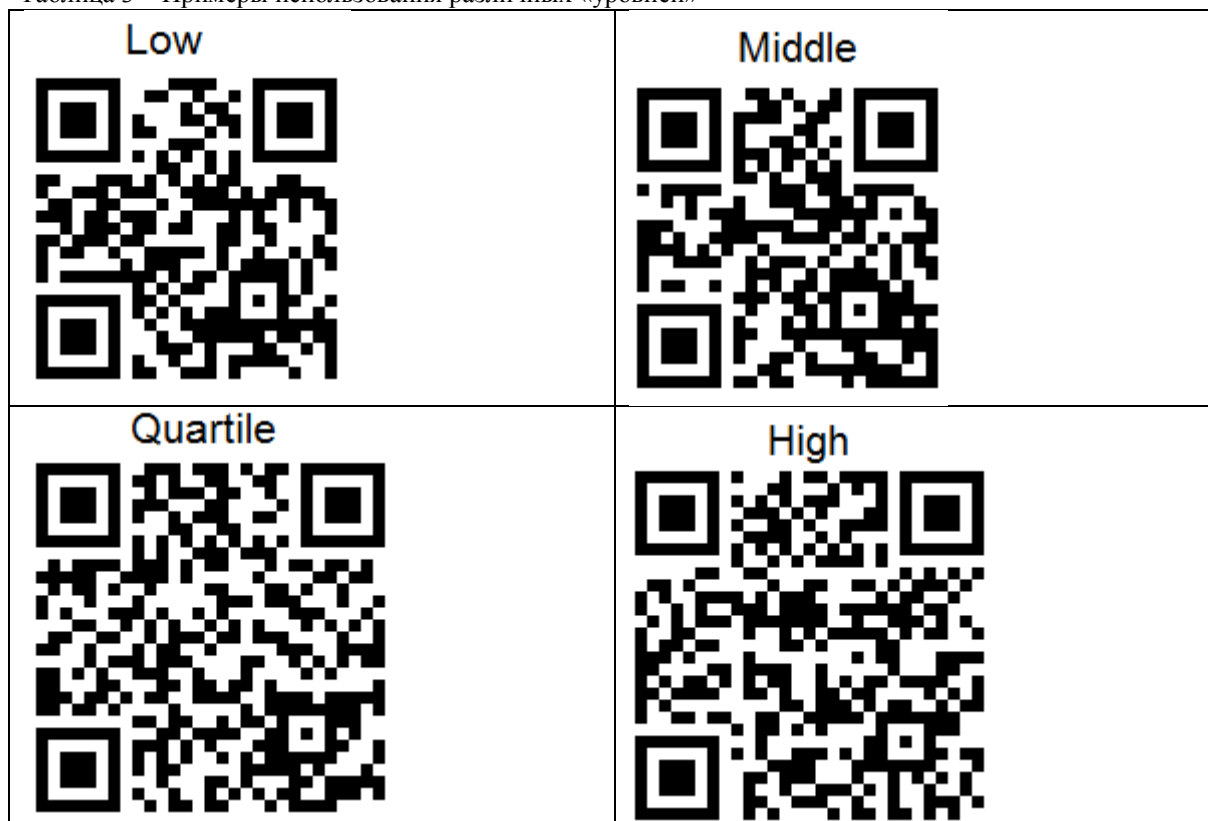
Примечание.* – измеренный в количествах ЭКЭ по каждой из двух ортогональных осей.

Кодовые слова, которые и составляют QR-код, имеют длину 8 битов и используют алгоритм исправления ошибок Рида – Соломона с четырьмя уровнями исправления ошибок [31]. Чем выше уровень исправления ошибок, тем меньше информационная емкость ДГК. В таблице 2 перечислены приблизительные возможности исправления ошибок на каждом из четырех уровней такого исправления [18], а в таблице 3 – приведены примеры кодирования с использованием различных «уровней».

Таблица 2 – Проценты кодовых слов, которые могут быть восстановлены для разных уровней

Обозначение	Процент кодовых слов, которые могут быть восстановлены
L (Low)	7
M (Medium)	15
Q (Quartile)	25
H (High)	30

Таблица 3 – Примеры использования различных «уровней»



Источник изображений: <http://datagenetics.com/blog/november12013/index.html>

При кодировании могут применяться также различные маски, причем их спецификации сохраняются в информации о формате (рис. 4).

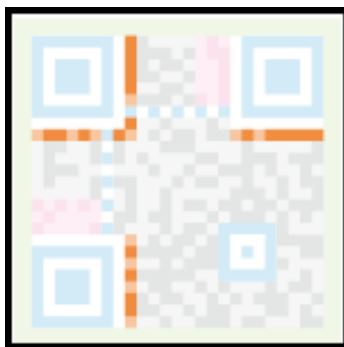


Рисунок 4 – Пример использования указателя формата данных (источник изображения: <https://docplayer.ru/27290470-Algorithm-detektirovaniya-qr-koda-na-video-potoke-s-aprobaciey-na-robote-trik.html>)

Обычно выбирается маска, которая минимизирует количество больших блоков одного цвета (считается, что такие блоки могут вызвать определенные сложности при чтении ДГК). Иными словами, за счет использования масок добиваются, чтобы в QR-кодах было минимальное количество ЭКЭ-соседей одного цвета. Маска применяется с помощью функции XOR и может быть удалена при повторном применении той же логической операции. В стандарте QR-кода предусматривается возможность применения нескольких типов масок, представленных на рисунке 5 [26].

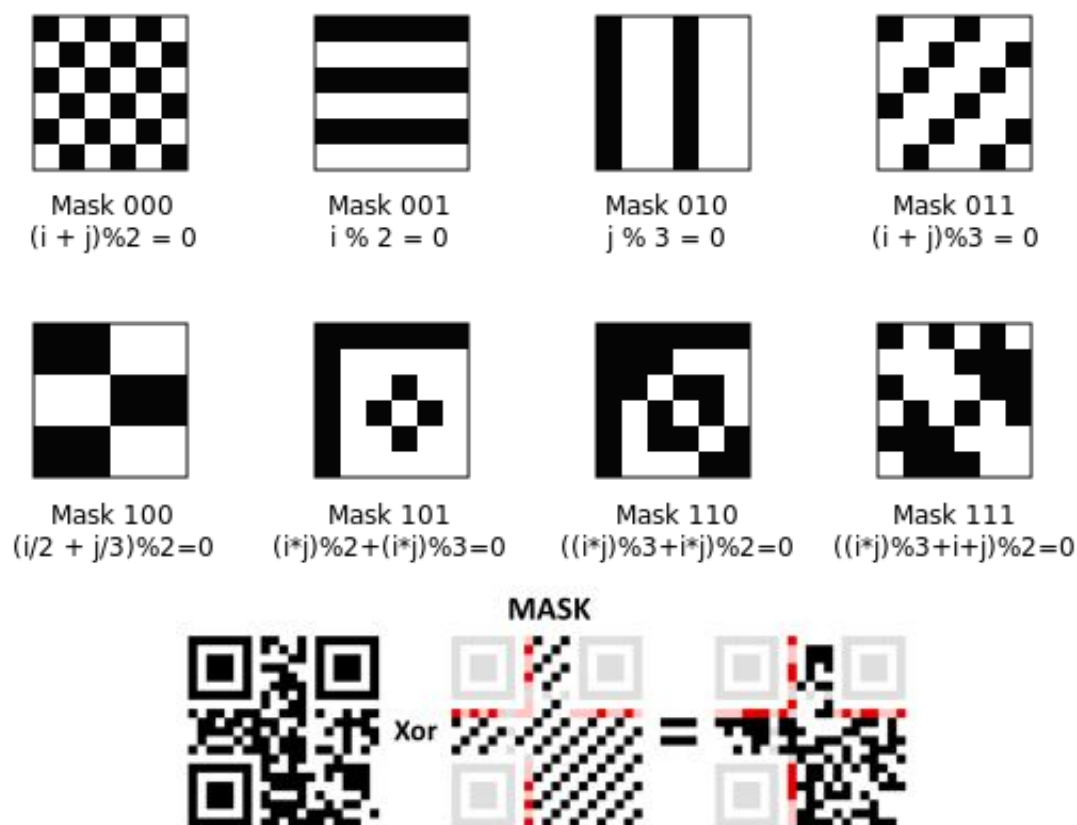


Рисунок 5 – Номенклатура масок, которые могут использоваться при формировании QR-кода (по [26])

Повторим, что в QR-кодах «дополнительный блок выравнивания появляется в правом нижнем углу (в больших по размеру кодах несколько блоков выравнивания появляются в сетке). Эти блоки выравнивания помогают справиться с перекосом. Также используются «две зубчатые рейки в перпендикулярных направлениях, состоящие из чередующихся элементов». Эти элементы предназначены для «борьбы» с искажениями изображений QR-кодов, которые потенциально возможны при различных операциях с ними (табл. 4) [28], а также размещении QR-кодов на «неровных поверхностях».

Таблица 4 – Примеры «искажений» QR-кодов

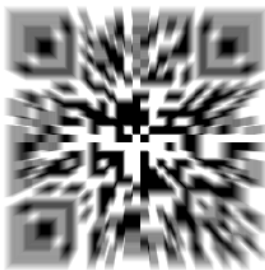
1. Поворот	2. Уменьшение контраста	3. Потеря части изображения кода	4. Появление дополнительных цветных точек

Продолжение таблицы 4			
5. Перекос	6. Размытие изображения (по Гауссу)	7. Наложение шума	8. Цветной шум
			
9. Небольшое вихревое искажение в центре	10. Искажение в результате передачи через факс-аппарат	11. Отсутствие «тихой зоны»*	
			

Примечание: * «Тихая зона» представляет из себя белое поле вокруг ДГК и используется для «изоляции» кода от другой размещенной информации (обычно ширина такой зоны составляет 4 модуля).

В некоторых случаях считанное изображение ДГК не может быть декодировано (по крайней мере – без использования специальной предварительной программной обработки). Примеры таких случаев представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Примеры искажений QR-кодов, которые не позволяют распознать информацию стандартными программными средствами (источник изображений – [28])

1. Сильное вихревое искажение	2. Изображение по типу астигматизма (например, при получении с малого расстояния)	3. Размытие изображения
		
4. Съемка QR-кода была проведена «под углом»	5. Отсутствует один или более FP	6. Низкий уровень контрастности
		

Отметим, что умышленное искажение QR-кода может применяться как некоторое средство защиты от его несанкционированного считывания. В этих случаях внесенное искажение на изображении QR-кода должно быть предварительно устранено с использованием специальной программы.

При этом существенно, что алгоритмы внесения искажений и их устранения могут быть разными. Кроме того, буквенно-цифровой шифр алгоритма внесения искажений может быть в той или

иной форме представлен около QR-кода. При отсутствии у пользователя готовой базы алгоритмов, соответствующих шифрам устраняемых искажений, оперативно восстановить QR-код путем подбора «метода восстановления», может быть достаточно сложно.

Однако, например, необходимое изменение контраста ЭКЭ (соответствует пункту 2 в таблице 4 и пункту 6 в таблице 5) может быть реализовано с использованием большинства программ работы с растровой графикой.

Отметим еще возможность использования различных оптических плотностей черных ЭКЭ для стеганографического скрывания информации в случае больших размеров QR-кодов. При этом скрытая информация будет содержаться лишь в небольшом количестве ЭКЭ (с измененной оптической плотностью), места расположения которых и порядок считывания представляют собой «ключ шифра». В то же время вариации оптической плотности других черных ЭКЭ используются только для маскировки скрываемой информации. Обычные программы работы с QR-кодами будут воспринимать такие различия оптической плотности черных ЭКЭ просто как помехи и будут их «игнорировать» (при не слишком больших отличиях в оптических плотностях). При этом гиперссылки с QR-кодов могут вести на реальные страницы сайтов, содержащие информацию «нейтрального характера». В то же время специальная обработка считанных QR-кодов (с учетом различий в оптической плотности «черных» ЭКЭ) позволит выявить в них скрытую информацию. Представляется, что на практике такой метод скрывания информации может быть полезен главным образом в случае QR-кодов, размещенных на изображениях, представленных в электронной форме.

Черно-белые QR-коды, содержащие дополнительные графические элементы. Информационная избыточность QR-кодов позволяет разместить непосредственно на поле изображения рисунки, логотипы, надписи, эмблемы и пр. Они могут нести информационную нагрузку (например, представлять собой «зарегистрированную торговую марку»); вводиться специально для «привлечения внимания»; использоваться в «эстетических целях» (например, для улучшения зрительного восприятия QR-кода, размещенного на изделии или вблизи архитектурного объекта). При этом описываемые изображения могут занимать до 30 % площади QR-кода, но при выполнении некоторых дополнительных ограничений.

Таблица 6 – Примеры черно-белых QR-кодов с ЭКЭ, несущих на себе дополнительные графические объекты



Примеры изображений взяты из <http://datagenetics.com/blog/november12013/index.html>

Цветные бихроматические ДГК. Они используются главным образом для обеспечения цветовой совместимости QR-кода с теми объектами, на которых они размещены. При этом вместо черных ЭКЭ используются цветные, а белые ЭКЭ сохраняются. Информационная емкость цветных бихроматических ДГК остается той же, что и для черно-белых ДГК с равным количеством ЭКЭ. Примеры цветных бихроматических ДГК (в сравнении с черно-белым) приведены на рисунке 6.

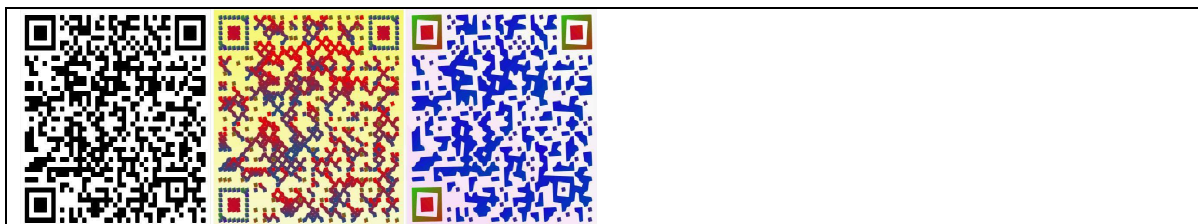


Рисунок 6 – Примеры цветных бихроматических ДГК (взяты с сайта <https://qrcode.website>)

Специфическим вариантом искажений таких ДГК может являться изменение цветности используемых ЭКЭ. Если оно небольшое, то при считывании ДГК такие «помехи» автоматически устраняются.

Формирование бихроматических ДГК. В общем случае формирование бихроматических ДГК может осуществляться с использованием следующих типов программных средств.

А. On-line ресурсы в интернете, находящиеся в бесплатном (типичный случай) или платном (значительно более редкий вариант) доступе. При этом пользователь может задать ряд параметров ДГК в процессе его генерации. С позиций информационной безопасности [27] этот вариант имеет следующие недостатки. В базе данных того сервера, на котором осуществляется генерация, могут сохраняться сведения о сгенерированных QR-кодах и включенной в них информации; об IP-адресах, с которых выполнялись запросы на генерацию; возможно – сведения об адресах электронной почты, на которые должны быть направлены сгенерированные коды. При этом только часть сайтов с программами-генераторами QR-кодов расположена в доменной зоне «ru».

Сама по себе информация о номенклатуре объектов, для которых осуществляется получение QR-кодов, может представлять определенный интерес для анализа деятельности организаций, их активности в отношении использования интернет-пространства для размещения информации об объектах (а также о тех объектах деятельности организации, в отношении которых размещение информации пока не предполагается).

На основании сведений об интернет-страничках, которые заложены в QR-коды, может быть осуществлена проверка наличия соответствующих интернет-страниц. Если они являются недоступными, то в принципе может быть осуществлен их киберсквоттинг для последующей перепродажи. Кроме того, в дальнейшем потенциально может осуществляться автоматизированный мониторинг «выставления таких адресов на продажу» в случае нарушений сроков оплаты хост-провайдеру.

Б. Использование программных средств, которые установлены на ПЭВМ пользователя и не передают информацию в интернет. С точки зрения информационной безопасности этот вариант лучше, чем «А» – если в указанные программы не включена опция, предусматривающая возможности передачи некоторых сведений в интернет. Указанные программные средства могут представлять собой либо программы комплексного характера (в которых генерация ДГК является лишь одной из функциональных возможностей), либо специализированные разработки, предназначенные только для формирования ДГК.

В. Использование самостоятельно созданных программ, которые генерируют ДГК с заданными параметрами. Этот вариант также вполне реализуем, и с точки зрения информационной безопасности [27] его следует считать предпочтительным.

В таблице 7 приводятся сведения о функциональных возможностях некоторых генераторов ДГК, доступных в интернете для бесплатного использования в режиме on-line.

Таблица 7 – Генераторы ДГК, доступные в интернете

Сайт	Обычный QR code	QR code со скругленными краями	PDF-417	Maxi Code	Data Matrix	Aztec
https://www.terryburton.co.uk/barcodewriter/generator/	+	–	+	+	+	+
http://qrcoder.ru/	+	–	–	–	–	–
https://qrcode.website/	+	+	–	–	–	–
https://businesscards.tec-it.com/en	+	–	–	–	–	–

Все приведенные в таблице 7 сервисы являются бесплатными и не требуют какой-либо регистрации на сайтах разработчиков. При этом непосредственно по сгенерированным кодам в дальнейшем нельзя определить, с использованием какого именно ресурса он был создан.

В таблице 8 приведены сведения об устанавливаемых программных средствах, предназначенных для генерации ДГК.

Таблица 8 – Типы генераторов ДГК, включенных в устанавливаемые программные средства (символ «+» означает наличие соответствующего генератора, а «-» – отсутствие).

Программное средство	Обычный QR code	QR code со скругленными краями	PDF-417	Maxi Code	Data Matrix	Aztec	Операционная система на ПЭВМ	Бесплатное средство
PyQRCode (https://pypi.org/project/PyQRCode/)	+	-	-	-	-	-	Любая, но с установленным программным средством Python	+
QR-Code Studio (https://www.tec-it.com/ru/download/free-software/qr-code-studio/Download.aspx)	+	+	+	+	+	+	Microsoft Windows, Mac OS X	+
Labeljoy (https://www.labeljoy.com/ru/)	+	-	-	-	-	-	Microsoft Windows	+
CorelDraw (https://www.coreldraw.com/ru/)	+	-	-	-	-	-	Microsoft Windows	-

Отметим также еще ряд генераторов ДГК.

1. Qrcoder.ru (<http://qrcoder.ru>) – это программное средство, позволяющее закодировать в черно-белом варианте: текст, ссылку на сайт, визитную карточку, sms-сообщение, а также подобрать необходимый размер QR-кода.

2. Creambee.ru (<http://creambee.ru/>) позволяет кодировать следующее: простой текст, контакт vCard, звонок на номер SMS, на номер для перехода на сайт, для отправки информации по e-mail, для отправки сообщения в твиттер, «поделиться» в фейсбук. Дает возможность изменить размер ДГК, оформить его в «цветном варианте», добавить в ДГК собственный логотип и фон. Есть также возможность использования функции рандом «Мне повезет!».

3. Qrmania.ru (<https://qrmania.ru/>) позволяет делать следующее: изменять цвет и скругление углов в ЭКЭ; кодировать текст, ссылки на сайты, телефоны, SMS-сообщения, e-mail адреса, e-mail сообщения, визитные карточки, отправки сообщения в Twitter, координаты Google Maps.

4. Qrcc.ru (<http://qrcc.ru/>) позволяет изменять цвет ДГК, его размер (в том числе генерировать «микро QR-код»), добавлять иконки и текст внутрь кода. Позволяет кодировать следующие типы контента: визитка (VCARD), адрес сайта (в виде URL), произвольный текст, телефонный номер, SMS-сообщение, координаты Google Maps, e-mail адрес, e-mail сообщение, запланированное событие (VCALENDAR), Wi-Fi. Возможные типы генерируемых ДГК: QR-code, DataMatrix, Micro QR.

5. Zxing.appspot.com (<http://zxing.appspot.com/>) обеспечивает возможности кодирования в черно-белом варианте следующих объектов: календарь событий, контактную информацию, адрес электронной почты, географическое положение, номер телефона, SMS, простой текст, адрес URL, информацию о Wi-Fi сети.

6. Qrcode.kaywa.com (<https://qrcode.kaywa.com/>) обеспечивает следующую функциональность: возможность создания черно-белых статических и динамических (только на платной основе) кодов. Позволяет шифровать следующее: URL, Facebook, Coupon, контакт. Для динамического QR-кода можно менять его тип и содержание (это полезно, если впоследствии нужно менять содержание кода).

Отметим также дополнительные возможности, которые встречаются в некоторых генераторах ДГК: ссылка на YouTube; поиск на Android Market; уровень коррекции ошибок; расширение выходного файла; текст рядом с кодом.

Приведенный перечень из шести дополнительных генераторов ДГК не является, конечно, исчерпывающим.

С позиций информационной безопасности существенно, что генераторы QR-кодов не взаимодействуют автоматически с программными средствами, содержащими пополняемые базы данных адресов тех сайтов, на которых находится вредоносный или небезопасный контент. Это позволяет злоумышленникам генерировать ДГК с такими адресами сайтов и использовать их в дальнейшем.

Массовое не санкционированное владельцами сайтов распространение объектов с ДГК, указывающими на сайты, не предназначенные для обслуживания таких запросов, может провоцировать появление «сверхнормативной» нагрузки на них. Как следствие, будет происходить замедление доступа к сайтам. С серьезными оговорками этот вариант можно считать разновидностью DDOS-атаки, растянутой по времени. При этом поскольку запросы будут приходить с разных IP-адресов, то для них нельзя будет осуществить автоматическую блокировку доступа по результатам анализа «журналов» (логов). Также одним из авторов настоящей статьи был разработан собственный генератор/декодер QR-кодов. Он был написан на языке Python и использует следующие библиотеки: tkinter, PIL, pyqrcode, os, pyzbar. Общий объем выполненной разработки – 174 строки кода (за счет использования перечисленных библиотек). Основные возможности: наглядное изменение размеров формируемого ДГК с просмотром того, что было сгенерировано в реальном времени; отправки сгенерированных ДГК на печать; поддерживаются все 40 версий QR кода (с увеличением габаритов QR кода увеличивается его версия, данный функционал реализован библиотекой pyqrcode) и коррекции для всех четырех уровней ошибок L, M, Q, H. Обеспечивается поддержка работы с форматом JSON. Описываемое программное средство совместимо со следующими версиями операционных систем: Linux дистрибутивы с DE; Windows XP и выше, Mac Os. Отметим, что использование «внешних библиотек» в общем случае может снижать уровень информационной безопасности, так как модули, содержащиеся в этих библиотеках, потенциально могут содержать и некоторые «недокументированные возможности».

На рисунке 7 приведены интерфейсы выполненной разработки, которая предназначена для создания и распознавания ДГК, наносимых на разногабаритные грузы или на их упаковки.

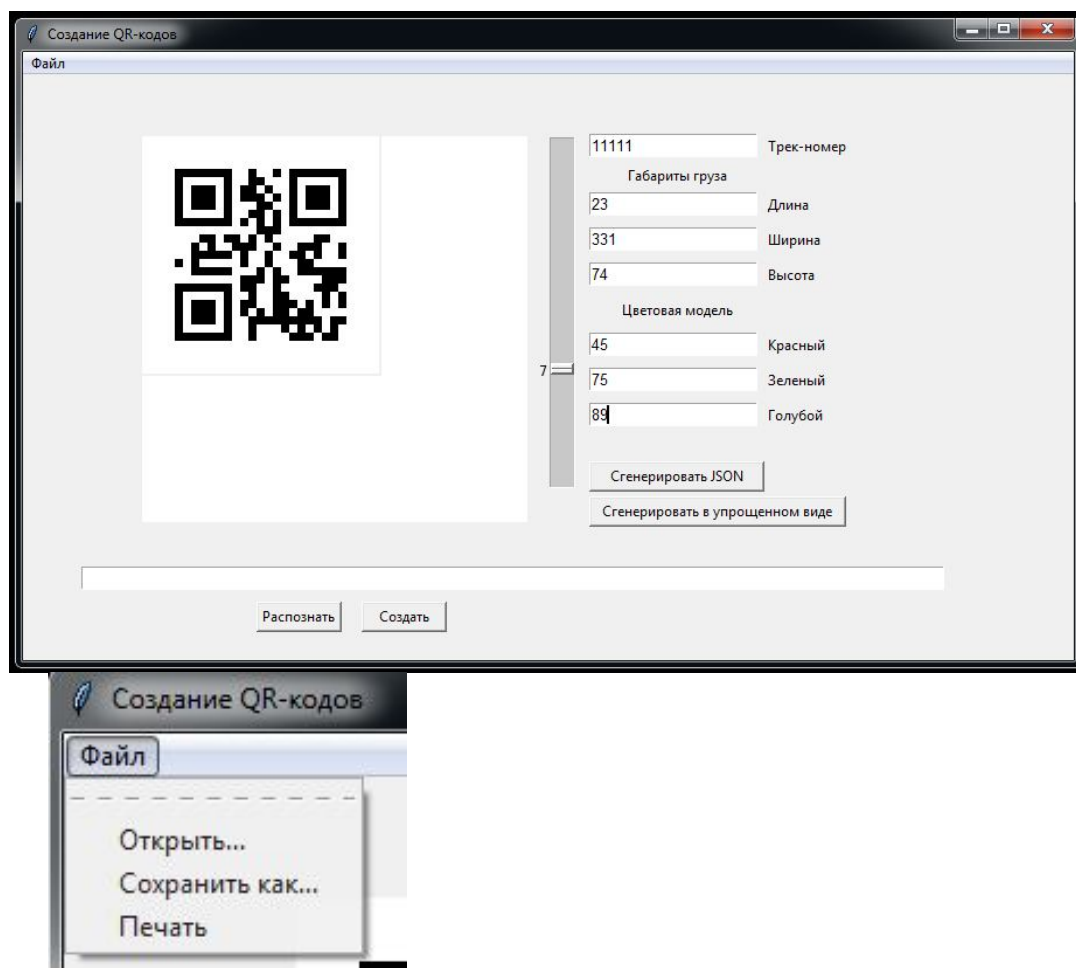


Рисунок 7 – Интерфейсы разработанной программной системы генерации ДГК

Технологии нанесения двумерных бихроматических ДГК на объекты. Такое нанесение может осуществляться с использованием тех же технологий, что и для штрих-кодов, рассмотренных в предыдущей статье [1]. При этом в типичных случаях предполагается считывание ДГК в условиях естественного или искусственного внешнего освещения. Варианты считывания с использованием кратковременной подсветки со смартфона (аналогично тому, что используется в режиме фотокамеры) по-

тенциально возможны, но пока практически не используются. Представляется перспективным (но также пока не используется) вариант ДГК со светоотражающими красками, в которых применяются микроскопические стеклянные шарики. Такие краски широко используются, в частности, для знаков управления движением на автомобильных дорогах.

Вариант со считыванием ДГК, которые светятся под действием ультрафиолетового излучения, в принципе также возможен. Он может применяться для «скрытия мест расположения ДГК» – иногда это может быть полезным для решения задач информационной безопасности. Однако такой вариант требует специальной подсветки, которая в смартфонах не обеспечивается.

Еще одной интересной возможностью (с точки зрения решения задач скрытия мест расположения кодов) является использование «подогреваемых» ДГК – при этом белым ЭКЭ должны соответствовать теплоизолированные участки. Такое техническое решение связано с тем, что в большинстве смартфонов и планшетов применяются кремниевые ПЗС-матрицы. Они чувствительны не только к видимому излучению, но и тепловому, которое зрительно не воспринимается. Однако представляется, что постоянный подогрев ДГК будет энергетически не эффективен. Поэтому его целесообразно осуществлять только по некоторым «запросам» по объектам с ДГК, в том числе, возможно, направляемых со смартфонов.

Обработка считанных бихроматических ДГК и связанные с этим вопросы информационной безопасности. Основные варианты угроз информационной безопасности, связанные со считыванием ДГК с помощью смартфонов, уже частично были рассмотрены ранее:

1. ДГК указывает на интернет-страницу, на которой размещена не та информация, для восприятия которой код был первоначально создан.

2. ДГК указывает на уже не существующую или временно недоступную страницу – например, из-за неработоспособности сервера, на котором размещен соответствующий интернет-ресурс;

3. ДГК указывает на такую интернет-страницу, при переходе на которую «срабатывает» вредоносная программа, способная нанести вред смартфону пользователя.

В силу информационной избыточности двумерных кодов в них могут быть «вставлены» некоторые контрольные суммы. Использование таких сумм в принципе позволяет проверить, что код не был преднамеренно изменен (скорректирован) злоумышленниками.

4. Из-за наличия повреждений на самом ДГК или размещения его на неровном объекте считывание осуществляется с дефектами, которые не дают возможность распознать код. Такие повреждения могут быть связаны, в частности, с выцветанием под действием видимого излучения красок, которыми нанесены ДГК; высокой температуры воздуха и пр.

5. В связи с этим отметим, что воздействие интенсивным ультрафиолетовым излучением или химическим реагентом (например, в виде водного раствора), на ДГК, нанесенный с помощью красителя, может использоваться как средство преднамеренного «уничтожения» кода. Еще один возможный способ уничтожения – термическое воздействие на краситель. Уничтожение может быть иногда важно с позиций информационной безопасности (для скрытия сведений, не предназначенных для последующего длительного использования).

6. Преднамеренные повреждения ДГК, расположенных на памятниках архитектуры или вблизи них. Как ясно из приведенной выше информации, для «выведения из строя ДГК» достаточно уничтожить (или повредить) хотя бы одну из трех меток ФР. При этом без предварительной «ручной» обработки изображения ДГК (которую на смартфоне произвести технически весьма сложно) использовать такие ДГК уже не удастся.

7. Наклейка на существующие ДГК непрозрачных пленок с «поддельными» ДГК, ведущими на другие сайты. Альтернатива – несанкционированное размещение посторонних ДГК на архитектурных объектах или вблизи них.

8. Размещение на различных объектах вне помещений или на рекламных листовках ДГК, указывающих на сайты с вредоносными программами, резко снижает возможности использования таких кодов в рекламных целях (в сочетании с надписями типа «Хочешь узнать о нас больше, наведи смартфон и нажми...»).

9. Отметим, что юридические или физические лица, правомерно разместившие ДГК на различных объектах (или вблизи них), как правило не получают сведений об интенсивностях обращений к страницам сайтов, на которых размещена информация, соответствующая ДГК. Это не дает им возможность оценить различия в степени востребованности отдельных ДГК. Однако в принципе получить такие сведения с помощью счетчиков сайтов вполне возможно.

С другой стороны, индивидуальный учет обращений к страницам сайтов «через ДГК» при отсутствии «скрытия» информации об устройствах, с которых осуществляется доступ, потенциально может приводить к «несанкционированным утечкам» информации о физических лицах: их пространственных перемещениях в черте населенных пунктов и вне их (например, исходя из «точек» расположения ДГК, соответствующих зданиям); о «профилях интересов» физических лиц к объектам различных типов (включая раздаточные рекламные материалы на бумаге и иных носителях) и пр.

Традиционные и некоторые перспективные направления применения двумерных бихроматических графических кодов. Возможны различные варианты использования QR-кодов [20]. При этом, как уже говорилось ранее, наиболее типичное направление применения ДГК – это перенаправление пользователя на интернет-страницу, на которой размещена дополнительная информация об объекте. При этом необходимо различать следующие варианты.

А. Воспроизведение визуальной информации для лиц, обладающих характеристиками зрения, достаточными для использования смартфонов. При этом лицами со слабым зрением могут использоваться смартфоны с большими экранами или компьютерные планшеты – для получения изображений большого размера.

Б. Воспроизведение звуковой информации для слабовидящих лиц – им предпочтительно ее прослушивать. Альтернатива – воспроизведение информации на экране смартфона очень крупным шрифтом в виде бегущей строки.

Ниже мы ориентируемся в основном на вариант «А». Итак, переходим к рассмотрению некоторых направлений использования ДГК, часть из которых уже была упомянута выше.

1. Применение ДГК на кассовых чеках, в том числе в сочетании со штрих-кодами.

2. Нанесение ДГК непосредственно на продаваемые товары, в том числе и в виде наклеек, которые впоследствии могут быть при необходимости удалены.

3. Использование ДГК на некоторых «раздаточных» информационных или рекламных материалах. Это позволяет минимизировать размеры таких материалов и снизить стоимость их изготовления – в том числе за счет того, что цветные графические объекты «переносятся» на интернет-сайты.

4. Использование ДГК на визитных карточках – для получения на интернет-сайтах дополнительной информации о владельцах таких карточек. При этом могут использоваться, например, личные интернет-странички владельцев указанных карточек; странички, на которых размещена информация о группе физических лиц, к которой принадлежит владелец карточки и пр.

5. Размещение ДГК на специальных карточках (и иных объектах), предназначенных для обеспечения прямого доступа на страницы сайтов (не обязательно стартовые) или в информационные системы. Преимущество такого решения – если надо обеспечить вход не на стартовую страницу сайта, то ввод длинной адресной строки может сопровождаться ошибками. В принципе в ДГК может быть включена дополнительная информация, обеспечивающая возможности управления режимами работы браузера. При этом для лиц, имеющих разные ДГК, относящиеся к одному и тому же сайту, можно обеспечить разные «точки входа». В качестве меры информационной безопасности может быть реализована и проверка того, что вход осуществляется именно с того смартфона, которому соответствует считанный ДГК. Отметим, что для идентификации смартфона в принципе может быть использована не только SIM-карта (которую можно переставлять с одного устройства на другое), но и IMEI-код устройства.

6. Для обеспечения доступа физических лиц в помещения с контролируемым доступом может быть использован подход, основанный на считывании ДГК с карточки и отправке кода подтверждения на смартфон. При этом предполагается, что код подтверждения будет вводиться с некоторой «цифровой клавиатуры», размещенной при входе в помещение. Для каждого случая входа генерируемые коды подтверждения будут разные.

7. Использование ДГК в сочетании со смартфоном позволяет также «задействовать» возможности передачи через камеру устройства изображения пользователя для целей его идентификации путем сравнения в базе данных изображений. Преимущество по сравнению с «обычным» использованием такой базы состоит в том, что сравнение осуществляется не по всему набору изображений в базе, а только с вполне определенным изображением, шифр которого включен в QR-код.

Еще одним направлением является идентификация пользователя на основе предъявленного им ДГК + результата сканирования отпечатка пальца (такие возможности есть у многих смартфонов [6]). При этом также сканированное изображение подушечки пальца сравнивается с вполне конкретным отпечатком в базе таких отпечатков. Отметим, что в современных смартфонах есть возможности не только Touch ID, но и Face ID.

8. Помимо размещения ДГК на уже эксплуатируемых зданиях, сооружениях (а также вблизи них) эти коды могут размещаться и на ограждениях строящихся сооружений. Указанное направление связано с тем, что застройщик обязан представлять для публичного доступа информацию о строящемся объекте, а делать это с помощью щитов может быть не всегда удобно. Например, надписи и изображения на таких щитах могут повреждаться солнечным освещением, в результате ветровых воздействий, вандальных воздействий и пр.

9. В системах материального учета ДГК могут быть использованы как некоторая альтернатива линейным штрих-кодам [1], так как двумерные коды могут нести больше информации. Это касается как складского учета временно размещенных товаров и иных объектов, так и контроля оборудования, эксплуатируемого в организациях (например, дорогостоящего компьютерного оборудования).

10. ДГК могут также использоваться в рамках учебного процесса и использования различных технологий контроля знаний. В частности, это касается «шифрования» авторов письменных контрольных работ, ЕГЭ и пр. (при условии, что проверяющие не могут пользоваться смартфонами при работе с такими письменными материалами).

11. В сфере образования (в том числе в школах) ДГК могут использоваться в различных целях: а) в QR-коды можно помещать ссылки на ресурсы (включая мультимедийные), которые помогают решить конкретную учебную задачу. С этой целью такие коды можно распечатать, вклеить в рабочие тетради и/или блокноты обучающихся; б) при организации проектной деятельности с помощью QR-кодов можно представлять коллекции ссылок на информационные блоки, комментарии, дополнительные материалы по учебным курсам; в) QR-коды, содержащие ссылки на интернет-ресурсы, можно размещать на информационных стендах учебных кабинетов и лабораторий в качестве средства доступа к видео или мультимедиа комментариев к учебному материалу; г) в форме QR-кодов может быть представлен контрольно-тестовый материал для учебных занятий, выполненный в виде карточек с различными вариантами заданий. Для этой цели может быть использован, например, сервис Online Test Pad (<https://onlinetestpad.com/>). Он содержит онлайн-тесты, опросы, кроссворды; д) во время учебных занятий можно проводить онлайн-опросы учащихся с использованием мобильных устройств, не прибегая к помощи систем голосования. Для этого можно воспользоваться сетевым сервисом Mentimeter (<https://www.mentimeter.com>). Для этого нужно показать QR-код опроса (рис. 8) на экране. Затем учащиеся должны быстро ответить на предложенный вопрос (высказать своё мнение). Начало работы с этим сервисом не предполагает обязательной регистрации. Данный сервис имеет функцию автоматического построения диаграммы предпочтений (см. рис. 9). Он также поддерживает экспорт результатов опроса в формат Excel (прямая ссылка на результаты опроса: https://www.mentimeter.com/s/60a545e6087c7094e375fbd0c7d02911/18cda518_463f); е) контрольно-тестовый материал для учебных занятий, выполненный в виде карточек с различными вариантами заданий, также может быть представлен в форме QR-кодов. Для этих целей существует специальный сетевой сервис ClassTools.net (<http://www classtools.net/QR>). Пример использования нескольких заданий для опроса представлен на рисунке (см. рис. 10); ё) одним из способов индивидуализации обучения может быть выдача школьникам домашних заданий, зашифрованных с помощью QR-кодов – это уменьшит вероятность списывания и повысит интерес обучающихся; ж) заинтересовать [7] и привлечь внимание обучающихся можно при проведении различных игр и иных мероприятий (в том числе внеклассных), когда на одном из этапов задание будет предложено в виде QR-кода, считав который можно будет выполнить задание.



Рисунок 8 – QR-код, предназначенный для организации быстрого опроса

Как часто вы сканируете QR-код?

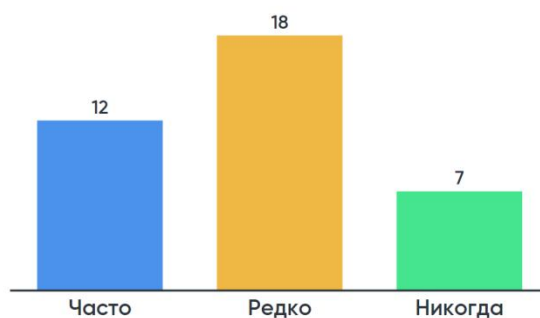


Рисунок 9 – Пример построенной диаграммы предпочтений



Рисунок 10 – Задания для опроса, созданные в сервисе ClassTools.net

12. Также ДГК могут быть применены для нанесения машинно-считываемых кодов на документы, используемые в крупных организациях (как некоторая альтернатива нанесению на эти документы «регистрационных кодов»).

13. В сфере здравоохранения ДГК могут быть использованы для «кодирования» информации о пробах биопрепаратов, рентгеновских снимках и пр. Например, для биопрепарата на странице интернет-сайта, соответствующего ДГК (с достаточно длинным адресом), может воспроизводиться следующее: шифр пациента (для повышения уровня информационной безопасности для одного пациента может использоваться несколько шифров); место (орган), из которого взята проба; дата взятия пробы; цветное увеличенное изображение препарата, полученное при его наблюдении через микроскоп – возможно в сочетании с некоторыми дополнительными комментариями специалиста. В принципе на интернет-страничке может быть размещено и несколько таких изображений – с различных участков препарата (или видов органа с разных ракурсов). Вопросы «связывания» таких изображений с конкретными пациентами с учетом требований информационной безопасности персональных данных (например, в рамках использования технологий типа «блокчейн») нуждаются в отдельном рассмотрении.

Кроме того, ДГК могут быть использованы и для кодирования результатов биометрического анализа пациентов [11].

14. Бихроматические ДГК, включая (или их «аналоги» не содержащие FP), могут применяться также для тестирования оперативной памяти испытуемых лиц (см. далее).

Некоторые другие специальные типы ДГК.

1. Черно-белые ДГК с дополнительной голограммой (пример показан на рисунке 11). Они сложнее и дороже в изготовлении, зато их трудно подделывать [16].



Рисунок 11 – QR-код с голографическим объектом (<https://www.denso-wave.com/en/system/qr/product/frame.html>)

2. Полихроматические ДГК – сейчас они широко не используются. Основные причины: информационная емкость бихроматических ДГК для большинства традиционных направлений их применения достаточна; значительные объемы капиталовложений, произведенных потребителями, в средства генерации и считывания традиционных ДГК и линейных штрих-кодов; необходимость обеспечения унификации используемых цветов и условий освещения полихроматических ДГК при считывании. Однако потенциально использование полихроматических ДГК даже в случае 3–5 цветов позволило бы значительно увеличить ИнЕ таких кодов по сравнению с бихроматическими ДГК. Кроме того, использование таких кодов (или их аналогов, не содержащих FP) представляется перспективным для тестирования цветовой памяти испытуемых (см. далее).

Примеры трехцветных ДГК, использующих градиенты цветов, представлены в таблице 9. Их использование может быть полезным для решения задач маркетинга.

Таблица 9 – Многоцветные ДГК, использующие градиенты цветов

 http://www.tagmyprint.com/data/details/200	 https://by.all.biz/en/the-hologram-a-sticker-with-a-qr-code-g628761	 http://tagmyprint.com/data/details/302
 https://qrcode.kaywa.com/static/examples	 https://qrcode.kaywa.com/static/examples	 https://ohmybrew.com/qr-code-gradients/

3. Анимированные ДГК. Использование анимированных ДГК встречается достаточно редко. Пример различных «фаз» анимированного ДГК представлен на рисунке 12. Воспроизведение анимированных ДГК возможно на интерактивных панелях. При этом отдельные фазы ДГК сохраняют свойство читабельности.

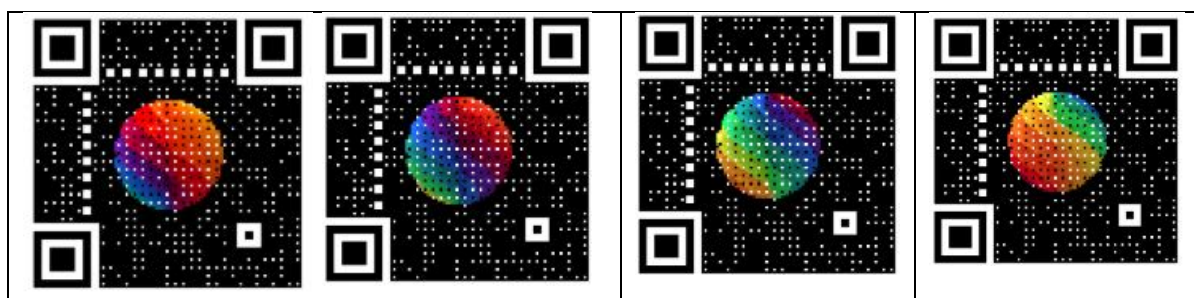
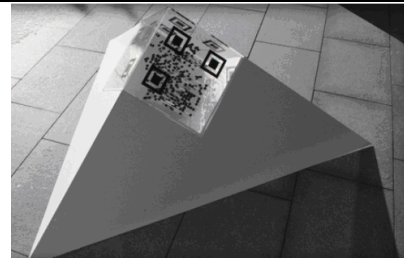


Рисунок 12 – Различные фазы анимированного ДГК (источник – <https://habr.com/ru/post/310052/>)

Преимущества анимированного ДГК носят в основном маркетинговый характер, служат для привлечения внимания потенциальных потребителей. Отметим также, что нередко QR-коды становятся самостоятельными дизайнерскими решениями или являются их важной составной частью. Примеры таких вариантов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Некоторые дополнительные примеры использования QR-кодов

		
(http://qrcode.meetheed.com/news_003_haase_sculp.html)	(http://www.scottishabstract.com/)	(http://www.scottishabstract.com/trevor-jones.php)

Использование объектов в виде аналогов ДГК для тестирования зрительной памяти испытуемых лиц. Термин «объект-аналог ДГК» (ОАДГК) в данном разделе понимается как совокупность ЭКЭ в форме квадратной (или прямоугольной) таблицы соответствующих QR-коду, но без меток FR. Использование ОАДГК для тестирования предпочтительно по таким причинам: отсутствие FR, которые могут отвлекать внимание тестируемых лиц; более простая генерация тестовых заданий (ТЗ); испытуемым проще вводить свои ответы; легче оценивать результаты ответов испытуемых – и с алгоритмической, и с методической точек зрения. Рассматриваемые далее виды ТЗ в значительной степени являются двумерными аналогами тех вариантов для штрих-кодов, которые уже были рассмотрены в предыдущей статье [1]. При этом саккады зрачков при восприятии ДГК также никем не изучались.

Приведем сначала ТЗ для черно-белых ОАДГК. Для определенности будем считать, что речь идет только о таблицах с равными количествами ЭКЭ по горизонтали и вертикали.

Одновременное предъявление двух ОАДГК.

1. На мониторе на ограниченное время показываются два ОАДГК (в левой и правой частях экрана) равного размера. При этом ставится вопрос – «Совпадают ли они?». Целью исследования может быть оценка влияния количества ЭКЭ по каждой из осей на правильность ответов испытуемых и/или оценка времени демонстрации ОАДГК на результаты. Альтернативные варианты вопроса по ТЗ: «На каком из двух ОАДГК больше черных ЭКЭ?».

2. Аналог «1», но вопрос ставится в отношении оценки испытуемым процентной доли отличающихся (в одних и тех же позициях) ЭКЭ в двух одновременно предъявленных ОАДГК.

3. Аналог «5», но испытуемый должен на правом ОАДГК найти и исправить (путем щелчков мышью) все ЭКЭ, которые не совпадают с левым ОАДГК. При этом целесообразно реализовать такое условие: щелчок левой кнопкой мыши приводит к закрашиванию ЭКЭ в черный цвет, а правой кнопкой – в белый цвет.

Последовательное во времени предъявление черно-белых ОАДГК.

4. В совокупности ТЗ генерируются ОАДГК с изменяемым количеством ЭКЭ по каждой из двух осей (начиная от 3×3). В каждом ТЗ расположение черных ЭКЭ выбирается случайным образом, но с соблюдением условия «количества черных и белых ЭКЭ примерно одинаковое». Для ТЗ с четным количеством строк и столбцов это условие можно при необходимости выполнить точно: а) сгенерированные ОАДГК в каждом из ТЗ предъявляются испытуемому на определенное время на мониторе ЭВМ, на экране смартфона или компьютерного планшета; б) затем делается пауза, в течение которой экран может оставаться пустым или на нем могут воспроизводиться какие-то объекты – это дополнительное направление исследований в отношении оценки «устойчивости» оперативной памяти испытуемых к таким воздействиям; в) после окончания паузы испытуемому на экране предъявляется «таблица-пустографка» с малозаметными границами клеток. В ней он должен «закрасить» щелчками мыши на соответствующих клетках те из них, которые были черными в предъявленном ему ОАДГК по пункту «а»; г) после завершения выбора положений «черных ЭКЭ» испытуемый нажимает кнопку «Готово» для завершения работы с ТЗ; д) в зависимости от выбранного сценария тестирования может быть реализовано следующее: д1) доля правильных ответов просто учитывается в «протоколе» накопленных результатов по тесту в целом и затем следует переход к следующему ТЗ – возможно с изменением количества ЭКЭ; д2) испытуемому предъявляется только сводный результат по ТЗ в виде доли правильно выбранных ЭКЭ. Далее ему предлагается на выбор: увеличить количество ОАДГК в следующем ТЗ; уменьшить это количество; оставить текущее количество; д3) испытуемому показывается слева то, что

было ему предъявлено по пункту «а», а справа – то, что он заполнил по пункту «в». Далее ему предлагается тот же выбор действий, что и в «д2».

Целесообразно при тестировании использовать подвариант «д1», а при тренинге – один из подвариантов «д2–д3».

5. Последовательное во времени (с некоторой паузой) предъявление двух ОАДГК с вопросом, совпадают ли они. Цели исследования – оценка влияния на правильность ответов испытуемого длительности предъявления первого ОАДГК; паузы перед показом второго ОАДГК; количества ЭКЭ в ОАДГК. Это ТЗ проще того, которое было описано в пункте «1».

6. Аналог «5», но вопрос ставится в отношении того, на каком из ОАДГК было больше черных ЭКЭ.

7. Аналог «5», но вопрос ставится в отношении процентной доли отличающихся ЭКЭ для двух последовательно предъявленных ОАДГК.

Для полихроматических ОАДГК могут быть использованы ТЗ-аналоги для пунктов 1–7.

Одновременное предъявление двух полихроматических ОАДГК.

8. На мониторе на ограниченное время показываются два ОАДГК (в левой и правой частях экрана) равного размера. При этом ставится вопрос – «Совпадают ли они?». Целью исследования может быть оценка влияния количества ЭКЭ по каждой из осей на правильность ответов испытуемых и/или оценка времени демонстрации ОАДГК на результаты; оценка влияния количества используемых цветов (а также их сочетаний) на результаты. Альтернативные варианты вопроса по ТЗ: «На каком из двух предъявленных ОАДГК больше цветных ЭКЭ?» (или «... ЭКЭ определенного цвета»). В качестве ответа может указываться и равенство количества ЭКЭ в двух ОАДГК.

9. Аналог «8», но вопрос ставится в отношении оценки испытуемым процентной доли отличающихся (в одних и тех же позициях) ЭКЭ в двух одновременно предъявленных ОАДГК.

10. Аналог «8», но испытуемый должен на правом ОАДГК найти и исправить (путем щелчков мышью) все ЭКЭ, которые не совпадают с левым ОАДГК. При этом целесообразно реализовать такое условие: щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению выпадающего меню цветов (включая белый цвет); далее из меню щелчком мышью выбирается нужный цвет.

Последовательное предъявление двух полихроматических ОАДГК.

11. В совокупности ТЗ генерируются полихроматические ОАДГК с изменяемым количеством ЭКЭ по каждой из двух осей (начиная от 3×3). В каждом ТЗ расположение цветных ЭКЭ выбирается случайным образом, но с соблюдением условия «количества цветных и белых ЭКЭ примерно одинаковое». Как и ранее (см. пункт 1), для ТЗ с четным количеством строк и столбцов это условие при необходимости можно выполнить точно. Конкретные цвета для «небелых» ЭКЭ выбираются случайным образом из заданного набора цветов: а) сгенерированные полихроматические ОАДГК в каждом из ТЗ предъявляются испытуемому одновременно (в левой и правой частях экрана) на определенное время; б) после этого делается пауза. Во время нее экран может оставаться пустым или на нем воспроизводятся какие-то цветные объекты (статические или динамические) Это позволяет дать дополнительные оценки «устойчивости» оперативной памяти испытуемых к таким воздействиям, причем отдельно для черно-белых или полихроматических; в) после окончания паузы испытуемому на экране предъявляется «таблица-пустографка» с малозаметными границами клеток. В этой таблице он должен «закрасить» щелчками мыши на соответствующих клетках те из них, которые были цветными в ОАДГК, предъявленном по пункту «а». В техническом плане это можно реализовать так: выбор клетки щелчком на ней левой кнопки мыши; выбор из выпадающего меню цвета для этой клетки (включая белый – для исправления ранее установленного цвета). При этом возможны два подварианта: в выпадающем меню цветов приводятся только те из них, которые были фактически использованы в предъявленном ОАДГК; в меню приводится полный «спектр цветов»; г) после завершения выбора положений «цветных ЭКЭ» испытуемый нажимает кнопку «Готово» для завершения работы с ТЗ; д) аналогично описанному ранее варианту для черно-белого ОАДГК в зависимости от выбранного сценария тестирования может быть реализовано следующее: д1) доля правильных ответов в отношении установки цветов ЭКЭ просто учитывается в «протоколе» накопленных результатов по тесту в целом и затем следует переход к следующему ТЗ – возможно с изменением количества ЭКЭ. Альтернатива – отдельно учитываются проценты ошибок по ЭКЭ для каждого из цветов, включая белый; д2) испытуемому предъявляется только сводный результат по ТЗ в виде доли правильно выбранных ЭКЭ в целом, а также по отдельным цветам. Далее ему предлагается на выбор: увеличить количество ОАДГК в следующем ТЗ; уменьшить это количество; оставить текущее количество; (д3) испытуемому показывается слева то, что было ему предъявлено по пункту «а», а справа – то, что он заполнил по пункту «в». Далее ему предлагается тот же выбор действий, что и в «д2». Целесообразно при тестировании использовать подвариант «д1», а при тренинге – один из подвариантов «д2–д3».

12. Последовательное во времени (с некоторой паузой) предъявление двух полихроматических ОАДГК с вопросом «Совпадают ли они?». Цель исследования – оценка влияния на правильность отве-

тов испытуемого следующих параметров: длительности предъявления первого ОАДГК; длительности паузы перед показом второго ОАДГК; количества ЭКЭ в ОАДГК; количества и номенклатуры цветов. Это ТЗ проще для исполнения, чем описанное в предыдущем пункте.

13. Аналог «12», но вопрос ставится в отношении того, на каком из ОАДГК было больше ЭКЭ определенного цвета (этот вопрос может задаваться и в отношении ЭКЭ белого цвета).

14. Аналог «13», но вопрос ставится в отношении процентной доли отличающихся ЭКЭ для двух предъявленных ОАДГК. При этом «отличием» считается не только расположение цветных ЭКЭ, но и цветов в этих ЭКЭ.

Отметим, что описанные варианты ТЗ являются не единственно возможными. В частности, отметим следующее. Помимо черно-белых могут быть использованы цветные бихроматические ОАДГК; применено последовательное во времени или одновременное предъявление трех объектов (черно-белых или полихроматических). В этих случаях могут быть сформулированы иные задания.

Кроме того, представленные выше варианты ТЗ относились к одновременному использованию испытуемым двух глаз без каких-либо ограничений. Однако если применить светонепроницаемую перегородку, устанавливаемую перед экраном монитора (или «картонные очки» с разделительной перегородкой для глаз), то можно обеспечить поступление на левый и правый глаза разных изображений. Такой подход является альтернативным для описанных выше вариантов ТЗ с одновременной демонстрацией ОАДГК; предоставляет некоторые дополнительные методические возможности.

Выводы.

1. В настоящее время использование ДГК играет важную роль в различных сферах деятельности – прежде всего в торговле. Имеются различные стандарты генерации ДГК, в том числе и с достаточно большими объемами кодируемой информации.

2. Информационная избыточность ДГК в общем случае может быть использована не только для представления непосредственно на них надписей и эмблем, но и с целью решения некоторых задач информационной безопасности.

3. Наряду с традиционными направлениями применения ДГК, рассмотрены и некоторые нетрадиционные, включая тестирование/тренинг зрительной памяти испытуемых.

4. Рассмотрена целесообразность и технические возможности использования полихроматических ДГК, в том числе для тестирования и тренинга цветовой памяти физических лиц. Указаны некоторые возможности реализации адаптивного тестирования с использованием полихроматических ДГК.

Библиографический список

1. Абрамович В. В. Одномерные (линейные) графические коды: анализ способов генерации, традиционных и новых направлений применения, вопросов информационной безопасности использования / В. В. Абрамович, Ю. М. Брумштейн // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 3. – С. 19–36.
2. Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Спецификации символики PDF417 (ПДФ417). – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&month=-1&year=-1&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=122345>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).
3. Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Спецификация символики maxicode (максикод). – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=138432>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).
4. Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Спецификация символики data matrix. – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=12&year=2019&search=Data%20Matrix&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=166415>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).
5. Астрахань избавилась от порнографических QR-кодов. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/443982/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 17.03.2019).
6. Боскебеев К. Д. Системный анализ рисков деятельности животноводческих фермерских хозяйств в условиях развития информационно-телекоммуникационных технологий (на примере Кыргызской Республики и Астраханской области) / К. Д. Боскебеев, Ж. К. Алимсеитова, А. К. Боскебеева, В. Г. Александрович, Н. В. Васильев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1. – С. 129–143.
7. Бурлуцкая Н. А. QR-коды как средство повышения мотивации обучения / Н. А. Бурлуцкая // Наука и перспективы. – 2016. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/qv-kody-kak-sredstvo-povysheniya-motivatsii-obucheniya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 15.06.2018).
8. Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных. Спецификация символики штрихового кода qr code. – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=12&year=2019&search=qr%20code&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=192607>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 30.03.2019).
9. Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных. Спецификация символики штрихового кода QR. – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=9&year=2009&search=qr&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=192607&pageK=D6C11EF7-1B0C-4057-A9E7-037C5FF08DCB>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).

10. Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных. Спецификация символики штрихового кода aztec CODE. – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=12&year=2019&search=AZTEC&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=168155>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).
11. Казиева Н. Штриховое кодирование и биометрия: состояние и развитие / Н. Казиева, Н. А. Бурамбаева, Н. Л. Щеголева // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2018. – Т. 1. – С. 173–176.
12. Крижепольский Павел. Двухмерные штрихкоды – что это такое и с чем их едят / Павел Крижепольский. – Режим доступа: <http://android.mobile-review.com/market/10752/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).
13. Кузнецов М. А. Применение компьютерного зрения для распознавания городских памятников архитектуры в мобильном приложении типа «Электронный гид» / М. А. Кузнецов, А. С. Воробьев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 2. – С. 25–36.
14. Мерзляков Р. В Астрахани QR-коды на старинных зданиях вели на порносайты. – Режим доступа: <https://rg.ru/2019/03/15/reg-ufo/v-astrahani-sniali-so-starinnyh-domov-vedushchie-na-pornosajty-qr-kody.html/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 17.03.2019).
15. Нестандартные QR-коды – создание и считывание. – Режим доступа: <http://creambee.ru/blog/post/create-nonstandard-qr-code/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.03.2019).
16. Пахомов А. В. Информационная составляющая современных упаковок лекарственных средств / А. В. Пахомов, И. В. Брусенцова // Информационная безопасность регионов. – 2011. – № 1 (8). – С. 123–128.
17. Технология матрицы данных Data Matrix. – Режим доступа: <http://www.itec.snz.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.03.2019).
18. Dagnelies Arnaud. Algebraic soft-decoding of Reed-Solomon codes. – Режим доступа: <https://sidewords.files.wordpress.com/2007/12/thesis.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 30.03.2019).
19. GS1 DataMatrix. An introduction and technical overview of the most advanced. GS1 Application Identifiers compliant symbology. – Режим доступа: https://www.gs1ca.org/pages/n/standards/GS1_DataMatrix_Introduction_and_technical_overview_v.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.03.2019).
20. Many ways of using QR Codes // QRCode.com. – Режим доступа: <https://www.qrcode.com/en/about/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 17.06.2018).
21. MaxiCode. – Режим доступа: <http://www.wikiwand.com/en/MaxiCode>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.03.2019).
22. The Most Popular 2D Barcodes for Document Information Capture. – Режим доступа: <https://documentmedia.com/article-1629-The-Most-Popular-2D-Barcodes-for-Document-Information-Capture.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.03.2019).
23. Tikhonov Aleksey. Altsoph's blog. Double-sided QR-Code. – Режим доступа: <https://medium.com/altsoph/double-sided-qr-code-c946468f05d4>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 30.03.2019).
24. Two dimensional data encoding structure and symbology for use with optical readers. – Режим доступа: http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnetacgi/html%2FPTO%2Fsrc_hnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=5,591,956.PN.&OS=PN/5,591,956&RS=PN/5,591,956, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.03.2019).
25. QR-code development story. – Режим доступа: <https://www.denso-wave.com/en/technology/vol1.html/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 30.03.2019).
26. QR Code Error Correction. – Режим доступа: <https://blog.qrstuff.com/2011/12/14/qr-code-error-correction>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 30.03.2019).
27. QR-коды – проблемы безопасности: не поторопились ли мы. – Режим доступа: <https://letstalkpayments.com/qr-codes-security-challenges/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 17.03.2019).
28. Wounded QR codes. – Режим доступа: <http://datagenetics.com/blog/november12013/index.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 18.06.2018).
29. What is a QR Code? – Режим доступа: <https://www.qrcode.com/en/about/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 18.06.2018).
30. Wounded QR codes. DataGenetics. – Режим доступа: <http://datagenetics.com/blog/november12013/index.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 18.06.2018).
31. Wounded QR codes. – Режим доступа: <http://datagenetics.com/blog/november12013/index.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 18.06.2018).

References

1. Abramovich V. V., Brumshteyn Yu. M. Odnomernye (lineynye) graficheskie kody: analiz sposobov generatsii, traditsionnykh i novykh napravleniy primeneniya, voprosov informatsionnoy bezopasnosti ispolzovaniya [One-dimensional (linear) graphic codes: analysis of ways of generation, traditional and new directions of use, questions of information security of use]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 3, pp. 19–36.
2. *Avtomaticheskaya identifikatsiya. Kodirovanie shtrikhovoe. Spetsifikatsii simvoliki PDF417 (PDF417)* [Automatic identification. Shaped coding. Specifications of symbolics PDF417 (PDF417)]. – Available at:

<http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&month=-1&year=-1&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=122345> (accessed 20.03.2019).

3. *Avtomaticheskaya identifikatsiya. Kodirovanie shtrikhovoe. Spetsifikatsiya simvoliki maxicode (maksikod)* [Automatic identification. Shaped coding. Specification of symbolics of maxicode (maxicode)]. Available at: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=138432> (accessed 20.03.2019).

4. *Avtomaticheskaya identifikatsiya. kodirovanie shtrikhovoe. Spetsifikatsiya simvoliki data matrix* [Automatic identification. shaped coding. Specification of symbolics data matrix]. Available at: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=12&year=2019&search=Data%20Matrix&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=166415> (accessed 20.03.2019).

5. *Astrakhan izbavilas ot pornograficheskikh QR-kodov* [Astrakhan got rid of pornographic QR codes]. Available at: <https://habr.com/ru/post/443982/> (accessed 17.03.2019).

6. Boskebeev K. D., Alimseitova Zh. K., Boskebeeva A. K., Aleksandrovich V. G., Vasilev N. V. Sistemnyy analiz riskov deyatel'nosti zhivotnovodcheskikh fermerskikh khozyaystv v usloviyakh razvitiya informatsionno-telekommunikatsionnykh tekhnologiy (na primere Kyrgyzskoy Respubliki i Astrakhanskoy oblasti) [System risk analysis of activity of livestock farms in the conditions of development of information and telecommunication technologies (on the example of the Kyrgyz Republic and the Astrakhan region)]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1, pp. 129–143.

7. Burlutskaya N. A. QR-kody kak sredstvo povysheniya motivatsii obucheniya [QR codes as means of increase in motivation of training]. *Nauka i perspektivy* [Science and prospects], 2016, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/qr-kody-kak-sredstvo-povysheniya-motivatsii-obucheniya> (accessed 15.06.2018).

8. *Informatsionnye tekhnologii. Tekhnologii avtomaticheskoy identifikatsii i sbora dannykh. spetsifikatsiya simvoliki shtrikhovogo koda qr code* [Information technologies. Technologies of automatic identification and data collection. specification of symbolics of the shaped qr code code]. Available at: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=12&year=2019&search=qr%20code&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=192607> (accessed 30.03.2019).

9. *Informatsionnye tekhnologii. Tekhnologii avtomaticheskoy identifikatsii i sbora dannykh. Spetsifikatsiya simvoliki shtrikhovogo koda QR* [Information technologies. Technologies of automatic identification and data collection. Specification of symbolics of the shaped QR code]. Available at: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=9&year=2009&search=qr&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=192607&pageK=D6C11EF7-1B0C-4057-A9E7-037C5FF08DCB> (accessed 30.03.2019).

10. *Informatsionnye tekhnologii. Tekhnologii avtomaticheskoy identifikatsii i sbora dannykh. Spetsifikatsiya simvoliki shtrikhovogo koda Aztec code* [Information technologies. Technologies of automatic identification and data collection. Specification of symbolics of the shaped Aztec code]. Available at: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=12&year=2019&search=AZTEC&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=168155> (accessed 30.03.2019).

11. Kazieva N., Burambaeva N. A., Shchegoleva N. L. Shtrikhovoe kodirovanie i biometriya: sostoyanie i razvitiye [Shaped coding and biometrics: state and development]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam* [International Conference on Soft Calculations and Measurements], 2018, vol. 1, pp. 173–176.

12. Krizhepolskiy Pavel. *Dvukhmernye shtrikhkody – chto eto takoe i s chem ikh edyat* [Two-dimensional barcodes – what is it and what they are eaten with]. Available at: <http://android.mobile-review.com/market/10752/> (accessed 30.03.2019).

13. Kuznetsov M. A., Vorobev A. S. Primenenie kompyuternogo zreniya dlya raspoznavaniya gorodskikh pamyatnikov arkhitektury v mobilnom prilozhenii tipa «Elektronnyy gid» [Use of computer sight for recognition of city monuments of architecture in a mobile app like "Electronic guide"]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 2, pp. 25–36.

14. Merzlyakov R. V. *Astrakhani QR-kody na starinnykh zdaniyakh veli na pornosajty* [In Astrakhan QR codes on ancient buildings carried on the pornwebsites]. Available at: <https://rg.ru/2019/03/15/reg-ugo/v-astrakhani-sniali-so-starinnyh-domov-vedushchie-na-pornosajty-qr-kody.html/> (accessed 17.03.2019).

15. Nestandartnye QR-kody – sozdanie i schityvanie [Non-standard QR codes – creation and reading]. Available at: <http://creambee.ru/blog/post/create-nonstandard-qr-code/> (accessed 10.3.2019).

16. Pakhomov A. V., Brusentsova I. V. Informatsionnaya sostavlyayushchaya sovremennykh upakovok lekarstvennykh sredstv [Information component of the modern packages of medicines]. *Informatsionnaya bezopasnost regionov* [Information security of regions], 2011, no. 1 (8), pp. 123–128.

17. *Tekhnologiya matritsy dannykh Data Matrix* [Technology of a data matrix. Data Matrix]. Available at: <http://www.itec.snz.ru> (accessed 10.3.2019).

18. Dagnelies Arnaud. *Algebraic soft-decoding of Reed-Solomon codes*. Available at: <https://sidewords.files.wordpress.com/2007/12/thesis.pdf> (accessed 30.03.2019).

19. *GS1 DataMatrix. An introduction and technical overview of the most advanced. GS1 Application Identifiers compliant symbology*. Available at: https://www.gs1ca.org/pages/n/standards/GS1_DataMatrix_Introduction_and_technical_overview_v.pdf (accessed 10.03.2019).

20. Many ways of using QR Codes. *QRCode.com*. Available at: <https://www.qrcode.com/en/about/> (accessed 17.06.2018).

21. *MaxiCode*. Available at: <http://www.wikiwand.com/en/MaxiCode>. (accessed 10.03.2019).

22. *The Most Popular 2D Barcodes for Document Information Capture*. Available at: <https://documentmedia.com/article-1629-The-Most-Popular-2D-Barcodes-for-Document-Information-Capture.html> (accessed 10.03.2019).

23. Tikhonov Aleksey. *Altsoph's blog. Double-sided QR-Code*. Available at: <https://medium.com/altsoh/double-sided-qr-code-c946468f05d4> (accessed 30.03.2019).
24. *Two dimensional data encoding structure and symbology for use with optical readers*. Available at: http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnethtml%2FPTO%2Fsrc_hnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=5,591,956.PN.&OS=PN/5,591,956&RS=PN/5,591,956 (accessed 30.03.2019).
25. *QR-code development story*. Available at: <https://www.denso-wave.com/en/technology/vol1.html/> (accessed 30.03.2019).
26. *QR Code Error Correction*. Available at: <https://blog.qrstuff.com/2011/12/14/qr-code-error-correction> (accessed 30.03.2019).
27. *QR-kody – problemy bezopasnosti: ne potropilis li my* [QR codes – security concerns: whether we hurried]. Available at: <https://letstalkpayments.com/qr-codes-security-challenges> (accessed 17.03.2019).
28. *Wounded QR codes*. Available at: <http://datagenetics.com/blog/november12013/index.html> (accessed 18.06.2018).
29. *What is a QR Code?* Available at: <https://www.qrcode.com/en/about/> (accessed 18.06.2018).
30. *Wounded QR codes. DataGenetics*. Available at: <http://datagenetics.com/blog/november12013/index.html> (accessed 30.03.2019).
31. *Wounded QR codes*. Available at: <http://datagenetics.com/blog/november12013/index.html> (accessed 18.06.2018).

УДК 004.02 + 004.855.5(6)

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МНОГООБЪЕКТНЫХ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ¹

Статья поступила в редакцию 27.02.2019, в окончательном варианте – 08.03.2019.

Сай Ван Квонг, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,
аспирант, e-mail: svcuonghvktqs@gmail.com

Щербakov Максим Владимирович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,
доктор технических наук, профессор, e-mail: maxim.shcherbakov@vstu.ru

Поддержка функционирования оборудования на этапе эксплуатации с минимальными затратами является актуальной задачей для различных производств. Классические подходы к техническому обслуживанию (корректирующее и профилактическое обслуживание) в значительной мере теряют свою эффективность в современных условиях. Это обусловлено возрастающей сложностью многообъектных целевых технических систем и запаздыванием развития систем диагностики и методик технического обслуживания и ремонта. В статье описывается метод проактивного обслуживания оборудования на основе прогнозирования его остаточного ресурса (Remaining Useful Life (RUL)). Основной целью данного исследования является разработка метода прогнозирования RUL, направленного на минимизацию эксплуатационных расходов при обслуживании оборудования. Основные научные результаты статьи следующие. 1. Новая архитектура системы прогностического обслуживания, функционирующая в режиме реального времени. 2. Результаты исследования эффективности применения различных подходов (как глубоких нейронных сетей, так и типовых алгоритмов машинного обучения) при прогнозировании RUL. 3. Новая гибридная модель CNN-LSTM, построенная на основе объединения сверточных нейронных сетей (CNN) и сетей долгой краткосрочной памяти (LSTM), превосходящая аналоги при решении задачи прогнозирования RUL на данных Turbofan Engine Degradation Simulation Data Set от NASA.

Ключевые слова: интернет вещей, прогностическое обслуживание, остаточный ресурс (RUL), машинное обучение, глубокое обучение, CNN, LSTM, XGBoost, SVM, Random Forest

A DATA-DRIVEN METHOD FOR REMAINING USEFUL LIFE PREDICTION OF MULTIPLE-COMPONENT SYSTEMS

The article was received by editorial board on 27.02.2019, in the final version – 08.03.2019.

Sai Van Cuong, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

post-graduate student, e-mail: svcuonghvktqs@gmail.com

Shcherbakov Maksim V., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

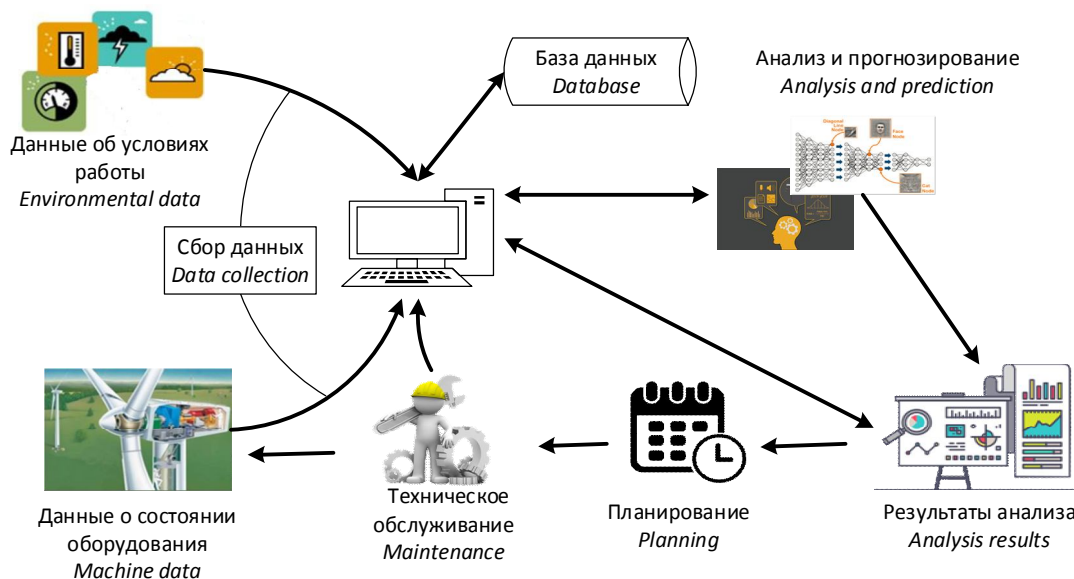
Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: maxim.shcherbakov@gmail.com

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16-37-60066_мол_дк.

Supporting the operation of the equipment at the operational stage with minimal costs is an urgent task for various industries. Classical approaches to maintenance of systems lose their effectiveness in modern conditions. The article describes a data-driven method of proactive maintenance of equipment based on predicting the remaining useful life (RUL). The main purpose of this research is to develop a method of predicting the RUL aimed at minimizing operating costs in the maintenance of equipment. Contributions of the paper are: i) a new architecture of real-time predictive maintenance system; ii) the study of the effectiveness of different approaches (both deep neural networks and typical algorithms of machine learning) in RUL predicting; iii) a new hybrid CNN+LSTM model based on the combination of convolutional neural networks (CNN) and long short-term memory networks (LSTM), superior analogues in solving the problem of predicting the RUL using Turbofan Engine Degradation Simulation Data Set from NASA.

Key words: internet of thing, predictive maintenance, remaining useful life, machine learning, deep learning, CNN, LSTM, XGBoost, SVM, Random Forest

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Обеспечение работоспособности оборудования с минимальными затратами является актуальной задачей для различных производств [3]. Согласно статистике, из-за неэффективного технического обслуживания наблюдается двукратный рост расходов на обеспечение функционирования оборудования [8]. В условиях быстрого роста сложности многообъектных целевых технических систем и выполняемых ими функций для обеспечения высокой степени надежности функционирования оборудования возникает необходимость пересмотра существующих механизмов реализации обеспечивающих систем и процедур принятия решений. С другой стороны, классические подходы к организации технического обслуживания (профилактическое и корректирующее техническое обслуживание) при таких условиях в значительной мере теряют свою эффективность.

Например, зачастую плановое профилактическое техническое обслуживание оборудования в ситуациях с щадящими условиями его эксплуатации выполняется достаточно рано, когда реальной необходимости в таких операциях еще не возникло. Это приводит к увеличению трудоемкости работ по техническому обслуживанию, а в ряде случаев и к неоправданному расходу деталей, если их замена предусматривается регламентами проведения работ.

Или, наоборот, корректирующие решения принимаются и реализуются уже после возникновения проблемы и ее обнаружения. При этом «запаздывание» технического обслуживания может приводить к предаварийным и аварийным ситуациям, сокращать длительность жизненного цикла оборудования.

Исходя из анализа работ [1, 10], следует сделать вывод, что проактивная стратегия технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОиР) является наиболее эффективной и целесообразной для внедрения в современных экономических условиях. Данная стратегия позволяет переходить от грубого планового обеспечения к обеспечению функционирования оборудования по его фактическому состоянию – за счет разработки и внедрения интеллектуальных систем, выполняющих функции предсказательной аналитики и предсказательного обслуживания. Такой подход позволяет выполнять обслуживание наиболее эффективным с экономической точки зрения образом и перейти к ремонту по состоянию и, как следствие, обеспечить увеличение межремонтного интервала.

«Ресурс» является важнейшей характеристикой, определяющей продолжительность безопасной

эксплуатации как отдельных производственных объектов, так и сложных технических систем [2]. Основанием для принятия решения о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации технического устройства (единицы оборудования) являются результаты оценки его остаточного ресурса (Remaining Useful Life (RUL)). Оценка RUL является ключевой операцией для технического обслуживания по состоянию [20].

Развитие и удешевление повсеместных (*ubiquitous*) систем сбора данных и удешевление систем сбора данных, в том числе в дистанционном режиме и в реальном масштабе времени, позволяет собирать большие объемы данных о многообъектных целевых системах. Последующая обработка собранных данных позволяет как выявлять факторы, влияющие на состояние оборудования, так и получать прогнозные модели с использованием методов интеллектуального анализа данных и машинного обучения.

Основными научными результатами статьи являются следующие. 1. Предложена новая архитектура системы прогностического обслуживания оборудования, функционирующая в режиме реального времени. 2. Проведено исследование эффективности различных подходов (как глубоких нейронных сетей, так и типовых алгоритмов машинного обучения) при прогнозировании RUL. 3. Предложена новая гибридная модель CNN-LSTM на основе объединения сверточных нейронных сетей (CNN) и сетей долгой краткосрочной памяти (LSTM). Новая модель превосходит аналоги при решении задачи прогнозирования RUL на данных Turbofan Engine Degradation Simulation Data Set от NASA. Используемый метод основан на принципах проактивной поддержки принятия решений в рамках подхода на основе обработки данных (*data-driven* подхода), позволяющего перейти к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования.

Постановка задачи. Будем считать, что имеются значения характеристик системы, записанные в течение эксплуатационного срока службы одного или нескольких экземпляров (единиц) однотипного оборудования. Датчики являются источниками информации о состоянии узлов и агрегатов оборудования и об условиях его эксплуатации. Для каждого экземпляра оборудования $i \in E$, многомерные сенсорные данные могут быть представлены в виде временных рядов $x^{(i)} = \{x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_{T^{(i)}}^{(i)}\}$, где $T^{(i)}$ – длина временных рядов для i -го экземпляра, $x_t^{(i)} \in \mathbb{R}^n$ – n -мерный вектор, соответствующий показаниям n датчиков в момент времени t . Для экземпляра оборудования i , для которого был зафиксирован отказ, длина $T^{(i)}$ соответствует полному эксплуатационному сроку службы (от начальной приработки до момента отказа). Для текущего работающего экземпляра длина $T^{(i)}$ соответствует истекшему эксплуатационному сроку службы – от начальной приработки до текущего наблюдаемого момента времени.

Задача заключается в определении временной метки RUL_{t_0} возникновения отказа на основе имеющихся сенсорных данных:

$$RUL_{t_0} = G(x_{0:t_0}),$$

при этом $RUL(t_0) = t_1 - t_0$, если $t_1 \geq t_0$, где t_1 – момент времени, на котором произошёл отказ (максимальное время работы системы), t_0 – текущее время наблюдения за работой системы. Графическое представление постановки задачи иллюстрируется рисунком 1.

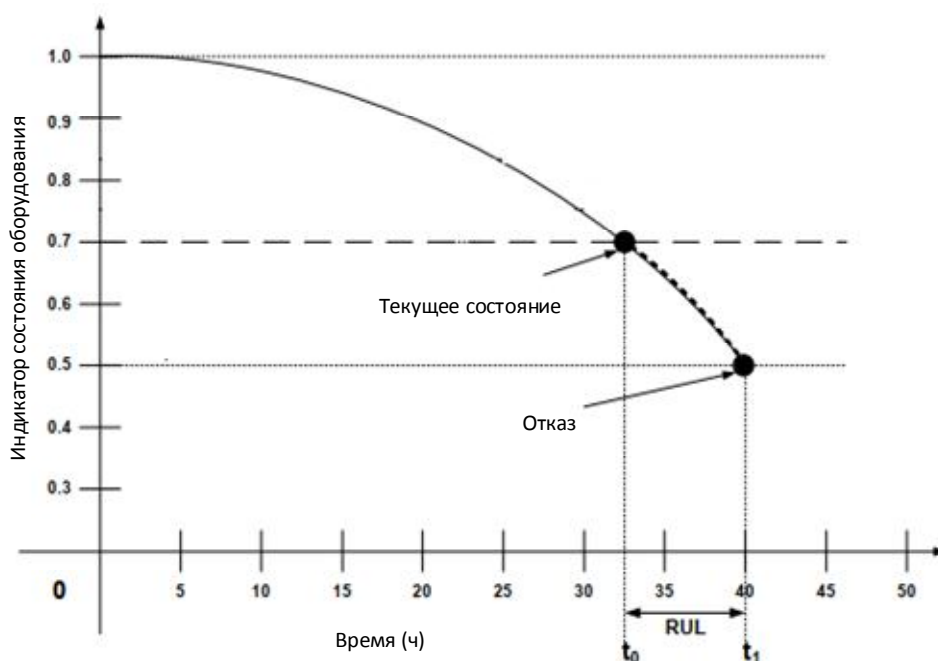


Рисунок 1 – Иллюстрация к изменению состояния оборудования и наступления отказа

Обзор литературных источников. Ключевой целью в прогностическом техническом обслуживании является прогнозирование остаточного ресурса (RUL) оборудования для поддержки различных видов деятельности по принятию решений, таких как планирование работ, устранение неисправностей [19]. RUL – это остаточное время компонента или системы выполнения своих функциональных возможностей до момента появления отказа [25].

Методы предсказания RUL могут быть классифицированы на *методы, основанные на обработке данных* (data-driven methods), и *методы, основанные на моделях* (model-based methods) [12]. Методы, основанные на моделях (ММ), используют математические или физические модели для описания поведения и процессов деградации оборудования, при этом значения параметров изменяются на основе собранных данных [7, 9]. Основным недостатком ММ заключается в необходимости регулярной структурной и параметрической оптимизации моделей из-за динамически меняющегося окружения [14]. Кроме того, сложные системы требуют значительных затрат на создание и настройку ММ, в том числе и с привлечением экспертов [26]. Для преодоления данных недостатков были предложены и в настоящее время активно развиваются методы, основанные на использовании данных для предсказания RUL [6].

Методы, основанные на обработке данных (МОД), описывают процесс деградации оборудования на основе измеряемых данных с использованием методов машинного обучения [13]. Эти методы основываются на предположении, что статистические оценки данных относительно стабильны при функционировании в штатном режиме (если неисправность не возникает). Таким образом, точность предсказания МОД зависит не только от количества, но и от качества исторических (накопленных) данных [12]. МОД обладают свойствами универсальности, поскольку они абстрагированы от физической природы объектов, не требуют знаний его внутренней структуры и функциональных связей между элементами [10].

МОД могут быть построены на основании алгоритмов машинного обучения, таких как *метод опорных векторов (SVM)*, *случайный лес (RF)*, *деревья решений (CART)*, *экстремальный градиентный бустинг (XGBoost)*, *метод k-ближайших соседей (KNN)*.

Следует отметить критику применения вышеуказанных подходов при решении задачи прогнозирования RUL [15]. Она связана, в частности, с тем, что указанные методы дают неудовлетворительные результаты при обработке сложных многомерных сенсорных данных. Кроме того, эти классические модели машинного обучения обычно основаны на процессе *инженерии признаков (feature engineering)*, в результате которого для создания и отбора нужных признаков используется опыт экспертов в данной области. Последнее, как правило, затрудняет повторное использование разработанных моделей, поскольку инженерия признаков специфична для конкретного сценария проблемы. Возможно, наиболее привлекательной частью применения глубокого обучения в области предсказательного обслуживания является тот факт, что эти сети могут автоматически извлекать нужные признаки из данных, устраняя необходимость в ручном *feature engineering*.

Это подтверждается результатами прогнозирования остаточного ресурса на основе нейронных сетей долгой краткосрочной памяти (Long short-term memory (LSTM)) [27] и свёрточных нейронных сетей (Convolutional Neural Network (CNN)) [11].

Предлагаемый метод. Он основан на проактивном подходе к обслуживанию оборудования, который использует прогнозирование RUL на основе массива исторических данных. Архитектура, реализующая данный подход, представлена на рисунке 2. На основе данных формируются модели, позволяющие получить конкретные численные значения прогнозного остаточного ресурса. Полученные модели могут быть использованы для выработки рекомендаций по оптимальному использованию оборудования в онлайн-режиме.

Обучение моделей осуществляется на основе выборки данных о состоянии оборудования до «факта отказа» (от начальной приработки до момента отказа) однотипных систем или различных систем, имеющих схожее поведение (рис. 3).

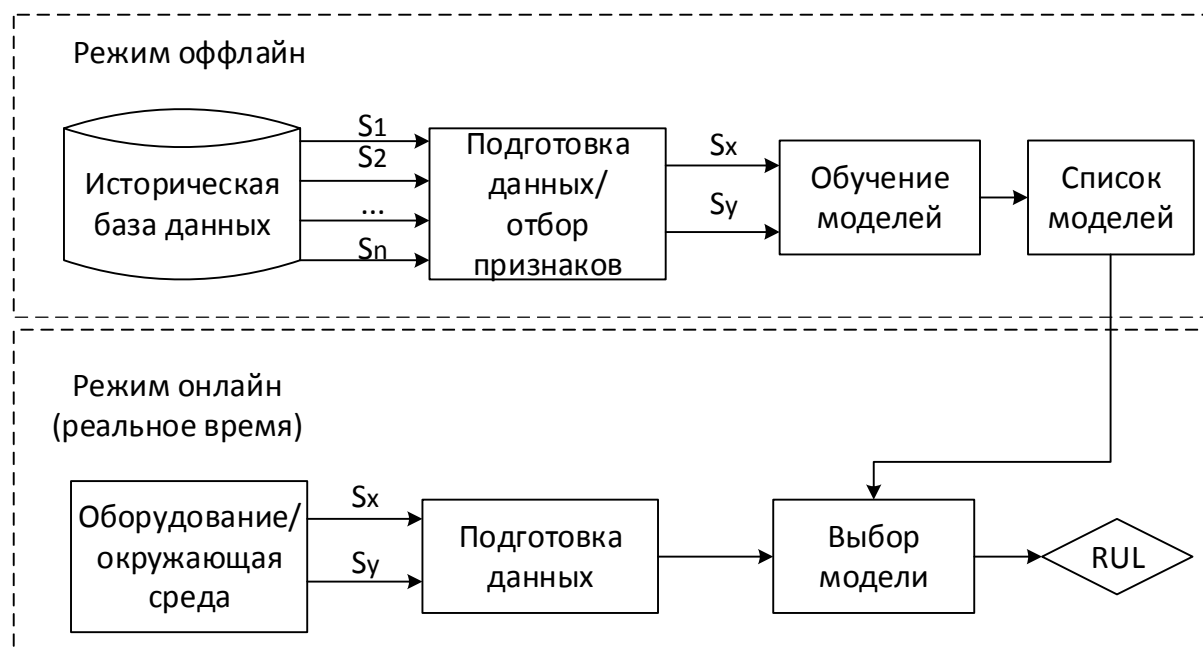


Рисунок 2 – Архитектура системы прогностического обслуживания

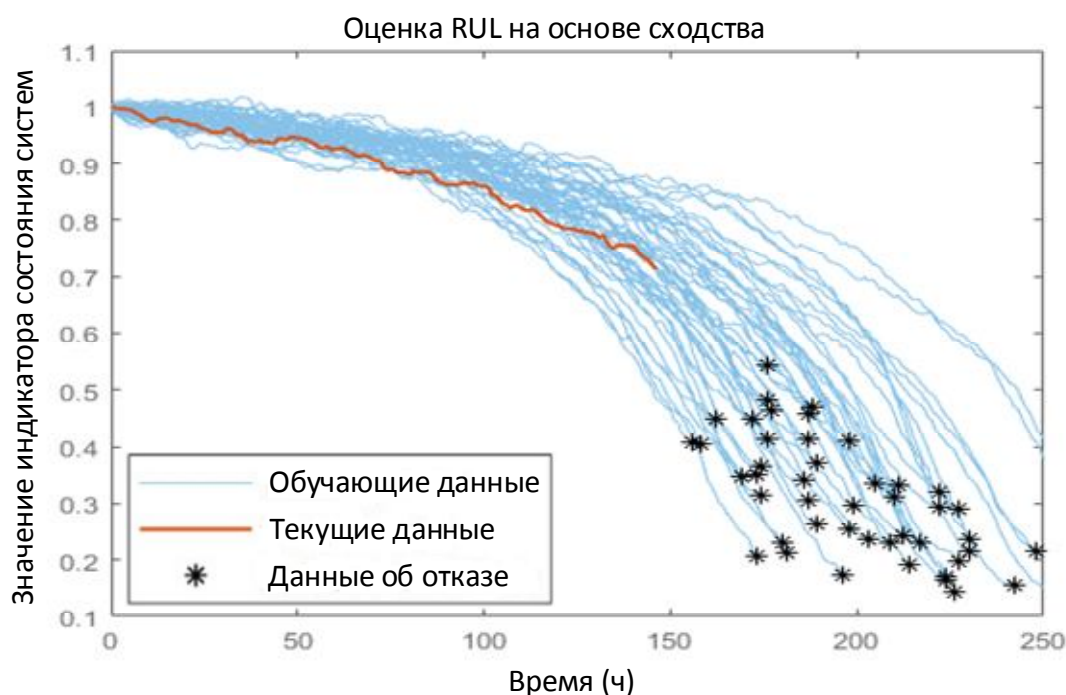


Рисунок 3 – Данные о поведении однотипных систем – основание для формирования выборки данных

В работе использовались различные модели прогнозирования RUL: деревья решений (CART); метод опорных векторов (SVM); метод k-ближайших соседей (KNN); Бэггинг; случайный лес (RF); экстремальный метод градиентного бустинга (XGBoost) и глубокие нейронные сети: LSTM и CNN.

Для повышения качества прогнозирования RUL в работе также представлена гибридная CNN-LSTM, где сверточные нейронные сети (CNN) используются для извлечения пространственных свойств из многомерных сенсорных данных, а сети долгой краткосрочной памяти (LSTM) – для обучения долгосрочным зависимостям и формирования прогнозных значений.

На рисунке 4 представлена архитектура предложенной авторами гибридной CNN-LSTM модели.

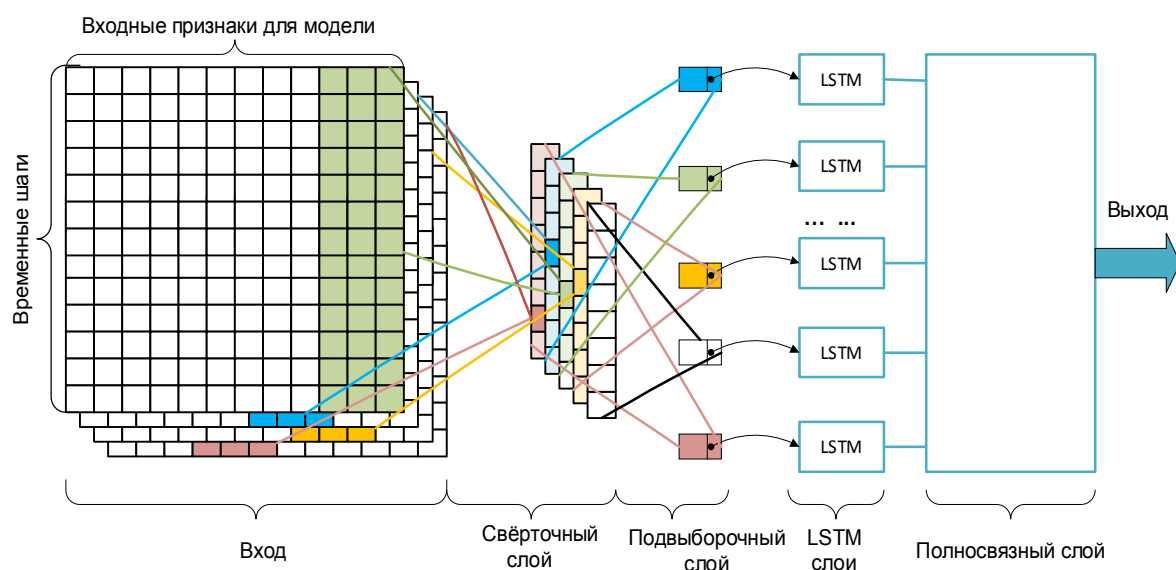


Рисунок 4 – Архитектура гибридной CNN-LSTM модели для прогнозирования RUL

На рисунке 5 представлена схема процесса выбора наилучшей модели для проактивной стратегии обслуживания оборудования на основе использования различных моделей прогнозирования RUL.

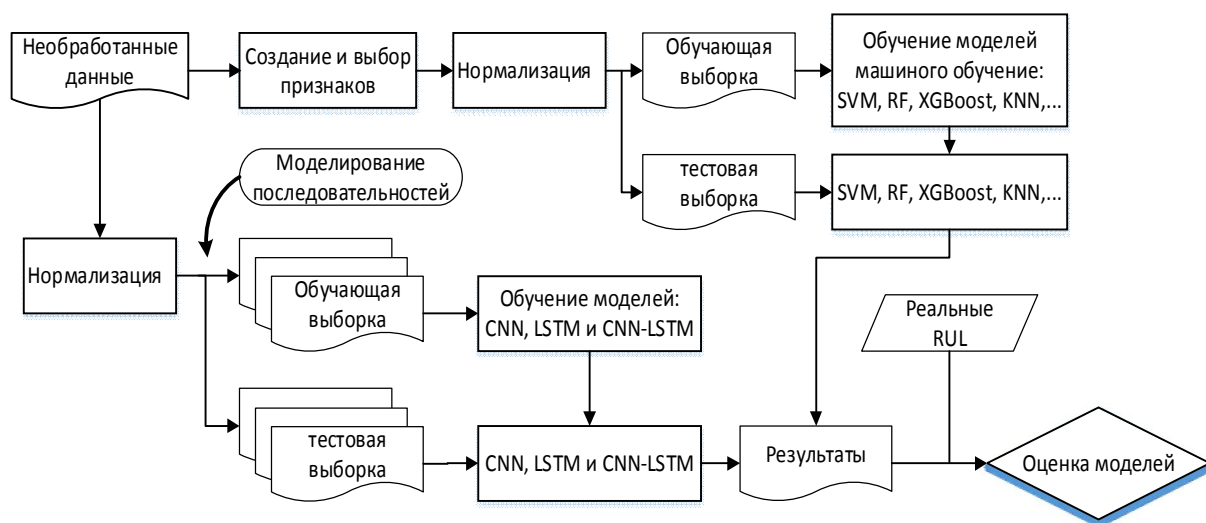


Рисунок 5 – Схема процесса выбора наилучшей модели

Применение нескольких вышеописанных алгоритмов позволяет исключить возможность пропуска лучшей модели в соответствии с различными критериями качества. Ансамблевый подход позволяет эффективно использовать достоинства разных моделей для достижения лучшей точности прогнозирования по сравнению с применением их по отдельности.

Результаты и обсуждение. Для обоснования эффективности моделей прогнозирования RUL были проведены эксперименты, реализация которых осуществлялась на языке R [21]. Все модели глубоких нейронных сетей были реализованы с использованием модульной библиотеки Keras [16], функционирующей поверх библиотек TensorFlow от Google [17]. Все модели машинного обучения были реализованы с помощью известных R-пакетов: caret, randomForest, XGBoost [5, 18, 24].

Для проведения экспериментов был использован набор данных о деградации турбореактивного двигателя FD001. Этот набор был создан NASA Ames Prognostic Center в 2008 г. [23]. Он включает в себя обучающую и тестовую выборки. Обе выборки состоят из показаний датчиков в полете, имитирующих поведение авиационных газотурбинных двигателей и условия их работы. Эти выборки представляют собой набор данных многомерных временных рядов. Каждый двигатель в обучающей выборке работает от начальной приработки до момента отказа, а каждый двигатель в тестовой выборке работает

от начальной приработки до определенного момента времени перед отказом. Тестовая выборка не содержит данные об отказах. На основе данных из обучающей выборки необходимо выполнить прогноз остаточного ресурса для каждого двигателя в тестовой выборке. Как обучающая, так и тестовая выборки содержат данные о состоянии узлов и агрегатов двигателей (21 датчик) и состоянии систем в операционном окружении двигателя (3 датчика). Так как двигатель работает в различных режимах, на рисунках 6 и 7 представлены графики изменения значений характеристик 24 сенсоров для 10 двигателей, выбранных случайно из обучающей выборки.

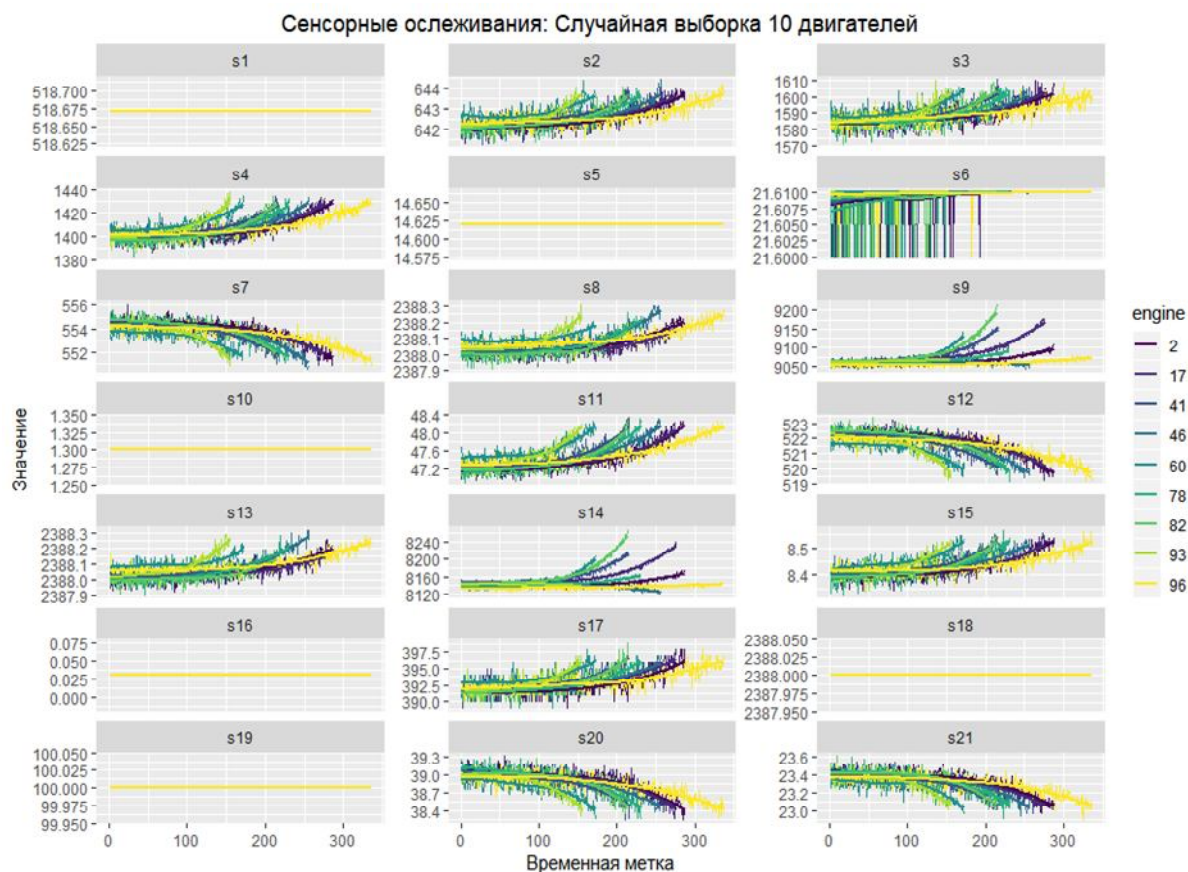


Рисунок 6 – Показания датчиков о состоянии узлов и агрегатов двигателей для 10 случайно выбранных двигателей в обучающей выборке данных

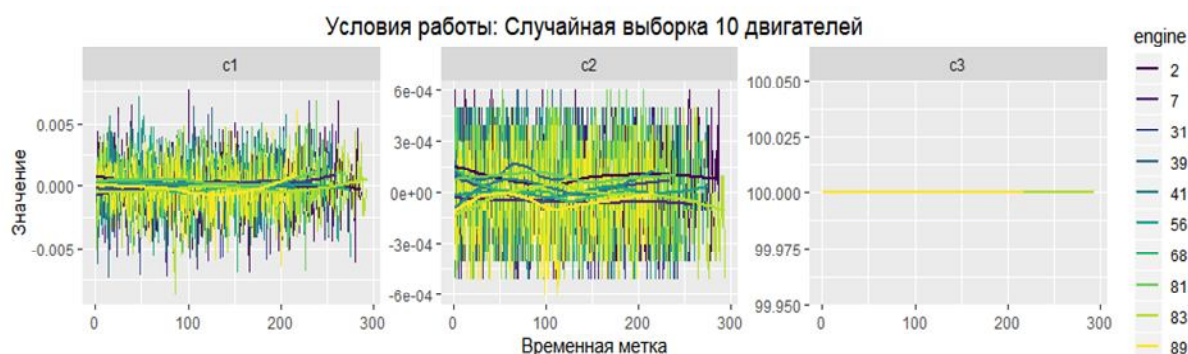


Рисунок 7 – Показания датчиков о системах в операционном окружении для 10 случайно выбранных двигателей в обучающей выборке данных

Процесс подготовки данных для обучения моделей целесообразно представить следующей последовательностью шагов.

1. Вычислить RUL для каждого двигателя в обучающей выборке (из набора отказавших двигателей) и добавить в выборку данных новый столбец, соответствующий значению расчетного RUL.

2. Выполнить инженерии признаков для алгоритмов машинного обучения: удалить признаки, значения которых не изменяются, создать новые признаки из необработанных данных на основе *rolling mean* и *rolling sd* с *window_size* = 5, выбрать значения 20 признаков, имеющих максимальную корреляцию с RUL.

3. Выполнить min-max нормализацию данных:

$$X'_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}.$$

4. Создать трехмерные тензоры с формой (*образцы, метки_времени, признаки*) для алгоритмов глубоких нейронных сетей.

5. Подготовить тестовые данные для следующей оценки качества моделей (по аналогии с подготовкой обучающей выборки).

Обучение всех моделей на обучающем наборе данных производилось на ноутбуке под управлением операционной системы Window 10 x64 с процессором Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU с помощью встроенных возможностей среды разработки R.

Рассмотрим специфику настройки алгоритмов. Для алгоритмов машинного обучения:

1) обучение всех моделей осуществляется с использованием 10-блочной перекрёстной проверки (*K-Fold Cross Validation*, *k_fold* = 10 характеризует число блоков данных) и гиперпараметров по умолчанию;

2) выбор лучших моделей (в данной работе *SVM*, *XGBoost*, и *Random Forest*);

3) оптимизация гиперпараметров (параметров настройки алгоритма) осуществляется для каждой модели из списка лучших моделей: для поиска наилучших гиперпараметров используется приём сеточного поиска (*grid search*) [22]:

i) для алгоритма *Random Forest* лучшей комбинацией гиперпараметров являются: количество деревьев *n_tree* = 500, количество признаков *mtry* = 11;

ii) для алгоритма *SVM* лучшей комбинацией гиперпараметров являются: РБФ-ядра с *C* = 10 и *sigma* = 0.05;

iii) для алгоритма *XGBoost* лучшей комбинацией гиперпараметров являются: *nrounds* = 500, *eta* = 0.1, *max_depth* = 4.

Для алгоритма глубоких нейронных сетей при прогнозировании RUL были реализованы 3 модели глубоких сетей (LSTM, CNN, CNN-LSTM). Вход для всех сетей – *input_shape* = c(50, 18), а выход – блок *Dense* с 1 выходом (численное значение RUL). *Dropout слой* в сетях использовался для решения проблемы переобучения.

Для обучения моделей прогнозирования были использованы оптимизатор «*armsprop*» и функция потерь «*MSE*». Структуры этих моделей с обозначениями слоев в соответствии с нотацией [16] представлены на рисунке 8.

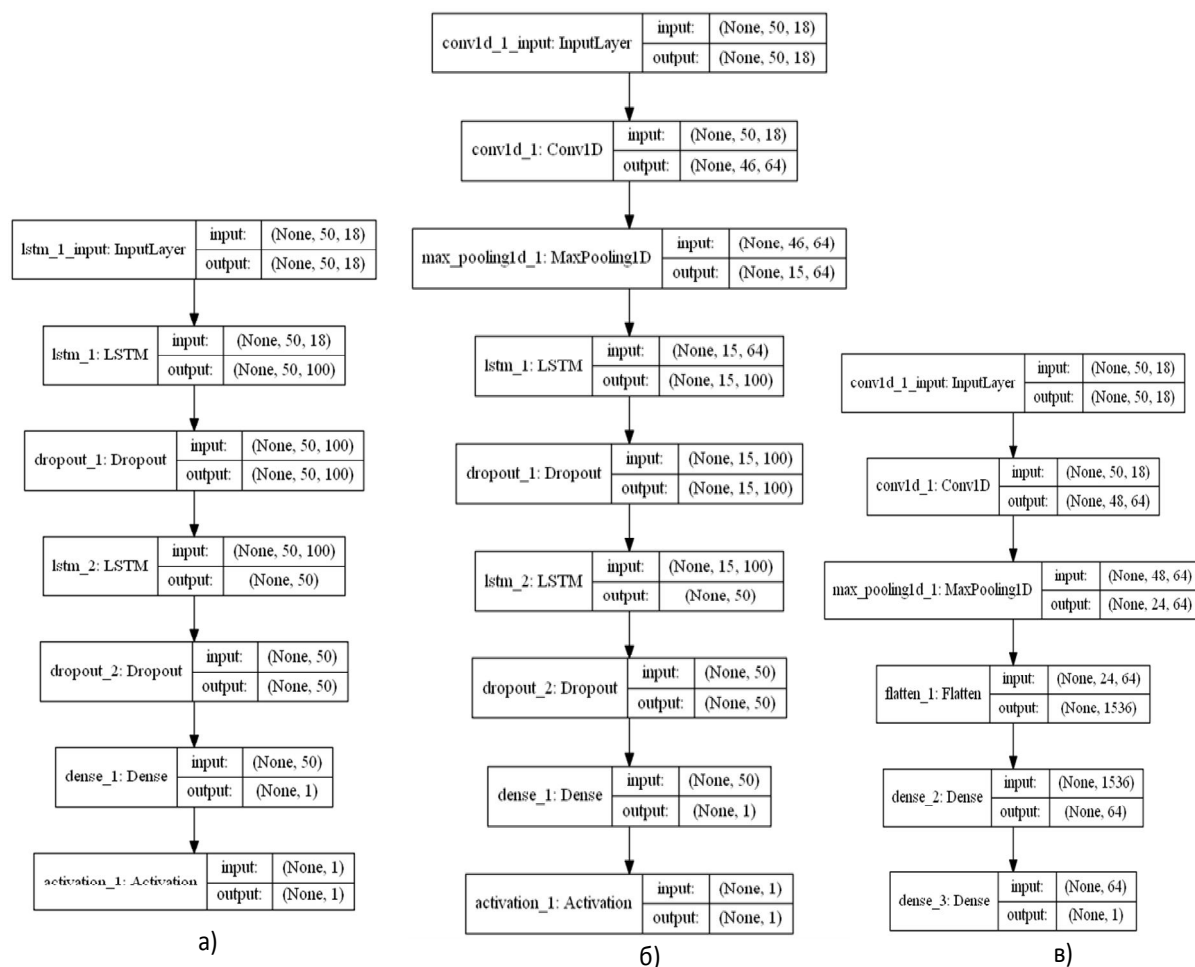


Рисунок 8 – Структура нейросетевых моделей: LSTM (а), CNN-LSTM (б) и CNN (в)

Оценка моделей. В данной работе для оценки точности прогноза используется средняя квадратичная ошибка (Root Mean Square Error, RMSE), которая рассчитывается по формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i^2)} = \sqrt{\text{mean}_{i=1,n} (e_i^2)},$$

где $e_i = (y_i - \hat{y}_i)$, $\hat{y}_i$ и y_i – прогнозные и истинные значения RUL для двигателя i соответственно.

Кроме этого, для учета затрат, связанных с различными видами неправильных прогнозов, использован подход, который заключается в использовании асимметричной функции затрат для оценки. В нашем случае хорошим вариантом является функция S-score, предложенная в [7, 14]. Ее расчет осуществляется по формуле:

$$S\text{-score} = \begin{cases} \sum_{i=1}^N e^{-\frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{13}} - 1, & \text{если } \hat{y}_i - y_i < 0 \\ \sum_{i=1}^N e^{\frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{10}} - 1, & \text{если } \hat{y}_i - y_i \geq 0 \end{cases}$$

где N – общее число двигателей для оценки; $\hat{y}_i$ и y_i – прогнозные и истинные значения RUL для двигателя i соответственно.

При выборе из нескольких моделей предпочтительна модель с наименьшим значением функции S-score.

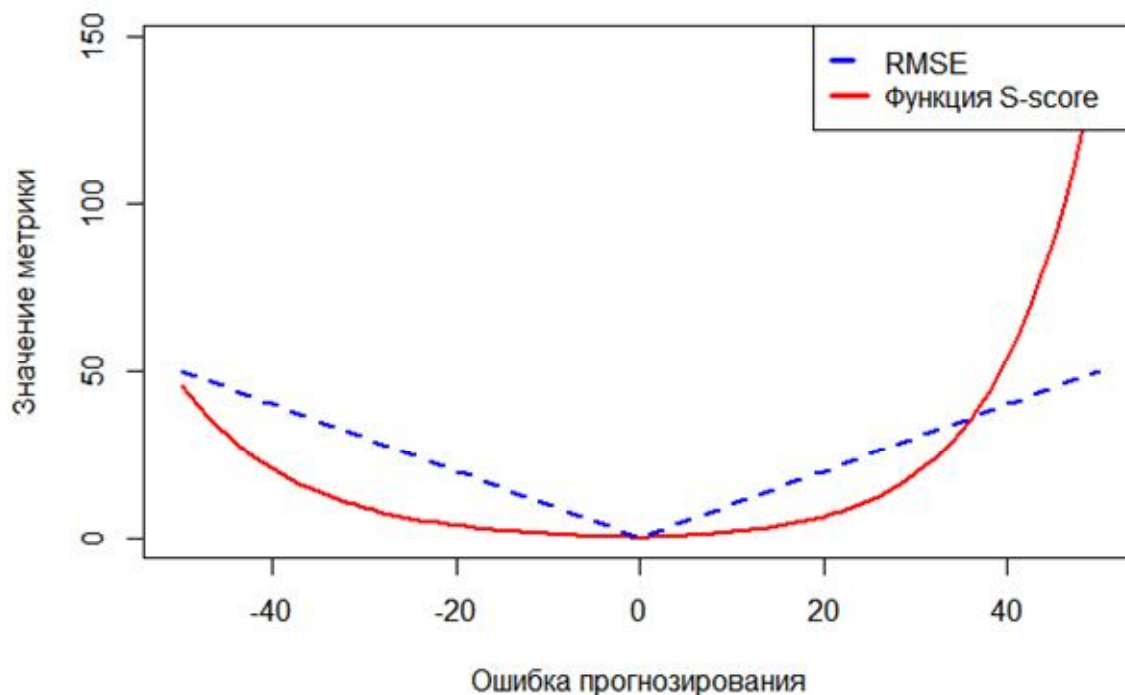


Рисунок 9 – Сравнение функции S-score и RMSE метрики (ошибка прогнозирования = $\hat{y}_i - y_i$)

В таблице представлены значения ошибок, полученных в результате применения различных подходов для прогнозирования остаточного ресурса на двигателях в тестовом наборе данных для проактивной стратегии технического обслуживания. Исходя из приведенных в таблице данных, можно сделать вывод, что методы, основанные на глубоких нейронных сетях, дают результаты лучше других моделей машинного обучения, таких как: случайный лес (RF), экстремальный градиентного бустинга (XGBoost), метод опорных векторов (SVM). Предлагаемый метод на основе ансамбля CNN-LSTM превосходит другие методы по точности как по RMSE, так и по оценочному критерию S-score.

Таблица – Результаты ошибок прогнозирования RUL, полученных различными методами

Методы	RMSE	S-score
CART	24.759	8669.391
SVM	21.836	2084.973
KNN	26.798	10711.539
RF	23.941	2884.107
Бэггинг	23.939	2584.048
XGBoost	22.724	2213.892
LSTM	16.235	1402.445
CNN	18.905	1871.980
CNN-LSTM	15.076	443.231

Заключение. В данной работе предложен метод прогнозирования остаточного ресурса оборудования на основе обработки данных многообъектных сложных систем, основанный на использовании ансамбля нейросетевых моделей CNN-LSTM. Рассмотрен подход, предусматривающий предварительную обработку данных для последующего построения модели. Представлена архитектура системы прогнозистического обслуживания на основе прогнозирования RUL.

В результате вычислительных экспериментов на основе открытых данных NASA показано, что предлагаемая гибридная CNN-LSTM модель, основанная на объединении сверточной нейронной сети (CNN) и сети долгой краткосрочной памяти (LSTM), способна отображать динамику и сложность многомерных данных для решения задач технического обслуживания, дает более высокую точность.

Библиографический список

1. Бобровицкий В. И. Совершенствование системы ТОиР оборудования в условиях централизации ремонтной службы предприятия / В. И. Бобровицкий, А. В. Сидоров // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – Донецк, 2011. – № 1 (24). – С. 23–28.

2. Рябов А. А. Обзор существующих методов оценки остаточного ресурса оборудования нефтегазопереработки / А. А. Рябов // Нефтегазовое дело. – 2016. – № 1. – С. 198–220.
3. Современные стратегии ТОиР. – Режим доступа: <http://galaktika.ua/eam/sovremennye-strategii-toir.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 16.11.2018).
4. Чан Ван Фу. Грамматика запросов для хранилища разнородных данных в проактивных системах / Ван Фу Чан, М. В. Щербаков, Ван Квонг Сай // Программные продукты и системы. – 2018. – № 4. – С. 659–666.
5. Caret: Classification and Regression Training. – Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/caret/index.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 24.01.2018).
6. Goebel K. Prognostics in battery health management / K. Goebel, B. Saha, A. Saxena, J. Celaya, J. Christophersen // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. – 2008. – № 8. – P. 33–40.
7. Hanachi H. A physics-based modeling approach for performance monitoring in gas turbine engines / H. Hanachi, A. Liu, Y. Banerjee, A. Koul // IEEE Trans. Rel. – 2015. – № 1. – С. 6197–205.
8. Heng A. Intelligent prognostics of machinery health utilising suspended condition monitoring data / A. Heng // Queensland University of Technology. – Australia, Brisbane, 2009.
9. Huang Z. Remaining useful life prediction for a nonlinear heterogeneous Wiener process model with an adaptive drift / Z. Huang, Z. Xu, W. Wang, Y. Sun // IEEE Trans. Rel. – 2015. – № 2. – С. 687–700.
10. Khoury E. On the Use of Time-Limited Information for Maintenance Decision Support: A Predictive Approach under Maintenance Constraints / E. Khoury, E. Deloux, A. Grall, C. Berenguer // Mathematical Problems in Engineering. – 2013. – № 2. – P. 1–11.
11. Li X. Remaining useful life estimation in prognostics using deep convolution neural networks / X. Li, Q. Ding, J. Sun // Reliab. Eng. Syst. Saf. – 2018. – С. 1–11.
12. Liu J. A data-model-fusion prognostic framework for dynamic system state forecasting / J. Liu, W. Wang, F. Ma, Y. Yang, C. Yang // Eng. Appl. Artif. Intell. – 2012. – № 4. – P. 814–823.
13. Liu J. A multi-step predictor with a variable input pattern for system state forecasting / J. Liu, W. Wang, F. Golnaraghi // Mech. Syst. Signal Process. – 2009. – P. 1586–1599.
14. Liu J. An adaptive recurrent neural network for remaining useful life prediction of lithiumion batteries / J. Liu, A. Saxena, K. Goebel, B. Saha, W. Wang // Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society. – 2010. – P. 1–29.
15. Mathew V. Prediction of Remaining Useful Lifetime (RUL) of Turbofan Engine using Machine Learning / V. Mathew, T. Tom, S. Vikram, B. Maheswara, M. Kumar // IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS 2017). – 2017.
16. R Interface to Keras. – Режим доступа: <https://keras.rstudio.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 06.02.2018).
17. R Interface to TensorFlow. – Режим доступа: <https://tensorflow.rstudio.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 06.02.2018).
18. Random Forests R Package. – Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 24.01.2018).
19. Shankar S. Remaining Useful Life Prediction through Failure Probability Computation for Condition-based Prognostics / S. Shankar // Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society. – 2015.
20. Si S. Remaining useful life estimation-A review on the statistical data-driven approaches / S. Si, W. Wang, H. Hu, H. Zhou // Eur. J. Oper. Res. – 2013. – P. 1–11.
21. The R Project for Statistical Computing. – Режим доступа: <https://www.r-project.org/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.10.2018).
22. Tuning machine learning models using the caret R package. – Режим доступа: <https://machinelearningmastery.com/tuning-machine-learning-models-using-the-caret-r-package/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 15.10.2018).
23. Turbofan engine degradation simulation data set. – Режим доступа: <https://c3.nasa.gov/dashlink/resources/139/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 06.04.2018).
24. XGBoost R Package. – Режим доступа: <https://xgboost.readthedocs.io/en/latest/R-package/index.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 24.01.2018).
25. Xiongzi C. Remaining useful life prognostic estimation for aircraft subsystems or components: A review / C. Xiongzi, Y. Jinsong, T. Diyin, W. Yingxun // 10th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI). – 2011. – № 2. – P. 94.
26. Yaguo L. A Model-Based Method for Remaining Useful Life Prediction of Machinery / L. Yaguo, L. Naipeng, G. Szymon, L. Jing, R. Stanislaw, D. Jacek // IEEE Transactions on Reliability. – 2017.
27. Yu J. Remaining useful life prediction for lithium-ion batteries using a quantum particle swarm optimization-based particle filter / J. Yu // Quality Engineering. – 2017. – Iss. 29. – P. 536–546.

References

1. Bobrovitskiy V. I., Sidorov A. V. Sovershenstvovanie sistemy TOiR oborudovaniya v usloviyakh tsentralizatsii remontnoy sluzhby predpriyatiya [Improvement of the equipment maintenance and repair system in the conditions of centralization of the enterprise's repair service]. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashhita* [Machine vibration: measurement, reduction, protection], 2011, no. 24, pp. 23–28.

2. Ryabov A. A. Obzor sushhestvuyushchikh metodov otsenki ostatocnogo resursa oborudovaniya nefte-gazopererabotki [Review of existing methods for assessing the residual life of oil and gas processing equipment]. *Nefte-gazovoe delo* [Oil and Gas Business], 2016. no. 1, pp. 198–220.
3. *Sovremennye strategii* [Modern MRO strategies]. Available at: <http://galaktika.ua/eam/sovremennye-strategii-toir.html> (accessed 16. 11.2018).
4. Chan Van Fu, Shcherbakov M. V., Say Van Kvang. Grammatika zaprosov dlya khranilishcha raznorodnykh dannykh v proaktivnykh sistemakh [Query grammar for storage of heterogeneous data in proactive systems]. *Programmye produkty i sistemy* [Software Products and Systems], 2018, no. 4, pp. 659–666.
5. *Caret: Classification and Regression Training*. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/caret/index.html> (accessed 24.01.2018).
6. Goebel K., Saha B., Saxena A., Celaya J. R., and Christophersen J. P. Prognostics in battery health management. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 2008, vol. 8, pp. 33–40.
7. Hanachi H., Liu J., Banerjee A., Chen Y., and Koul A. A physics-based modeling approach for performance monitoring in gas turbine engines. *IEEE Trans. Rel.*, 2015, vol. 64, no. 1, pp. 197–205.
8. Heng A. Intelligent prognostics of machinery health utilising suspended condition monitoring data. *Queensland University of Technology*, Brisbane, Australia, 2009.
9. Huang Z. Y., Xu Z. G., Wang W. H., and Sun Y. X. Remaining useful life prediction for a nonlinear heterogeneous Wiener process model with an adaptive drift. *IEEE Trans. Rel.*, 2015, vol. 64, no. 2 pp. 687–700.
10. Khoury, E., Deloux, E., Grall, A., & Berenguer, C. On the Use of Time-Limited Information for Maintenance Decision Support: A Predictive Approach under Maintenance Constraints. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, no. 2, pp. 1–11.
11. Li, X., Ding, Q., Sun, J. Remaining useful life estimation in prognostics using deep convolution neural networks. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 2018, pp. 1–11.
12. Liu J., Wang W., Ma F., Yang Y., and Yang C. A data-model-fusion prognostic framework for dynamic system state forecasting. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 2012 vol. 25, no. 4, pp. 814–823.
13. Liu J., Wang W., and Golnaraghi F. A multi-step predictor with a variable input pattern for system state forecasting. *Mech. Syst. Signal Process.*, 2009, vol. 23, pp. 1586–1599.
14. Liu J., Saxena A., Goebel K., Saha B., and Wang W. An adaptive recurrent neural network for remaining useful life prediction of lithium-ion batteries. *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society*, 2010, pp. 1–9.
15. Mathew V., Tom T., Vikram S., Maheswara B., Kumar G. Prediction of Remaining Useful Lifetime (RUL) of Turbofan Engine using Machine Learning. *IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS 2017)*, 2017.
16. *R Interface to Keras*. Available at: <https://keras.rstudio.com/> (accessed 06.02.2018).
17. *R Interface to TensorFlow*. Available at: <https://tensorflow.rstudio.com/> (accessed 06.02.2018).
18. *Random Forest R Package*. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/> (accessed 24.01.2018).
19. Shankar S. Remaining Useful Life Prediction through Failure Probability Computation for Condition-based Prognostics. *Proceedings of the 2015 Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society*, 2015.
20. Si S., Wang W., Hu H., Zhou H. Remaining useful life estimation-A review on the statistical data-driven approaches. *Eur. J. Oper. Res.*, 2011, pp. 1–11.
21. *The R Project for Statistical Computing*. Available at: <https://www.r-project.org/> (accessed 10.10.2018).
22. *Tuning machine learning models using the caret R package*. Available at: <https://machinelearningmastery.com/tuning-machine-learning-models-using-the-caret-r-package/> (accessed 15.10.2018).
23. *Turbofan engine degradation simulation data set*. Available at: <https://c3.nasa.gov/dashlink/resources/139/> (accessed 06.04.2018).
24. *XGBoost R Package*. Available at: <https://xgboost.readthedocs.io/en/latest/R-package/> (accessed 24.01.2018).
25. Xiongzi C., Jinsong Y., and Yingxun W. Remaining useful life prognostic estimation for aircraft subsystems or components: A review. *10th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, 2011, no. 2, p. 94.
26. Yaguo L., Naipeng Li, Szymon Gontarz, Jing Lin, Stanislaw Radkowski, and Jacek Dybala. A Model-Based Method for Remaining Useful Life Prediction of Machinery. *IEEE Transactions on Reliability*, 2017.
27. Yu J. Remaining useful life prediction for lithium-ion batteries using a quantum particle swarm optimization-based particle filter. *Quality Engineering*, 2017, vol. 29, pp. 536–546.

УДК [004.9+ 004.021]:[378.146+373.1]

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ ОТВЕТОВ.****Часть 2. Тестовые задания категорий****«на установление соответствия объектов» и «со свободным вводом ответов»***Статья поступила в редакцию 30.12.2018, в окончательном варианте – 11.03.2019.*

Брумиштейн Юрий Моисеевич Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
кандидат технических наук, доцент, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0016-7295>,
https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=280533, e-mail: brum2003@mail.ru

Коновалова Дарья Игоревна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
студент, ORCID 0000-0002-8348-0171, e-mail: haizbq@gmail.com

Для категории тестовых заданий «на установление связей между предъявленными объектами» рассмотрено следующее. А. Виды связей между объектами: «один к одному»; «один ко многим»; «многие ко многим»; «смешанные». Б. Пять подкатегорий заданий с вариантами реализации для четких и нечетких ответов: б₁) тестируемый задает «степени уверенности выбора» (в %) для выбираемых им связей между парами объектов; б₂) выбираются связи между объектами и указываются оценки «сил этих связей», но без «знаков» и «направлений влияния». «Знаки» могут отражать «положительные» или «отрицательные» влияния объектов, а «направления» – указывать, какой из объектов в паре влияет на другой; б₃) выбираются связи, для них указываются «знаки» и «направления» влияния (односторонние и/или двусторонние), но не «силы влияния»; б₄) для выбираемых связей задаются «направления» и «знаки» влияния (допускаются двусторонние асимметричные связи); б₅) выбираются связи между объектами, задаются «направления» и «силы влияния со знаками». Подкатегории «б₄» и «б₅» по идеологии близки к «когнитивным диаграммам». Для б₁–б₅ рассмотрены варианты предъявления «объектов для связывания»; задания связей между объектами, в том числе путем «прочерчивания линий»; указания «уверенности в наличии связей» или «сил связей»; алгоритмы обработки ответов тестируемых по совокупности выбранных связей и их характеристик. Показано, что задания «на группировку объектов» могут рассматриваться как особый класс заданий. Для категории тестовых заданий «со свободным вводом ответов» рассмотрены подкатегории: 1) с дополнением информации, размещенной в поле ввода ответа; 2) с корректировкой (изменением) этой информации; 3) с вводом ответа в пустое поле: только текста, одного числа, двух и более чисел; текста + число (или чисел). Для четких и нечетких ответов рассмотрены особенности формулирования вопросов; принципы алгоритмической и программной обработки ответов. Приведены примеры интерфейсов реализации тестовых заданий.

Ключевые слова: информационные технологии, компьютерное тестирование, виды тестовых заданий, задания на выбор соответствия объектов, задания со свободным вводом ответов, четкие ответы, нечеткие ответы, методы оценивания ответов, адаптивное тестирование, программные средства

**SYSTEM ANALYSIS of COMPUTER TESTING TECHNOLOGIES
WITH ILLEGIBLE ANSWERS USING.****Part 2. Test tasks of categories****"establishment of objects conformity " and "free answers input"***The article was received by editorial board on 30.12.2018, in the final version – 11.03.2019.*

Brumshteyn Yuri M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0016-7295>,
https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=280533, e-mail: brum2003@mail.ru

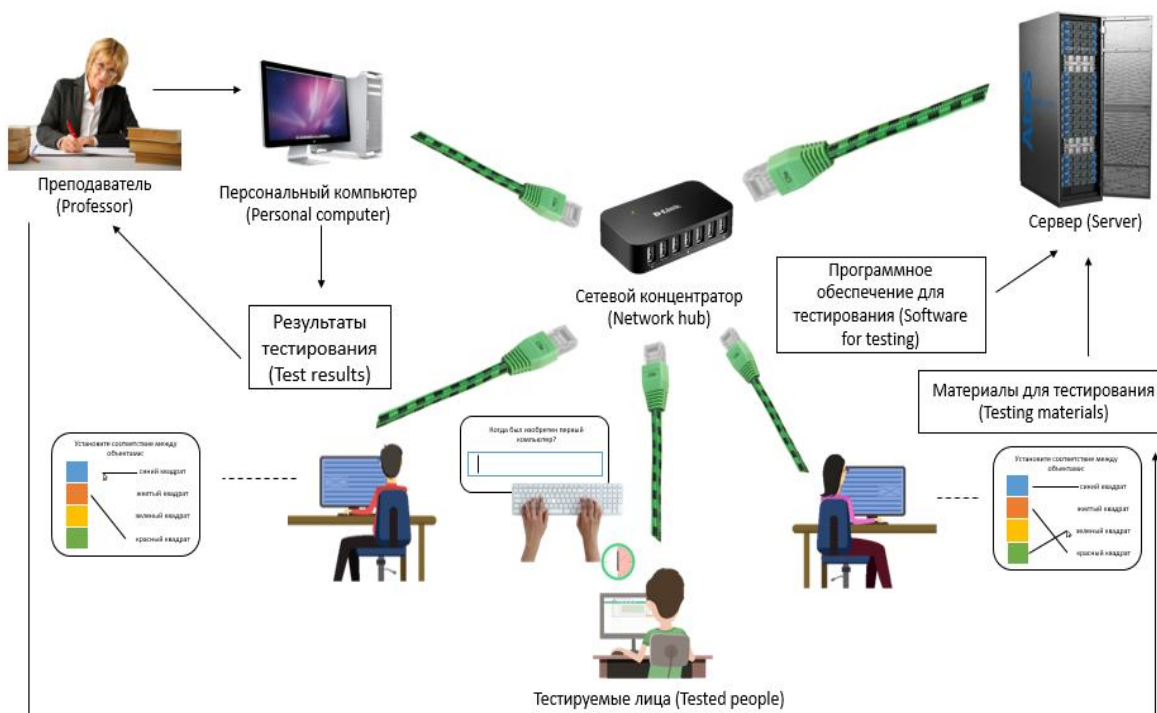
Konovalova Daria I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
student, ORCID 0000-0002-8348-0171, e-mail: haizbq@gmail.com

For the test tasks category "on connection establishment between the shown objects" the following is considered. A. Types of connections between objects: "one to one"; "one to many"; "many to many"; "mixed". B. Five subcategories of tasks with realization options for legible and illegible answers: б₁) tested person "degrees of choice confidence" (in %) for the chosen connections between couples of objects; б₂) connections between objects are chosen and "their forces" are estimated, but without "signs" and "directions of influence". "Signs" can reflect "positive" or "negative" influences of objects. "Directions" can indicate which object in each couple influence at another; б₃) connections are chosen and their «signs» and "directions" of influence (unilateral and/or bilateral), but not "influence forces" are specified for them; б₄) for the chosen connections "directions" and "signs" of influence are set (bilateral asymmetric ties are allowed); б₅) connections between objects are chosen, "directions" and "influence forces with signs" are set. Subcategories "б₄" and "б₅" on their ideology are close to "cognitive

charts". For b_1 – b_5 authors are considered presentation options of "objects for binding"; tasks of communications between objects, including "drawing lines"; instructions "confidence available communications" or "forces of communications"; algorithms of tested people's answers processing of the chosen connections and their characteristics. It is shown that tasks on "objects grouping" can be considered as special class of tasks. For test tasks, belonged to category "with free input of answers" such subcategories are considered: 1) with addition of information, placed in the "entry field" for the answer; 2) with updating (change) of this information; 3) with the answer input to the empty field: only the text, one number, two or more numbers; text + number (or numbers). For legible and illegible answers authors are considered features of questions formulation; principles of algorithmic and program answers processing. Examples of tasks interfaces realization are given.

Key words: information technologies, computer testing, types of test tasks, tasks for the choice of objects conformity, tasks with free input of answers, definite answers, indistinct answers, methods of answers estimation, adaptive testing, software

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. В настоящее время в России компьютерное тестирование знаний (КТЗ) широко применяется в различных целях, в том числе в системах контроля самоподготовки обучающихся лиц [8], для оперативного контроля процесса обучения, при обучающем тестировании [21]. При этом традиционно используется четыре основных типа тестовых заданий (ТЗ) [1, 11, 26], причем для всех типов абсолютно преобладают варианты ТЗ с «четкими ответами» [4, 5]. Именно для таких ответов разработаны методы оценки самих ТЗ [12]; оценки результатов тестирования [22], в том числе и «нечеткого» оценивания [14].

Хотя в отношении ТЗ с «нечеткими ответами» в литературе и имеется ряд публикаций [9, 15, 19, 27], но в них не рассматривается целый ряд практически важных вопросов, связанных технологиями предъявления тестируемым лицам контрольных материалов; методами получения ответов от тестируемых лиц; математической обработки ответов. Недостаточная разработанность «практических вопросов» использования «ТЗ с нечеткими ответами» тормозит их включение в компьютерные системы контроля знаний, использование в образовательном процессе [1]. Также недостаточно полно рассмотрены технологические вопросы использования в ТЗ «графических и «аудиовизуальных объектов» [16], в том числе выполнения манипуляций с такими объектами при формировании ответов на ТЗ. Тематика, связанная с применением «графических объектов» в ТЗ с нечеткими ответами, в литературе не исследована вообще.

Поэтому целью данной статьи, являющейся продолжением [4], является анализ практических вопросов использования ТЗ с нечеткими ответами для двух категорий: на установление соответствия предъявленных объектов [23]; со свободным вводом ответов [10]. Для каждой из этих двух категорий выделены подкатегории и для них исследован комплекс вопросов методического и технологического характера, связанных с практической реализацией компьютерного тестирования. Рассматриваемый материал проиллюстрирован рядом конкретных примеров, относящихся к сфере «Информатика и вычислительная техника».

Общая характеристика проблематики статьи. В рамках создания тестов рассматриваемые в данной статье категории ТЗ могут комбинироваться друг с другом и с двумя другими категориями заданий, исследованными в предыдущей работе [4]. Сразу же укажем, что использование ТЗ с нечеткими ответами обычно требует от тестируемых лиц большего времени для принятия решений и выполнения соответствующих действий, чем для ТЗ с четкими ответами. Однако и методические возможности для ТЗ с нечеткими ответами значительно шире.

При одновременном тестировании группы лиц с целью повышения вариативности рассматриваемых в данной статье категории заданий может проводиться автоматическая генерация некоторых параметров ТЗ – в особенности в заданиях расчетного характера. Для этой цели могут применяться, в частности, программные генераторы случайных чисел, а также соответствующие «штатные» средства MS Excel [25].

Порядок предъявления ТЗ в рамках выполнения тестирования может иметь такие же варианты, как описано в предыдущей работе [4]. Существенно, что для двух категорий ТЗ, рассматриваемых в данной статье, методы оценивания нечетких ответов имеют значительные особенности.

Применение в ТЗ графических объектов не является самоцелью. Однако во многих случаях оно способно значительно расширить методические возможности использования заданий. Кроме того, представляют интерес практические методы (приемы) использования манипулятора мышь для графического представления ответов на ТЗ тех двух категорий, которые рассматриваются в данной статье.

Обычной практикой при тестировании является передача тестируемому лицу информации путем ее отображения на экране. При этом могут быть использованы текстовые сообщения, числовой материал, графические объекты в виде статической и динамической графики. Однако в некоторых специальных случаях может быть оправданным и передача тестируемому лицу вопросов ТЗ, указаний и пр. с помощью «синтезированной речи», а также получения от него ответов в «речевой форме» [17]. Это касается, в частности, контрольно-обучающих систем. Например, неверные действия тестируемых лиц уже при подготовке ответов на отдельные ТЗ могут выявляться программными средствами и сразу же «комментироваться вслух» с использованием «синтезированной речи» или заранее записанных в базу данных слов и/или выражений. Кроме того, прием и передача речевой информации может быть важна для лиц с ограниченными возможностями по зрению.

Как и в предыдущей работе [4], мы для простоты не рассматриваем вопросы управления продолжительностью ответов тестируемых на отдельные ТЗ и на тест в целом.

Тестовые задания на «выбор соответствия предложенных объектов». Эту категорию ТЗ принято относить к группе заданий закрытого типа [23], поскольку тестируемый «оперирует» только с теми объектами, которые ему предъявляются.

Подход на основе четкой логики. Обычно в этом случае испытуемому предъявляются два списка объектов в виде их текстовых названий. Эти списки могут быть показаны, например, в левой и правой частях экрана, причем для «правого» списка указываются порядковые номера объектов. Для каждого из объектов в «левом» списке тестируемый должен в специальных окошках указать соответствующие им объекты в «правом» списке (в виде их номеров).

В типичных случаях сопоставление (связывание) объектов в левом и правом списках осуществляется тестируемым по схеме «один к одному». При этом «усложняющим фактором» может быть неравенство количеств объектов в двух предъявляемых списках. Если в левом списке объектов больше, то один или большее их количество не будут сопоставлены никаким объектам в правом списке. И, наоборот, если в правом списке больше объектов, то один или большее количество из них не будут ничему сопоставлены в левом списке.

В более общем случае каждому объекту в «левом» списке могут быть сопоставлены «ноль», «один» или большее количество объектов в «правом» списке. При этом могут использоваться такие типы связей из объектов левого списка к объектам правого списка: «один к одному», «один ко многим»; «многие к одному». При одновременном наличии связей двух последних типов можно говорить о том, что для двух списков имеют место связи типа «многие ко многим».

Если в ТЗ предусматривается графический интерфейс, то вместо ввода номеров объектов в специальные окошки (см. выше) можно реализовать «прочерчивание» связей между «элементами списков» с помощью курсора мыши.

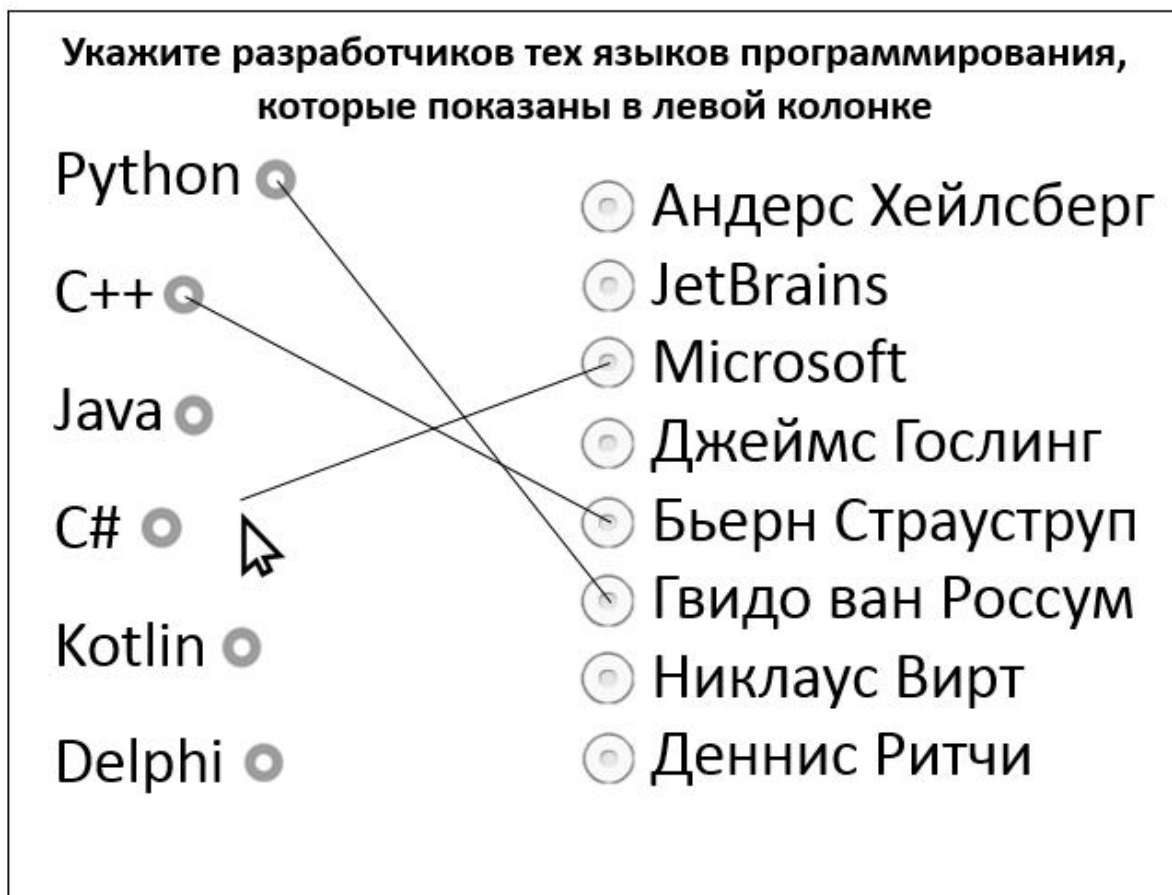


Рисунок 1 – Пример тестового задания на выбор соответствия объектов в двух представленных списках

При этом практическую сложность будет представлять автоматическая смена «видов линий» при связывании различных объектов (это целесообразно для обеспечения зрительного различия пересекающихся линий). Дифференциация «вида линий» особенно полезна при большом количестве связей между объектами. При этом для «группы связей» типа «один ко многим» и «многие к одному» целесообразно использовать одинаковые «виды линий».

Для дифференциации «видов линий» может быть использовано изменение их толщин, видов линий (сплошная, пунктирная, штрих-пунктирная и т.д.), цветов.

«Прочерчивание связей» между объектами более наглядно по сравнению с вводом «номеров сопоставляемых объектов». Поэтому такую технологию задания связей можно даже использовать даже при тестировании младших школьников.

Предполагается, что все указываемые связи являются «четкими», т.е. тестируемый либо указывает какие-то связи, либо не указывает – если считает, что их нет.

В техническом плане «прочерчивания» связей можно осуществить так: нажать левую кнопку мыши в «начальной точке» (на первом связываемом объекте); не отпуская кнопку, переместить курсор ко второму связываемому объекту (при этом в процессе перемещения курсора на мониторе ПЭВМ появляется линия); отпустить кнопку в конечной точке (на втором связываемом объекте).

В программно-техническом отношении сопоставление прочерчиваемых связей с объектами может осуществляться исходя из положений точек «начала» и «конца» каждой задаваемой связи. Если эти точки попадают в прямоугольники, сопоставленные связываемым объектом, то связь считается заданной, и она начинает отображаться на мониторе ПЭВМ. Удаление связи может быть реализовано, например, двойным щелчком мышью на соединительной линии.

Есть также более наглядный вариант реализации рассматриваемой категории ТЗ – вместо списков объектов на экране ПЭВМ представляются их изображения в виде иконок. При этом установление связей по-прежнему предполагается в виде прочерчивания линий между объектами – в данном случае графическими.



Рисунок 2 – Пример использования иконок (пиктограмм) в тестовых заданиях на установление соответствия объектов

В простейшем случае оценка в баллах за ответ на i -й ТЗ данной категории (B_i) может осуществляться на основе формул типа (1):

$$B_i = W_i \Omega_i, \quad (1)$$

где W_i – весовой коэффициент для ТЗ, определяющий уровень его сложности; $\Omega_i = 1$ – если тестируемый указал те и только те связи, которые включены в «эталон ответа на ТЗ», по которому осуществляется проверка; $\Omega_i = 0$ – если тестируемый не указал часть связей, предусмотренных в этом эталоне, и/или указал те связи, которых в этом эталоне нет.

Из-за большого количества потенциально возможных связей в рассматриваемой категории ТЗ вероятность случайного правильного ответа, оцениваемого на основании формулы (1), обычно не высокая.

Некоторым обобщением описанного варианта ТЗ может быть использование не двух, а большого количества групп объектов, причем для каждого из объектов одной группы могут указываться связи с любыми объектами других групп, но не с объектами в «своей» группе. В частном случае в некоторых из таких групп может быть только по одному объекту. При этом оценка ответа на ТЗ в рамках четкой логики может осуществляться аналогично тому, что сказано выше – если не указана хотя бы одна «правильная» связь или указана хотя бы одна неправильная (не предусмотренная в эталоне ответа), то за ТЗ засчитывается «ноль» баллов.

Представляется, что при большом количестве объектов, между которыми потенциально могут существовать связи, такое «бинарное» оценивание результатов ТЗ (правильно или не правильно) может быть чересчур «жестким». Причина – единственная ошибка, допущенная тестируемым, приводит к получению нулевого количества баллов за весь ТЗ. Кроме того, наличие некоторых связей в ряде случаев может носить «дискуссионный характер». Например, могут быть относительно редкие ситуации, в которых указание связей, не предусмотренных в «эталонах ответов», может считаться оправданным.

Подходы на основе ответов с «*нечетким оцениванием*» для данной категории ТЗ позволяют более объективно (а в некоторых случаях и более комплексно) оценить знания обучающихся. Такие подходы могут рассматриваться по трем направлениям.

1. Для связей не используются никакие дополнительные характеристики. Осуществляется «частичный зачет» баллов за ТЗ. При этом в простейшем случае может быть использована формула

$$B_i = W_i (K^{true} / K^{total}), \quad (2)$$

где W_i – весовой коэффициент для ТЗ (как и ранее определяющий его сложность); K^{true} – количество правильно указанных тестируемым лицом связей; K^{total} – общее количество связей, которые включены в «эталон ответа на i -й ТЗ» в качестве «правильных».

Однако в (2) вообще не учитывается количество неверно указанных связей, что является недостатком подхода. Поэтому представляется более оправданным использование формулы

$$B_i = W_i \left((\lambda_i^{true} K_i^{true} - \lambda_i^{untrue} K_i^{untrue}) / K_i^{total} \right), \quad (3)$$

где K_i^{true} , K_i^{untrue} – соответственно количества «правильно» и «неправильно» выбранных тестируемым лицом связей для объектов, предъявленных в i -м ТЗ; K^{total} – количество «правильных» связей, включенных в «эталон» ответа для i -го ТЗ; λ_i^{true} , λ_i^{untrue} – весовые коэффициенты для «верных» и «неверных» связей в i -м ТЗ.

В (3) обычно целесообразно принять:

$$\lambda_i^{true} = 1, \quad \lambda_i^{untrue} > 1. \quad (4)$$

При использовании (4) ошибочно указанные для ТЗ связи расцениваются «более негативно», чем не полностью выбранные «правильные» связи.

В случае использования (4), если тестируемый выбрал не все правильные связи и не выбрал ни одной неправильной, то формула (3) превращается в (2).

Для упрощения использования формулы (3) можно значения λ_i^{true} , λ_i^{untrue} для всех ТЗ выбирать одинаковыми. Однако это априорно снижает возможности дифференцированного учета ответов по различным ТЗ.

2. Тестируемый не только задает связи между объектами, но и указывает для каждой связи «*степень уверенности*» в том, что такая связь действительно есть.

При этом прочерчивание связей между объектами в левой и правой частях рисунка целесообразно выполнять с помощью курсора; дифференцировать линии (при необходимости) можно с помощью выбора «типа» линий (сплошная, пунктирная, штрих-пунктирная и пр.); «степень уверенности» в отношении наличия связи (%) – при помощи числа, отображаемого около связи.

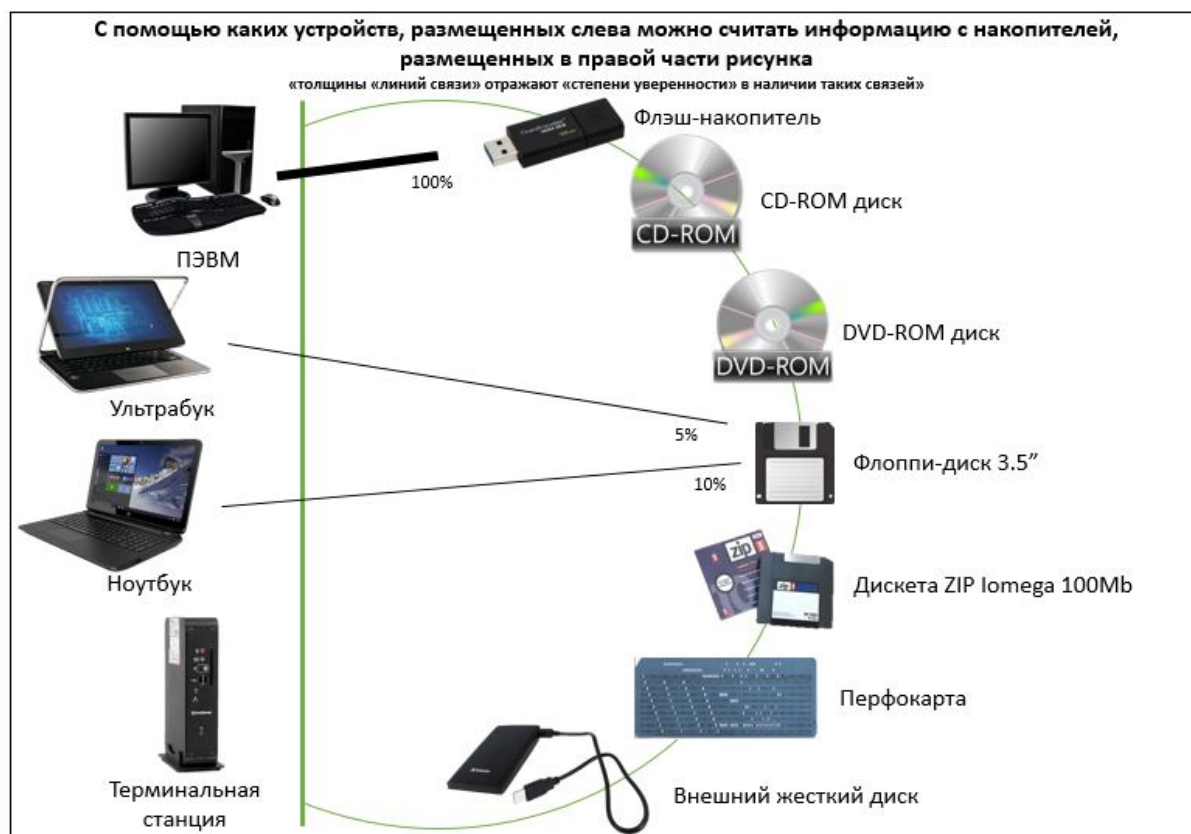


Рисунок 3 – Пример не полностью введенного ответа по ТЗ, предусматривающего указание связей объектов друг с другом с использованием «нечетких ответов»

Для наглядного представления «степеней уверенности» в наличии связей с помощью «толщин линий» связи можно использовать «шкалу соответствия» – например, представленную в таблице. При этом синий цвет в ТЗ будет соответствовать заданию параметров «степеней уверенности» в наличии связей).

Таблица – Пример соответствия «толщин линий» и «степеней уверенности» в наличии связей

Толщина линии	Внешний вид линии	Степень уверенности в наличии связи между объектами (%)
0,25 пункта		5
0,5 пункта		10
1 пункт		20
2 пункта		40
3 пункта		60
4 пункта		80
5 пунктов		100

Тогда задание «степеней уверенности» в наличии связей можно реализовать путем щелчка правой кнопкой мыши на каждой уже заданной связи и последующего установления для этой связи толщины линии, соответствующей «степени уверенности».

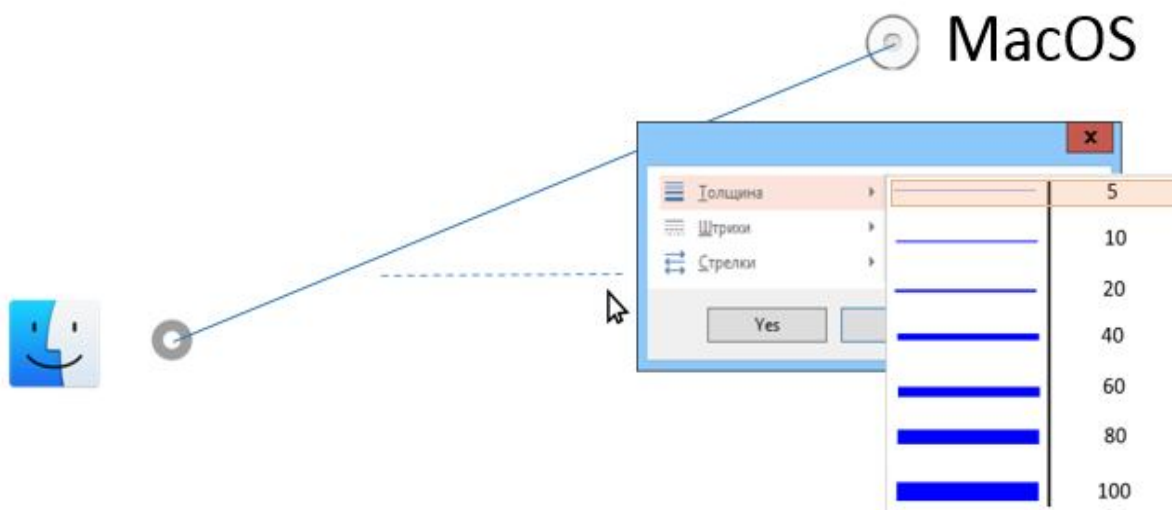


Рисунок 4 – Представление «степеней уверенности» в наличии связей между объектами с помощью толщин линий синего цвета, задающих эти связи

3. Вариант, более близкий к реальным условиям принятия решений. Тестируемый уверен, что задаваемая им связь наверняка есть (т.е. вероятность ее существования 100 %) и дополнительно указывает/оценивает «силу такой связи». При этом тестируемый может ограничиваться лишь достаточно «сильными» (с его точки зрения) связями.

В техническом плане задание «сил связей» можно реализовать аналогично тому, как это делалось ранее для «степеней уверенности» в наличии связей. При этом можно использовать «градации», соответствующие таким вербальным оценкам сил связей: «очень сильная»; «сильная»; «средней силы»; «ниже среднего уровня»; «слабая»; «очень слабая». Тогда (в отличие от таблицы) необходимо использовать набор из шести толщин линий красного цвета (этот цвет мы «закрепляем» за представлением «сил связей»). Соответственно в выпадающем списке (рис. 5) будет шесть объектов для выбора.

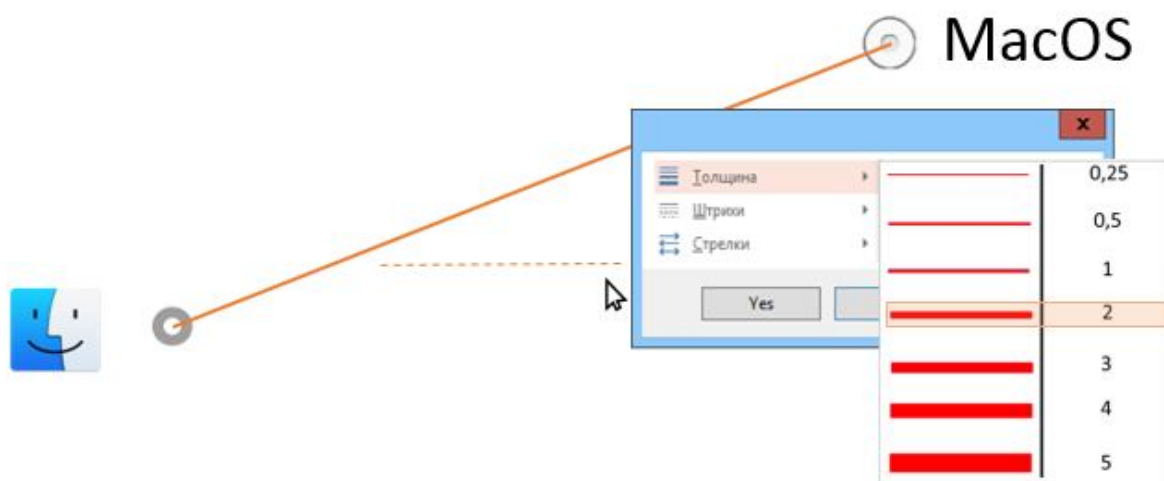


Рисунок 5 – Задание «сил связей» с помощью толщин линий красного цвета, соответствующих этим связям

Для простоты далее будем считать, что силы связей оцениваются «по модулю», т.е. не дифференцируются «позитивные» и «негативные» связи между объектами. Данный подход можно считать упрощенным по отношению к «когнитивным моделям» [13]).

Переходим к вопросам обработки ответа тестируемого лица по пункту «в». Примем, что для всех предъявленных в i -м ТЗ объектов задана «эталонная» квадратная матрица «сил связей», которая должна быть по мнению разработчика ТЗ. В ее клетках размещены «правильные» количественные оценки «сил связей» по модулю. Обозначим эту матрицу как $[E_{n1,n2}]_{n1=1...N1,n2=1...N1}$, где $N1$ – размерность матрицы, равная общему количеству предъявленных объектов.

Подчеркнем, что часть элементов этой матрицы изначально предполагается нулевой, т.е. соответствующие связи отсутствуют. Это касается отсутствия как внутригрупповых связей (например, между объектами, размещенными в правой части экрана), так и межгрупповых – т.е. между объектами, расположенными в левой и правой частях экрана.

Поскольку направления влияния объектов друг на друга не учитываются, то матрица является симметричной и, следовательно, можно работать только с ее «нижним» или «верхним» треугольником.

Оценки тестируемым лицом «сил связей» между предъявленными объектами будем считать заданными в виде элементов матрицы $[F_{n1,n2}]_{n1=1 \dots N1, n2=1 \dots N1}$. Построим матрицу модулей разностей (difference) $[D]$ между «эталонными» оценками для ТЗ и «фактическими» оценками тестируемого лица. При этом будем использовать поэлементное вычитание величин в этих матрицах, т.е.

$$D_{n1,n2} = |F_{n1,n2} - E_{n1,n2}|. \quad (5)$$

Тогда оценка по результатам выполнения i -го ТЗ может быть дана на основании «верхнего треугольника» матрицы $[D]$

$$B_i = W_i \left(\sum_{n1=1}^{N1} \sum_{n2=n1+1}^{N1} D_{n1,n2} \right) / K^{(E)}, \quad (6)$$

где $K^{(E)}$ – количество ненулевых элементов в верхнем треугольнике матрицы $[E]$. Использование предложенной нормировки в формуле (6) позволяет накапливать в сумматоре по тесту баллы по ТЗ, с разными количествами предъявленных объектов.

Обобщение описанного подхода возможно в различных направлениях.

А. Использование в формуле (5) не модуля, а величины «разницы со знаком». Соответственно в (6) может быть выполнен дифференцированный (с разными весовыми коэффициентами) учет положительных и отрицательных членов в матрице $[D]$.

Б. Различный учет «положительных» и «отрицательных» направлений влияния объектов друга на друга (это уже будет соответствовать «ориентированным связям» между объектами). Отметим, что в этом случае связи могут быть и двусторонними, что потребует использования «полных» матриц $[F], [E]$ – вместо их нижних треугольников.

Тестовые задания на «группировку предложенных объектов». В рамках четкой логики для каждого из предложенных объектов может быть указана его принадлежность к «одной и только одной» из групп:

а) в простейшем случае количество объектов, которые должны быть сопоставлены группам, и количество групп равны. При этом каждый из предъявленных объектов соответствует одной и только одной из групп. Однако возможны и иные варианты;

б) количество предъявленных объектов больше, чем количество групп. При этом в некоторые контейнеры предполагается перетаскивание копий нескольких разных объектов-оригиналов. Таким образом, некоторые контейнеры в момент окончания формирования ответа на ТЗ могут содержать более одной копии объектов;

в) часть предъявленных объектов не соответствуют ни одной из предъявленных групп. Поэтому их копии перетаскивать не надо.

г) для одной или большего количества групп нет соответствующих им объектов. В этом случае некоторые контейнеры останутся пустыми.

В случае использования графического интерфейса ТЗ такого типа группировку целесообразно делать путем «перетаскивания» предъявленных «графических объектов» в некоторые «контейнеры», соответствующие группам. Объекты, предназначенные для группировки, можно расположить в нижней части экрана, а «контейнеры» – в верхней части экрана. Задания такого типа могут выполнять даже младшие школьники, в том числе еще не умеющие писать и работать с числами.

Технология «перетаскивания» («Drag and Drop») включает следующие действия: навести курсор на объект, который необходимо перетащить; нажать левую кнопку мыши; перемещать курсор в направлении необходимого контейнера (при этом копия выбранного объекта будет перемещаться вместе с курсором); после достижения курсором контейнера отпустить левую кнопку мыши.



Рисунок 6 – Иллюстрация к процессу «перетаскивания» копий объектов, показывающих «части устройств», в контейнеры (прямоугольники), соответствующие этим устройствам. Предъявленное сочетание объектов и устройств (групп устройств) относится к пункту «б», рассмотренному выше

Фактически данная категория ТЗ может рассматриваться как частный случай категории ТЗ «на установление соответствия» при использовании потенциально возможных связей типа «каждый объект с каждым контейнером». Разница состоит в том, что связь задается не прочерчиванием линии, а путем перемещения объекта (это более наглядно).

В случае *четкой логики* отметим следующее: один предъявленный объект может быть перемещен в «один и только один» контейнер; $B_i = W_i$ должна начисляться только при правильной группировке (классификации) всех предъявленных объектов.

Использование *нечеткой логики* для этой категории ТЗ сложнее и в техническом плане, и в «логико-расчетном». Для определенности будем по-прежнему считать, что для каждого из предъявленных объектов необходимо установить их соответствие заданным группам (контейнерам).

Вариант 1. Все или некоторые из предъявленных объектов могут одновременно относиться к разным группам. При этом «степени (доли) такой принадлежности» в данном варианте мы не учитываем. Тестируемый должен перетаскивать в контейнеры «копии» объектов, а сами объекты-оригиналы должны оставаться на месте. В случае если тестируемый не предполагает в дальнейшем перемещать копии заданных объектов, он может навести курсор на соответствующий объект внизу, щелкнуть на нем правой кнопкой мыши; подтвердить его удаление из набора иконок в нижней части экрана.

С расчетной точки зрения «*вариант 1*» обладает меньшей «дифференцирующей способностью» в отношении оценки знаний тестируемых по сравнению с альтернативным «*вариантом 2*», рассматриваемым далее.

Вариант 2. Дополнительно к «варианту 1» по каждому предъявленному объекту задаются «степени принадлежности» к группам. В этом случае целесообразно не перетаскивать копии объектов, а «прочерчивать» связи между объектами и группами; затем указывать для каждой связи «степени принадлежности» (в числовой форме, а также наглядно – с помощью толщин линий).

В содержательном плане термин «степень принадлежности» может быть интерпретирован как «процент устройств определенной группы, в которых используется конкретный объект». Например, «винчестеры» (HDD или SDD) используются в 100 % системных блоков ПЭВМ, а в плоттерах они являются «опциональными» устройствами.

Поэтому в общем случае сумма «оценок принадлежности» для некоторых предъявленных объектов может отличаться от 100 % – как в меньшую сторону, так и большую.

Задания в форме «*варианта 2*» менее наглядны и обычно доступны для выполнения только школьникам среднего и старшего возраста, студентам вузов. Обработка результатов указанных ТЗ возможна на основе «эталонной» $[E_{n1=1...N1, n2=1...N2}^*]$ и «фактической» $[F_{n1=1...N1, n2=1...N2}^*]$ матриц группировок. При этом существенно следующее: обе матрицы могут содержать только «0» и «1»; возможны ненулевые элементы с « $n1 = n2$ », так как «группируемые объекты» и «контейнеры» имеют независимую друг от друга нумерацию.

В отличие от алгоритма, описываемого формулами (5) и (6), в данном случае необходимо использовать «полные прямоугольные матрицы». Поэтому аналогом (5) будет

$$D_{n1,n2}^* = |F_{n1,n2}^* - E_{n1,n2}^*|, \quad (7)$$

а аналогом (6)

$$B_i = W_i \left(\sum_{n1=1}^{N1} \sum_{n2=1}^{N2} D_{n1,n2}^* \right) / K^{(E^*)}, \quad (8)$$

где $K^{(E^*)}$ – общее количество ненулевых элементов в «эталонной матрице» $[E^*]$.

Для категории **тестовых заданий «со свободным вводом ответов»** (или «открытого типа» [1]) в общем случае можно выделить несколько подкатегорий.

Подкатегория А. Дополнение текста ответа (предъявленного тестируемому лицу): в виде слова, совокупности слов, одного числа или интервала чисел. Дополнение может «вставляться» в начале, в середине или в конце предъявленного текста. Единственное место вставки «дополнения» обычно показывается с помощью многоточия. Само «содержание дополнения» обычно вводится с клавиатуры.

В рамках использования *четкой логики* необходимо проверить, что содержание дополнения соответствует одному из вариантов, предусмотренных в «эталоне» для ТЗ (или единственному предусмотренному варианту). При этом для оценки ответа используется формула типа (1), т.е. баллы за ТЗ либо начисляются (если ответ верен), либо не начисляются (в случае неверного ответа). При наличии «опечаток» в ответах они будут оцениваться программными средствами тестирования как неверные.

Особые случаи. 1. Использование альтернативных вариантов мест вставки дополнений (в частности, символа «запятая»), что будет приводить к разным смыслам фраз. Например, в ТЗ задаются фактические технические характеристики «накопителя типа HDD», а затем во фразу «Списать нельзя эксплуатировать» предлагается вставить запятую на необходимое место.

2. Использование в ТЗ данной подкатегории нескольких вариантов предлагаемых (предопределенных) ответов фактически будет соответствовать ТЗ 1-го типа. Однако особым случаем может быть необходимость модификации предлагаемых ответов при вставке (в этом случае предлагаемые ответы могут рассматриваться как некоторые «подсказки»). Например, на выбор предлагаются «дополнения» для фразы «Для работ по переносу графических файлов в количестве 200–500 единиц и объемом 20–80 Мб каждый целесообразно использовать ...». При этом в качестве предлагаемых ответов могут быть представлены «Флэш-накопители объемом ...»; «Внешние жесткие диски объемом ...»; «Флэш-карты объемом ...». В этом случае тестируемый должен не только выбрать оптимальный тип накопителя, но и указать его номинальную емкость с учетом реальных емкостей устройств, предлагаемых на рынке.

Подкатегория Б. Дополнение рисунка путем «перетаскивания» одного или большего количества предъявленных на экране графических объектов в необходимое место (места) рисунка. Например, в качестве рисунка может быть предъявлено изображение материнской платы (вид сверху), а в качестве объектов для «перетаскивания»: видеокарты; плашки оперативной памяти; микросхемы процессоров (рис. 7). При этом для конкретной материнской платы подходить может только часть объектов одного функционального назначения.

При использовании *нечеткой логики* в случае нескольких допустимых вариантов ответов по ТЗ для каждого из них может предусматриваться начисление разного количества баллов (в зависимости от «степени их правильности»). При этом для ответов в виде текстовых «дополнений» в общем случае могут использоваться не только «положительные количества» баллов (для полностью или частично правильных), но и «отрицательные» (для грубо ошибочных ответов).

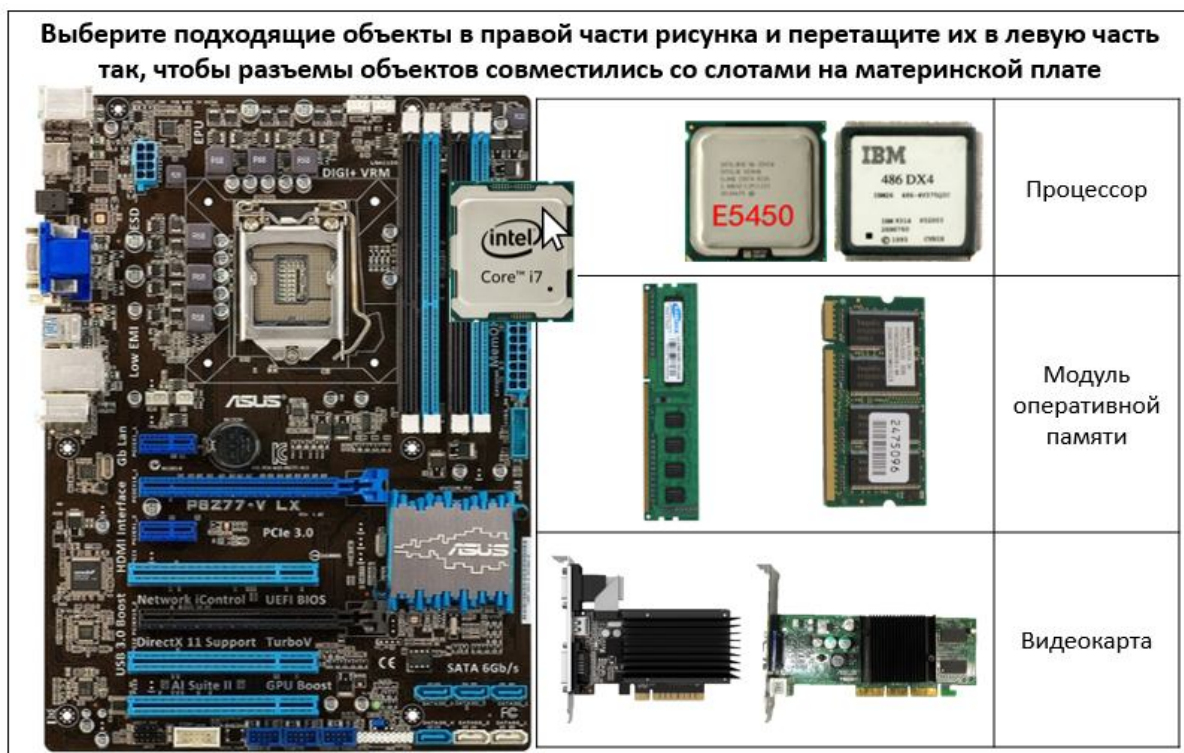


Рисунок 7 – Иллюстративный пример для ТЗ, предусматривающего размещение предъявленных объектов в соответствующих местах материнской платы ПЭВМ (иконка процессора находится в «стадии перетаскивания» при помощи курсора)

Подкатегория В. Ввод чисел в «свободное поле» ответа [3] или в поле для «числового дополнения» предложенного ответа, начисленные за ТЗ баллы могут определяться с использованием «штрафной функции». На основе ее значений уменьшается максимальное количество баллов, предусмотренное для ТЗ рассматриваемой категории. При этом в общем случае значение штрафной функции может нелинейно зависеть от величин отклонений введенных фактических значений от эталонных. Приведем примеры.

1. Используется единственное эталонное значение, а штрафная функция вычисляется исходя из значения «квадрата отклонения» фактически введенного значения от эталонного.
2. Также используется единственное эталонное значение, но при расчете штрафной функции учитывается «направление» отклонения фактического значения от эталонного.
3. Если введенное (фактическое) значение попадает в «эталонный интервал значений», то «штраф» не начисляется. При выходе введенного значения за пределы «эталонного интервала» начисляется штраф, зависящий от того, насколько фактическое значение больше верхней границы интервала или меньше нижней. В общем случае при выходе введенного значения за верхнюю и нижнюю границы могут использоваться разные виды штрафных функций.

Подкатегория В. Предполагается необходимость корректировки части текста ответа (слова или группы слов, числа, иногда – знака арифметической или логической операции). В простейшем случае необходимая для корректировки часть ответа может подсвечиваться. Более сложный вариант – тестируемый должен самостоятельно выбирать то, что он будет корректировать. В последнем случае алгоритмы обработки ответов усложняются.

Подкатегория Г. В порядке ответа на ТЗ предполагается ввод в «пустое» поле текста, числа или их совокупности. Этот вариант ответа также допускает обработку в рамках как *четкой логики*, так и *нечеткой*. Однако содержательная обработка произвольного введенного «текста» или комбинации «текст + число» алгоритмически может быть достаточно сложна [2, 4, 20]. Основная причина – в большинстве случаев потенциально возможны различные [18] ответы. Обработка только числового ответа (в том числе и в виде отрицательных чисел) может осуществляться по алгоритмам, описанным для подкатегории «Б». Обработка вводимых комплексных чисел требует отдельного учета их действительной и мнимой частей, но алгоритм такого разделения достаточно прост.

Как нетрадиционный вариант такого типа ТЗ можно указать определение номинала миниатюрного электрорадиоэлемента (например, резистора) по цветовой маркировке на нем. При этом тестируемым лицом ответ может вводиться не только путем набора с клавиатуры, но и с помощью экранного ползунка (при условии, что интервал возможных номиналов резисторов представлен в виде логарифмической шкалы) – рисунок 8.



Рисунок 8 – Использование перемещения вдоль шкалы ползунка (в виде черного треугольника) для установки номинала резистора, показанного на рисунке

Оценка результата для приведенного варианта ТЗ может осуществляться либо бинарно (правильно или неправильно), либо на основе штрафной функции – ее аргументом является отклонение введенного значения номинала от эталонного (т.е. фактического значения, соответствующего маркировке).

Подкатегория Д. Группировка в «поле ответа» нескольких графических объектов, причем важен не только набор объектов, но и последовательность их расположения. Как пример приведем ТЗ, в котором нужно выбрать последовательность из трех объектов, средним из которых является соединительный кабель. В этом ТЗ представлены следующие изображения: ноутбук; USB кабель с разъемами на концах типов «А» и «Б» (поворачивать его нельзя); кабель с разъемами USB и microUSB (также без возможности поворота); принтер с разъемом USB типа «Б»; типичный смартфон; сканер. Для этого ТЗ имеется несколько правильных ответов, причем последовательность расположения объектов по отношению к соединительному кабелю является принципиальной.

Отметим также некоторые специальные технологии формирования ответов для рассматриваемой категории ТЗ.

1. Ввод четкого ответа (для вариантов «А», «Б», «Г») в виде числового значения с помощью плавно перемещаемой экранной «рамочки с визирной линией» (рис. 9). При этом установленные (предопределенные) пределы перемещений ползунка являются «подсказкой» для тестируемого лица. В рамках адаптивного тестирования эти пределы могут динамически изменяться. Например, при повторной попытке ответа на ТЗ нижняя и/или верхняя границы ответа могут корректироваться, что обеспечит сужение диапазона выбора ответа.

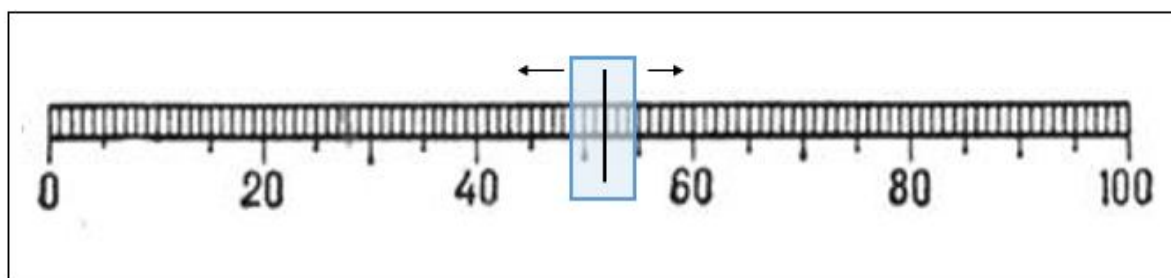


Рисунок 9 – Задание ответа на ТЗ с помощью перемещения экранной «рамочки с визирной линией»

2. Вариант ответа, аналогичный «1», но перемещения ползунка носят дискретный характер (хотя его фиксированных положений может быть достаточно много). В случае «2» в качестве ответа на ТЗ могут вводиться и фрагменты текста, соответствующие дискретным положениям ползунка. Например, в ответ на вопрос типа «В каких единицах может измеряться мощность, потребляемая ПЭВМ, в системе СИ?» испытуемый должен выбрать одну из основных единиц (т.е. недольных и некратных) этой системы, соответствующих фиксированным положениям ползунка.

3. Тестируемый должен в качестве ответа ввести не одно число, а диапазон (интервал) чисел. Это можно реализовать с помощью двух ползунков: нижний задает минимальную границу интервала, а верхний – максимальную. При этом пределы перемещений для каждого из ползунков (если они заданы отдельно) могут служить подсказкой для тестируемого. Например, может быть задан вопрос о максимальной рассеиваемой мощности резистора, форма, цвет и размеры которого показываются на экране (но без воспроизведения маркировки на корпусе резисторе). Другие примеры показаны на рисунке ~.

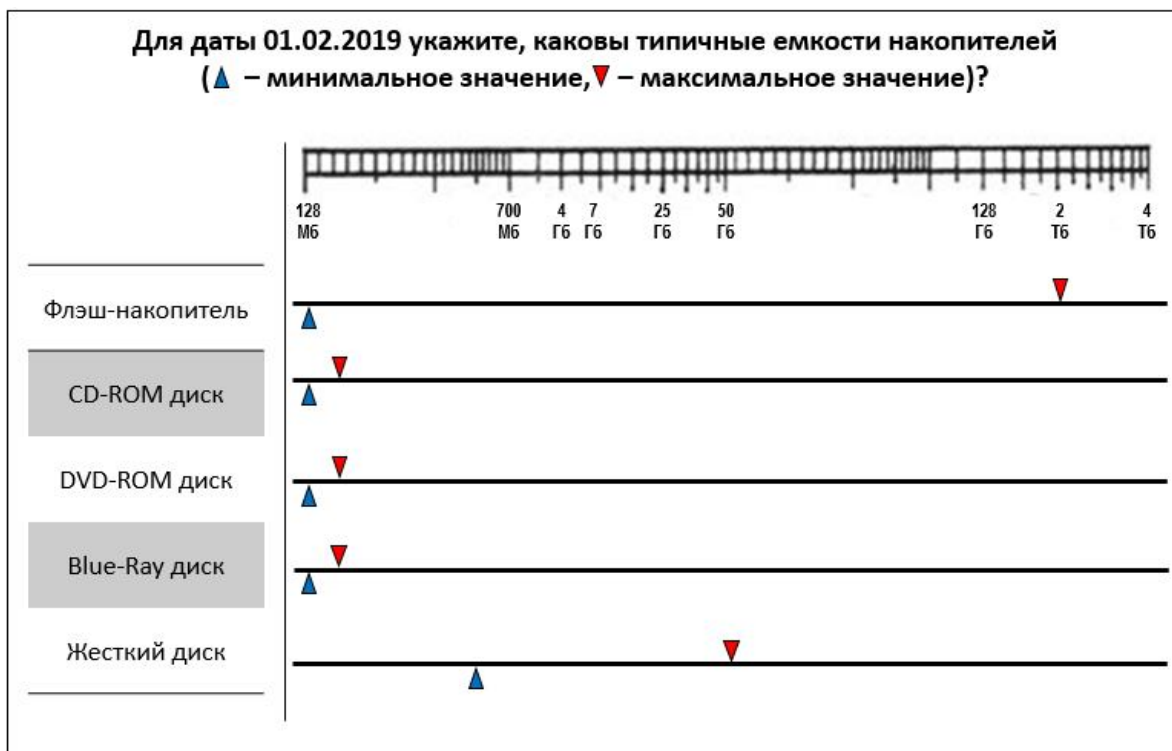


Рисунок 10 – ТЗ со свободным вводом ответов, представляющих собой диапазоны чисел (границы диапазонов задаются экранными ползунками в виде цветных треугольников, перемещаемых с помощью мыши)

4. ТЗ, в которых перемещение «экранного ползунка» приводит к изменениям изображений объекта на мониторе ПЭВМ (т.е. вместо ввода названия объекта выбирается его графическое представление).

5. Используется несколько экранных ползунков, положения каждого из которых определяют выбор графического объекта (в общем случае для каждого из ползунков может быть свой набор отображаемых объектов).

Такая методика позволяет в качестве ответа «компоновать» графические объекты. Например, это может быть полезно для решения задач типа описанной в «подкатегории Д».

Некоторые виды ТЗ, связанные с использованием в различных объектах тонов серого цвета, цветовых оттенков, наборов цветов.

Эти ТЗ могут быть полезны, в частности, при оценках возможностей тестируемых лиц в отношении проведения дизайнерских работ и решения эргономических задач в сфере «информатики и вычислительной техники», включая конструирование интерфейсов программных средств, подготовку презентаций и пр. Отметим, что объективность получаемых результатов для рассматриваемых вариантов ТЗ в определенной степени зависит от качества цветопередачи мониторов (дисплеев).

1. Тестируемому лицу на экране монитора ПЭВМ демонстрируется квадрат со сплошной серой заливкой. Для второго квадрата, расположенного правее первого, требуется подобрать аналогичный по оптической плотности оттенок серого цвета путем перемещения экранного ползунка. «Результат ответа» (в баллах) может оцениваться исходя из отклонения фактически установленной тестируемым опти-

ческой плотности для правого квадрата от эталонной, соответствующей левому квадрату (или исходя из «выхода» ответа тестируемого за допустимые пределы ошибки по сравнению с эталонным).

Отметим, что для этого ТЗ оптическая плотность заливки для левого квадрата может выбираться либо детерминировано, либо случайным образом в заданных пределах.

2. Тестируемому лицу на экране монитора демонстрируется цветной квадрат, причем его цвет и яркость определяются соотношением яркостей трех основных цветов (цветовых компонентов) – Red, Green, Blue.

Для второго квадрата, расположенного правее первого, тестируемый должен установить аналогичные «цветность» и «яркость» изображения путем перемещения трех экранных ползунков, управляющих яркостями трех основных цветов.

Для этого ТЗ цветность и яркость для левого квадрата может выбираться детерминированно или случайным образом в двух вариантах: из predetermined набора вариантов; путем генерации яркости каждого из «базовых» (основных) цветов (Red, Green, Blue) в заданных пределах.



Рисунок 11 – Иллюстративный пример к ТЗ на подбор тестируемым лицом цвета и яркости для «правого» квадрата

«Результат ответа» по этому типу ТЗ (в баллах) может оцениваться исходя из отклонения установленных тестируемым яркостей базовых цветов от «эталонных» значений яркостей, соответствующих левому квадрату.

3. Аналог пункта «1», но вместо двух квадратов используется один прямоугольник, разбитый на 20 узких вертикальных полосок. Оптическая плотность нечетных полосок задается тестирующей программой, а четных – подбирается испытуемым с помощью ползунка. Этот вариант проще, чем «1», так как обычно не требует так называемых саккад (перемещений) зрачков глаз с левого квадрата на правый и обратно.

4. Аналог «2», но, аналогично пункту 3, используется прямоугольник, разбитый на 20 вертикальных полосок. Цветом и яркостью нечетных полосок управляет тестирующая программа, а четных – сам тестируемый с помощью трех экранных ползунков.

5. Для пунктов «1» и «2» могут быть также применены варианты с одновременным показом на экране квадратов: сначала демонстрируется левый квадрат; потом пауза по времени; затем показывается правый квадрат, характеристики которого должен установить тестируемый. В этом случае оценивается не только качество цветовосприятия тестируемого лица, но и его цветовая память [7].

Описанные в пунктах «2» и «4» варианты ТЗ могут быть использованы и в «прикладных» целях, связанных с разработкой или использованием программных средств.

6. а) Тестируемому демонстрируется многоцветный интерфейс некоторого программного обеспечения (например, информационной системы). б) Затем следует пауза по времени, в течение которой на экране демонстрируется случайный набор цветных объектов (например, разноцветных квадратов). в) Потом на экране воспроизводится интерфейс того же программного обеспечения, но в тонах серого. г) Тестируемый с помощью панели с «радиокнопками» (одновременно может быть нажата только одна из них) переключается между элементами интерфейса в произвольной последовательности. д) Для каждого выбранного элемента интерфейса тестируемый устанавливает его яркость и цвет с помощью трех экранных ползунков (аналогично пункту «2»).

Результаты такого тестирования позволяют оценить, насколько хорошо (насколько точно) воспринимаются цвета интерфейса программного обеспечения.

7. а) На экране ПЭВМ на некоторое время показывается материнская плата (вид сверху). При этом различные объекты на ней (включая разъемы) имеют определенные цвета. б) Затем следует пауза.

в). Потом на экране воспроизводится вид той же платы, но в тонах серого. г) Тестируемый с помощью панели с «радиокнопками» (одновременно может быть нажата только одна из них) переключается между объектами на материнской плате. д) Для каждого выбранного объекта тестируемый устанавливает его цвет с помощью ползунков или путем выбора нужного цвета из предложенного набора.

8. Аналог пункта «7», но ТЗ выполняется начиная с пункта «в». Причина – для многих разъемов (и некоторых иных объектов) существуют «предопределенные» (стандартные) цвета, которые на различных материнских платах повторяются.

9. Аналог пункта «7», но демонстрируется вид ПЭВМ сзади, а тестируемый должен установить цвета для всех основных разъемов (кроме разъемов черного цвета). В этом случае большинство цветов также являются стандартными.

10. Тестируемый должен для разъемов RJ-45 последовательно выбрать номера контактов и установить для них цвета проводов. Такие разъемы используются в сетевых шнурах, по которым ПЭВМ подключаются к локальной сети. В этом случае цвета проводов также являются стандартными. Особенность ТЗ: часть проводов – «двухцветные». Поэтому выбор нужно осуществлять из предопределенной последовательности отдельных цветов и их сочетаний.

Альтернативное задание: необходимо задать цвета проводов для двух RJ-45 разъемов, используемых в кабеле, предназначенном для прямого соединения двух ПЭВМ (кроссовое соединение).

11. Необходимо задать цвета проводов для разъема, применяемого с целью подключения к телефонной линии: RJ-11 (двухпроводное соединение); RJ-14 (четырёхпроводное); RJ-25 (шестипроводное). Особенность этого ТЗ в том, что по «современной» цветовой кодировке для части проводов должны быть заданы два цвета. Поэтому выбор нужно осуществлять из предопределенной последовательности отдельных цветов и их сочетаний.

12. Испытуемому демонстрируется на экране электрорадиоэлемент (для определенности – постоянный резистор) и в числовой форме указывается номинальное значение его параметра. На исходном изображении полоски, задающие номинал, представлены серым цветом. Тестируемый, последовательно переключаясь между полосками (с помощью радиокнопок – см. выше), для каждой из них задает свой цвет – при этом выбор осуществляется из предопределенных наборов значений.

Результат для ТЗ такого типа может оцениваться либо «бинарно» (правильно или неправильно), либо на основании ошибки заданного значения номинала по отношению к эталонному.

Выводы. 1. Рассмотрены категории ТЗ «на установление соответствия» и со «свободным вводом ответов» для вариантов с «четкими и нечеткими» ответами. 2. Подробно проанализированы практические вопросы реализации на ПЭВМ технологий ввода тестируемыми лицами нечетких ответов, возможные алгоритмы оценки таких ответов. 3. Показаны некоторые дополнительные возможности, которые обеспечивает использование графических объектов в ТЗ, относящихся к двум рассматриваемым в статье категориям. 4. Охарактеризованы технологии манипулирования такими объектами с использованием технологии «drag and drop». 4. Описан ряд новых направлений тестирования, связанных с оценками цветовых оттенков объектов, характеристик яркостно-цветовой памяти испытуемых, в том числе применительно к решению задач в сфере «Информатика и вычислительная техника».

Библиографический список

1. Аверченков В. И. Система тестирования знаний с поддержкой ответов открытого типа на естественном языке / В. И. Аверченков, Е. А. Белов // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. – 2006. – № 1-5. С. 6–10.
2. Бадерина Л. М. Метод содержательного анализа текстовых ответов в системах тестирования знаний / Л. М. Бадерина, И. В. Замаруева // Вісник Національного Авіаційного Університету. – 2011. – Т. 2, № 47. – С. 96–100.
3. Брумштейн Ю. М. Анализ возможностей и технологий применения тестовых заданий с числовыми ответами / Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова, Н. В. Хлопкова // Известия ВолГТУ. Серия: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – Волгоград, 2012. – № 4 (91). – С. 92–98.
4. Брумштейн Ю. М. Системный анализ вопросов компьютерного тестирования с использованием нечетких ответов. Часть 1. Тестовые задания категорий «выбор из набора ответов» и «на ранжирование объектов» / Ю. М. Брумштейн, Д. И. Коновалова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 4. – С. 25–31.
5. Брумштейн Ю. М. Анализ направлений и возможностей использования компьютерных технологий для различных видов тестирования / Ю. М. Брумштейн, Н. В. Хлопкова, Ю. Ю. Аксенова, Ю. Н. Неживая // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий : материалы XI Всероссийской научно-технической конференции. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2012. – С. 74–79.
6. Брумштейн Ю. М. Графические и аудиовизуальные объекты в тестовых материалах / Ю. М. Брумштейн // Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. – 2013. – № 3. – С. 50–60.
7. Брумштейн Ю. М. Методы и аппаратно-программные средства для статического и динамического исследования точности восприятия яркостно-цветовых характеристик светящихся объектов / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Молимонов, Л. Ш. Рамазанова // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2018 : сборник статей Всерос. школы-семинара / под ред. проф. Д.А. Усанова. – Саратов : Изд-во Саратовский источник, 2018. – С. 52–65.

8. Брянкин К. В. Тестирование как технология контроля качества самостоятельной работы студентов вуза / К. В. Брянкин, И. А. Вылегжанина // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 263.
9. Буров И. П. Нечеткое оценивание знаний в педагогическом тестировании по информатике / И. П. Буров // Математика. Компьютер. Образование : тезисы Шестнадцатой Международной конференции. – 2009. – С. 478.
10. Давыдов В. И. Анализатор тестовых заданий со свободно-конструируемым ответом / В. И. Давыдов, П. Н. Фомин // Электромашиностроение и электрооборудование. – 2009. – № 72. – С. 198–200.
11. Залан К. В. Виды тестовых заданий и распространенные ошибки при их составлении / К. В. Залан // Вестник Южно-Уральского профессионального института. – 2014. – № 1 (13). – С. 45–51.
12. Казмина И. И. Трехуровневый анализ качества тестовых материалов / И. И. Казмина, Е. В. Нужнов // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2015. – № 3 (23). – С. 56–67.
13. Камаев В. А. Когнитивное моделирование социально-экономических систем / В. А. Камаев. – Волгоград : ИУНЛ ВолГТУ, 2012. – 136 с.
14. Ковтуненко А. С. Нечёткие алгоритмы формирования оценок по результатам педагогического тестирования / А. С. Ковтуненко, Г. Ф. Низамова, Е. А. Смирнова // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – Т. 27, № 1-1. – С. 163–165.
15. Кириченко Н. Р. О возможности применения методов нечёткого тестирования в вузах МВД / Н. Р. Кириченко // Наука в современном информационном обществе : материалы VII Международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 50–52.
16. Куулар Л. Л. Иллюстрации как компонент тестовых заданий / Л. Л. Куулар, Г. С. Качалова // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3. – С. 316.
17. Леонтьева Ал. Б. Анализ речи и поведения студентов при компьютерном тестировании знаний в многомодальном режиме / Ал. Б. Леонтьева, Р. Йекель, И. А. Кагиров, А. Л. Ронжин // Анализ разговорной русской речи (АРЗ – 2008) : Второй междисциплинарный семинар / Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук. – 2008. – С. 94–101.
18. Манеркин В. П. Формальные модели текстов и расширение вариативности логики построения ответов обучающихся в системе компьютерного тестирования / В. П. Манеркин, П. В. Желтов, В. В. Боталов, В. В. Чеховский // Вестник Чувашского университета. – 2012. – № 2. – С. 300–304.
19. Марков В. В. Организация тестового контроля знаний на основе нечёткой модели экзаменатора / В. В. Марков, М. В. Луцан // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 242–248.
20. Никифорова Д. М. Выбор метода текстового анализа для разработки информационной системы автоматической проверки тестовых заданий со свободно-конструируемым ответом студентов / Д. М. Никифорова, О. Ю. Сабинин // Информатика и кибернетика (ComCon – 2015) : сборник докладов студенческой научной конференции Института информационных технологий и управления. – 2015. – С. 334–336.
21. Паркина М. П. Разработка системы обучающего компьютерного тестирования / М. П. Паркина, Ю. М. Артемкина, Д. В. Щербаков // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – Т. 24, № 8 (113). – С. 81–85.
22. Печников А. Н. Модели и процедуры оценки результатов компьютерного тестирования знаний / А. Н. Печников, А. О. Туровская, Р. Р. Туктаров // Образовательные технологии и общество. – 2013. – Т. 16, № 4. – С. 365–371.
23. Пичкурено Е. А. Разработка тестовых заданий на установление соответствия по теме «неопределённый интеграл» / Е. А. Пичкурено // Современный специалист и профессиональные компетенции: методический аспект подготовки : материалы Международной научно-методической конференции. – 2013. – С. 107–110.
24. Рыскина Л. Л. Тестирование как метод проверки и оценки текущей успеваемости обучающихся / Л. Л. Рыскина // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2017. – № 9 (186). – С. 132–135.
25. Широков А. С. Возможность автоматизации формирования разных видов тестовых заданий с использованием средств Ms Excel / А. С. Широков, Е. В. Марчук // Проблемы и перспективы развития образования в России. – 2016. – № 38. – С. 60–64.
26. Щербаков В. В. Характеристики тестовых заданий, используемых для оценки знаний студентов / В. В. Щербаков, Ю. И. Капустин // Успехи в химии и химической технологии. – 2009. – Т. 23, № 6 (99). – С. 92–97.
27. Цидыло И. Н. Нечеткая оценка результатов автоматизированного тестирования / И. Н. Цидыло // Проблемы современной науки. – 2014. – № 11-1. – С. 105–114.
28. Nardiyuzhev V. I. Operational statistical analysis of the results of computer-based testing of students / V. I. Nardiyuzhev, I. V. Nardiyuzhev, V. E. Marfina, I. N. Kurinin // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2018. – Т. 15, № 1. – С. 81–88.

References

1. Averchenkov V. I., Belov Ye. A. Sistema testirovaniya znaniy s podderzhkoy otvetov otkrytogo tipa na estestvennom yazyke [The system of testing of knowledge with support of answers of public type in a natural language]. *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [News of the Oryol state technical university. Series: Information systems and technologies], 2006, no. 1-5, pp. 6–10.
2. Baderina L. M., Zamarueva I. V. Metod soderzhatelnogo analiza tekstovykh otvetov v sistemakh testirovaniye znaniy [Method of the informative analysis of text answers in systems testing of knowledge]. *Visnik Natsionalnogo Aviatstynogo Universitetu* [Messenger of National Aviation University], 2011, vol. 2, no. 47, pp. 96–100.
3. Brumshiteyn Yu. M., Ivanova M. V., Khlopokova N. V. Analiz vozmozhnostey i tekhnologii primeneniya testovykh zadaniy s chislovymi otvetami [The analysis of opportunities and technologies of application of test tasks with numerical answers]. *Izvestiya VolGTU. Seriya: Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [Izvestiya of VOLGTU. Current Problems of Management, ADP Equipment and Information

Science in Technical Systems series: interhigher education institution. Saturday.nauch. article]. Volgograd, 2012, no. 4 (91), pp. 92–98.

4. Brumshteyn Yu. M., Konovalova D. I. Sistemnyy analiz voprosov kompyuternogo testirovaniya s ispolzovaniem nechetkikh otvetov. Chast 1. Testovye zadaniya kategorii «vybor iz nabora otvetov» i «na ranzhirovanie obektov» [System analysis of questions of computer testing with use of indistinct answers. Part 1. Test tasks of categories "the choice from a set of answers" and "on ranging of objects"]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 4, pp. 21–31.

5. Brumshteyn Yu. M., Khlopikova N. V., Aksenova Yu. Yu., Nezhivaya Yu. N. Analiz napravleniy i vozmozhnostey ispolzovaniya kompyuternykh tekhnologiy dlya razlichnykh vidov testirovaniya. [Analysis of the directions and opportunities of use of computer technologies for different types of testing]. *Teoreticheskie i prikladnye voprosy sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy* : materialy XI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Theoretical and applied questions of modern information technologies: materials XI of the All-Russian scientific and technical conference]. Ulan-Ude, 2012, pp. 74–79.

6. Brumshteyn Yu. M. Graficheskie i audiovizualnye obekty v testovykh materialakh [Graphic and audiovisual objects in test materials]. *Intellektualnaya sobstvennost. Avtorskoe pravo i smezhnye prava* [Intellectual Property. Copyright and Allied Rights], 2013, no. 3, pp. 50–60.

7. Brumshteyn Yu. M., Molimonov D. A., Ramazanova L. Sh. Metody i apparatno-programmnye sredstva dlya staticheskogo i dinamicheskogo issledovaniya tochnosti vospriyatiya yarkostno-tsvetovykh kharakteristik svetyashchikhsya obektov [Methods, hardware and software for a static and dynamic research of perception accuracy of the brightness-color responses for shining objects]. *Metody kompyuternoy diagnostiki v biologii i meditsine – 2018 : sbornik statey Vse-rossiyskoy shkoly-seminara* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine – 2018 : Proceedings of All-Russian Workshop]. Saratov, 2018, pp. 52–65.

8. Bryankin K. V., Vylegzhanina I. A. Testirovanie kak tekhnologiya kontrolya kachestva samostoyatelnoy raboty studentov vuza [Testing as technology of quality control of independent work of students of higher education institution]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2013, no. 5, pp. 263.

9. Burov I. P. Nechetkoe otsenivanie znaniy v pedagogicheskom testirovanii po informatike [Indistinct estimation of knowledge in pedagogical testing of information science]. *Matematika. Kompyuter. Obrazovanie : tezisy Shestnadtsatoy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Mathematics. Computer. Education : Theses of the Sixteenth International Conference], 2009, p. 478.

10. Davydov V. I., Fomin P. N. Analizator testovykh zadaniy so svobodno-konstruiuemym otvetom [The analyzer of test tasks with the free designed answer]. *Elektromashinostroenie i elektrooborudovanie* [Electric Machine Industry and Electric Equipment], 2009, no. 72, pp. 198–200.

11. Zalan K. V. Vidy testovykh zadaniy i rasprostranennyye oshibki pri ikh sostavlenii [Types of test tasks and widespread errors by their drawing up]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo Professionalnogo Instituta* [Bulletin of the Southern Ural Professional Institute], 2014, no. 1 (13), pp. 45–51.

12. Kazmina I. I., Nuzhnov Ye. V. Trekhurovnevyy analiz kachestva testovykh materialov [Three-level analysis of quality of test materials]. *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Information Science, ADP Equipment and Engineering Education], 2015, no. 3 (23), pp. 56–67.

13. Kamaev V. A. Kognitivnoe modelirovanie sotsialno-ekonomicheskikh system [Cognitive modeling of social and economic systems]. Volgograd, 2012. – 136 p.

14. Kovtunenkov A. S., Nizamova G. F., Smirnova Ye. A. Nechetkie algoritmy formirovaniya otsenok po rezul'tatam pedagogicheskogo testirovaniya [Indistinct algorithms of forming of estimates by results of pedagogical testing]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management System and Information Technologies], 2007, vol. 27, no. 1-1, pp. 163–165.

15. Kirichenko N. R. O vozmozhnosti primeneniya metodov nechetkogo testirovaniya v vuzakh MVD [About a possibility of application of methods of indistinct testing in higher education institutions of the Ministry of Internal Affairs]. *Nauka v sovremennom informatsionnom obshchestve : materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science in modern information society : Materials of the VII International Scientific and Practical Conference], 2015, pp. 50–52.

16. Kuular L. L., Kachalova G. S. Illyustratsii kak komponent testovykh zadaniy [Illustrations as component of test tasks]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education.], 2016, no. 3, p. 316.

17. Leonteva Al. B., Yekel R., Kagiroy I. A., Ronzhin A. L. Analiz rechi i povedeniya studentov pri kompyuternom testirovanii znaniy v mnogomodalnom rezhime [Speech analysis and behavior of students at computer testing of knowledge in the multimodal mode]. *Analiz razgovornoy russkoy rechi (AR3 – 2008) : Vtoroy mezhdistsiplinarnyy seminar* ["The analysis of informal Russian conversation" (AP3 - 2008) : The Second Cross-Disciplinary Seminar], 2008, pp. 94–101.

18. Manerkin V. P., Zheltov P. V., Botalov V. V., Chekhovskiy V. V. Formalnye modeli tekstov i rasshirenie variativnosti logiki postroeniya otvetov obuchayushchikhsya v sisteme kompyuternogo testirovaniya [Formal models of texts and expansion of variability of logic of creation of answers of students in the system of computer testing] *Vestnik Chuvashskogo universiteta* [Messenger of the Chuvash University], 2012, no. 2, pp. 300–304.

19. Markov V. V., Lutsan M. V. Organizatsiya testovogo kontrolya znaniy na osnove nechetkoy modeli ekzamenatora [The organization of test control of knowledge on the basis of indistinct model of the examiner]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [News of SFU. Technical science], 2010, no. 7 (108), pp. 242–248.

20. Nikiforova D. M., Sabinin O. Yu. Vybor metoda tekstovogo analiza dlya razrabotki informatsionnoy sistemy avtomaticheskoy proverki testovykh zadaniy so svobodno-konstruiuemym otvetom studentov [The choice of a method of text analysis for development of an information system of automatic check of test tasks with the free designed answer of students]. *Informatika i kibernetika (ComCon – 2015) : sbornik dokladov studencheskoy nauchnoy konferentsii Instituta*

informatsionnykh tekhnologiy i upravleniya [Informatics and Cybernetics (ComCon-2015) : Collection of Reports of a Student's Scientific Conference of Institute of Information Technologies and Management], 2015, pp. 334–336.

21. Parkina M. P., Artemkina Yu. M., Shcherbakov D. V. Razrabotka sistemy obuchayushchego kompyuternogo testirovaniya [Development of the system of the training computer testing]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Achievements in Chemistry and Chemical Technology], 2010, vol. 24, no. 8 (113), pp. 81–85.

22. Pechnikov A. N., Turovskaya A. O., Tuktarov R. R. Modeli i protsedury otsenki rezultatov kompyuternogo testirovaniya znaniy [Model and assessment procedures of results of computer testing of knowledge]. *Obrazovatelnye tekhnologii i obshchestvo* [Educational Technologies and Society], 2013, vol. 16, no. 4, pp. 365–371.

23. Pichkurenko Ye. A. Razrabotka testovykh zadaniy na ustanovlenie sootvetstviya po teme "neopredelennyy integral" [Development of test tasks for establishment of compliance on the subject "uncertain integral"]. *Sovremennyy spetsialist i professionalnye kompetentsii: metodicheskiy aspekt podgotovki : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Modern expert and professional competences: methodical aspect of preparation : Materials of the International Scientific and Methodical Conference], 2013, pp. 107–110.

24. Ryskina L. L. Testirovanie kak metod proverki i otsenki tekushchey uspevaemosti obuchayushchikhsya [Testing as method of check and assessment of the current progress of students]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State Pedagogical University], 2017, no. 9 (186), pp. 132–135.

25. Shirokov A. S., Marchuk Ye. V. Vozmozhnost avtomatizatsii formirovaniya raznykh vidov testovykh zadaniy s ispolzovaniem sredstv Ms Excel [A possibility of automation of forming of different types of test tasks with use of means of MS of Excel]. *Problemy i perspektivy razvitiya obrazovaniya v Rossii* [Problems and perspectives of education development in Russia], 2016, no. 38, pp. 60–64.

26. Shcherbakov V. V., Kapustin Yu. I. Kharakteristiki testovykh zadaniy, ispolzuemykh dlya otsenki znaniy studentov [Characteristics of the test tasks used for assessment of knowledge of students]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Achievements in Chemistry and Chemical Technology], 2009, vol. 23, no. 6 (99), pp. 92–97.

27. Tsidylo I. N. Nechetkaya otsenka rezultatov avtomatizirovannogo testirovaniya [Indistinct assessment of results of the automated testing]. *Problemy sovremennoy nauki* [Problems of Modern Science], 2014, no. 11-1, pp. 105–114.

28. Nardiyuzhev V. I., Nardiyuzhev I. V., Marfina V. E., Kurinin I. N. Operational statistical analysis of the results of computer-based testing of students [Operational statistical analysis of the results of computer-based testing of students]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Informatizatsiya obrazovaniya* [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Education Informatization], 2018, vol. 15, no. 1, pp. 81–88.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004: [373+377+ 378]

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И СПЕЦИАЛИСТОВ В РЕСПУБЛИКЕ ТУРКМЕНИСТАН

Статья поступила в редакцию 25.11.2018, в окончательном варианте – 01.04.2019.

Наркулиев Бегенч Наркулыевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева 20а,
студент, e-mail: narkulyew97@mail.ru

Коновалова Дарья Игоревна, Астраханский государственный университет, Россия, 414056, Астрахань, Татищева 20а,
студент, e-mail: haizbq@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8348-0171>

Обоснована необходимость обеспечения информационно-телекоммуникационной компетентности населения и профильных специалистов для поддержки социально-экономического развития Республики Туркменистан; сохранения и расширения связей республики с другими государствами, включая расположенные в Каспийском бассейне. Проанализирована доступная в интернете информация по «академической сети» Республики Туркменистан; подключению к ней научно-исследовательских организаций, вузов, школ. Показана роль органов государственного управления в обеспечении информационно-телекоммуникационной компетентности населения в рамках школьного образования. В связи с этим исследована номенклатура изучаемых в школах республики курсов по информационно-телекоммуникационным технологиям, количества часов по этим курсам. Сравнены общие объемы обучения по указанным курсам в республике Туркменистан и России – с учетом различного количества лет обучения. Проанализирована общедоступная информация, относящаяся к подготовке специалистов в вузах республики, включая Ашхабад и различные велаяты; подходы к обеспечению необходимого уровня информационно-телекоммуникационной компетентности студентов вузов. Отдельно исследованы сведения о возможностях кафедр в вузах республики в отношении подготовки специалистов по информационно-телекоммуникационным технологиям. Охарактеризована существующая в Республике Туркменистан практика подготовки специалистов в зарубежных вузах, включая Россию.

Ключевые слова: Республика Туркменистан, информационно-телекоммуникационные технологии, насыщенность компьютерным оборудованием, интернет, сотовая связь, насыщенность смартфонами, информационно-телекоммуникационная компетентность населения, подготовка профильных специалистов, развитие международных связей

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ANALYSIS OF APPROACHES TO ENSURING

INFORMATION AND TELECOMMUNICATION COMPETENCE
OF THE POPULATION AND SPECIALISTS IN THE REPUBLIC OF TURKMENISTAN

The article was received by editorial board on 25.11.2018, in the final version – 01.04.2019.

Narkuliev Begench N., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

student, e-mail: narkulyew97@mail.ru

Konovalova Daria I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

student, e-mail: haizbq@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8348-0171>

The necessity of providing information and telecommunications competence of the population and industry professionals in order to support the socio-economic development of the republic of Turkmenistan is substantiated: preservation and expansion of relations of the republic with other states, including those located in the Caspian basin. The information available on the Internet on the Republic of Turkmenistan's "academic network"; research organizations, universities, schools connecting to it is analyzed. The role of government in providing information and telecommunications competence of the population as part of school education is shown. In this regard, the nomenclature studied in republic schools courses on information and telecommunication technologies, the number of hours on these courses is researched. The total amounts of training for the specified courses in the republic of Turkmenistan and Russia - taking into account the different number of years of study are compared. Publicly available information related to the specialists training in universities of the republic, including Ashgabat and various provinces; approaches of providing the necessary level of information and telecommunications competence of university students is analyzed. The information about the capabilities of the departments in higher education institutions of the republic regarding to the specialists training in information and telecommunication technologies is separately investigated. The practice of preparing in the republic of Turkmenistan specialists in foreign universities, including Russia is characterized.

Key words: Republic of Turkmenistan, information and telecommunication technologies, computer equipment saturation, Internet, cellular communication, smartphones saturation, information and telecommunication competence of the population, subject-mattered specialists preparation, the international relations development

Введение. Информатизация производственной деятельности, сфер образования и здравоохранения, а также быта населения имеет место во всех странах, однако в каждой из них эти процессы имеют и некоторые индивидуальные особенности. В настоящей статье ставилась цель оценить процессы информатизации в Республике Туркменистан (РeТ), а также управления ими со стороны руководства страны, государственных органов. Эти вопросы представляют интерес и с позиций прикаспийских регионов России, у которых с РeТ имеются развитые взаимосвязи в различных областях [21]: торговые, транспортные, образовательные, информационные и пр. В частности, в вузах России (включая Астраханский государственный университет) обучается достаточно много студентов из РeТ. Развитию таких связей способствует также достаточно хорошее владение русским языком жителями РeТ [11], включая туркменских студентов в национальных и российских вузах. В последнем случае это дает возможность освоения туркменскими студентами основных образовательных программ в российских вузах без предварительного обучения на подготовительных отделениях, а также облегчает процессы адаптации к языковой и культурной среде [15, 17].

Целью данной работы является попытка проведения комплексного анализа используемых в РeТ подходов к обеспечению компетентности населения в сфере информационно-телекоммуникационной технологий (ИТКТ), включая подготовку профильных ИТКТ-специалистов для работы на территории республики. Указанная тематика, по крайней мере в русскоязычных публикациях, отражена слабо.

Важность этой тематики для России, ее прикаспийских регионов, непосредственно для Астраханской области, определяется следующими факторами:

1) необходимостью расширения международных связей стран Каспийского бассейна [21] (включая их приморские регионы) – в том числе в сфере «высоких технологий»;

2) интернационализацией информационного пространства [16] в связи с быстрым развитием интернета – это относится не только к «научному информационному пространству» [8, 22, 23], но и к образовательному пространству, международному бизнес-пространству и пр.;

3) значительными количествами студентов из РeТ, обучающимися в российских вузах, и в частности в Астраханском государственном университете. При этом необходимо учитывать особенности образовательной системы Туркменистана, в том числе на уровне школьного образования [1, 2, 3, 13].

Материал и методика. При подготовке данной статьи была использована в основном информация с различных интернет-сайтов, включая официальные интернет-ресурсы РeТ. В тех случаях, когда дата доступа к информации на этих ресурсах не указывается, следует считать, что доступ осуществлялся 05.03.2019 г. Для выявления необходимых ресурсов использовались простые и расширенные средства поиска, имеющиеся в наиболее широко распространенных в России интернет-браузерах. Поиск осуществлялся только на русскоязычных ресурсах с использованием запросов на русском языке.

Кроме того, были проанализированы публикации, найденные на сайтах www.elibrary.ru и <https://scholar.google.ru/> с использованием поисковых систем этих ресурсов. В некоторых случаях в статье был использован также личный опыт одного из авторов, приобретенный в процессе обучения в школах РеТ.

Общая характеристика проблематики работы. На сайте Академии наук Туркменистана (<http://science.gov.tm/about/>) приведено высказывание действующего президента страны Гурбангулы Бердымухамедов: *«Наука и техника – крылья национальной экономики»*. Это высказывание отражает важное внимание, которое уделяет руководство страны научно-технологическому развитию [4, 5] РеТ, использованию информационных технологий в различных сферах деятельности, включая государственное управление [14]. В свою очередь, такое развитие опирается на систему организации обучения в школах и вузах РеТ [1, 2, 19]. При этом важное значение имеет обеспечение ИТКТ-компетентности населения и специалистов; их умение и желание использовать различные информационные ресурсы, в том числе доступные в сети интернет; современные программные средства и методы поиска информации [6].

Руководство научными исследованиями и системой образования в РеТ осуществляет Министерство образования [4, 5]. Однако на сайте <http://tm.spinform.ru/adr.html> для Министерства образования (как, впрочем, и некоторых других министерств) адрес интернет-сайта не отражен. В то же время для «Высшего совета по науке и технике при Президенте Туркменистана» адрес сайта указан (www.science.gov.tm), но не приведены телефоны и адрес электронной почты этой организации.

В РеТ уделяется серьезное внимание процессам информатизации научных исследований, выполнения разработок, образовательной деятельности [4], проведению международных выставок по ИТКТ-направлению. В частности, в стране действует Научно-образовательная сеть Туркменистана (TuRENA), на которую можно попасть со стартовой страницы упомянутого выше сайта <http://science.gov.tm/about/>.

В свою очередь, со стартовой страницы сети TuRENA (<http://science.gov.tm/turena/>) возможен переход по гиперссылкам на сайты следующих категорий организаций РеТ: исследовательских институтов, технологического центра, ряда медицинских организаций, вузов и их региональных филиалов.

Основная масса вузов РеТ расположена в столице республики г. Ашхабаде – Туркменский государственный университет имени Магтымгулы и ряд функционально-специализированных вузов: Туркменский государственный медицинский университет, Туркменский государственный институт строительства и архитектуры, Туркменский государственный институт транспорта и связи, Туркменский государственный институт экономики и управления, Туркменский национальный институт мировых языков имени Д. Азади, Туркменский сельскохозяйственный университет имени С.А. Ниязова, Государственную академию художеств, Национальный институт спорта и туризма Туркменистана.

Отметим также вузы, расположенные вне г. Ашхабада. В *Балканском* велаяте это Институт «Небитгазылмытаслама» Государственного концерна «Туркменнефть» и нефтепромысловый факультет Международного университета нефти и газа, г. Балканабат. В *Лебапском* велаяте это Туркменский национальный педагогический институт имени С. Сейди в г. Туркменабате. В *Марыйском* велаяте это Государственный энергетический институт Туркменистана в г. Мары. Кроме того, по гиперссылке со страницы сайта <http://science.gov.tm/turena/> возможен переход на сайт Медицинского училища, г. Дашогуз (*Дашагоузский велаят*).

С учетом относительно небольших пространственных размеров РеТ концентрацию основной массы вузов в ее столице можно считать вполне оправданной.

На странице <http://science.gov.tm/turena/> также указано, что к сети TuRENA подключены школы в г. Ашхабаде (№ 16, 18, 19, 20, 27, 34, 50, 52, 53, 64) и г. Мары (№ 1, 3, 6, 8, 10, 15, 18, 19, 20, 23), а также КСОЦ в городах Ашхабаде, Мары, Туркменабате. Однако гиперссылки на сайты этих образовательных организаций не указываются. Из этого можно сделать вывод, что отдельных сайтов они пока не имеют.

На странице <http://science.gov.tm/turena/> утверждается, что *«в TuRENA около 10500–12000 пользователей (зависит от расписания студентов)»*, а *«пропускная способность канала в интернет»* характеризуется так: *«Скорость приема 155 Mbps / скорость отправки – 155 Mbps»*.

С сайта <http://science.gov.tm/turena/> возможен переход также на научно-образовательные сети [22] ряда близлежащих по отношению к Туркмении государств. Ссылки для таких переходов сгруппированы на странице <http://science.gov.tm/turena/nrens/>: Азербайджана (AzRENA), Грузии (GRENA), Казахстана (KazRENA), Армении (ARENA), Таджикистана (TaRENA), Кыргызстана (AKNET), Узбекистана (UZSCI). России в этом списке на указанной странице сайта нет.

Система школьного образования Республики Туркменистан и место в ней дисциплин, связанных с информационно-телекоммуникационными технологиями. Согласно сведениям, размещенным на сайте https://ru.wikipedia.org/wiki/Министерство_образования_Туркмении (дата последнего обновления 09.09.2017), в РеТ действуют *«1760 средних школ, 37 средних профессиональных школ, 64 начальных профессиональных и 23 высших учебных заведения»*.

Отметим также информацию на сайте <https://turkmenportal.com/catalog/obrazovanie> в отношении наличия 26 *«профшкол»*, часть из которых является *«учебными центрами»* (в том числе подчиненными различными вузам и ведомствам), а также 32 *«спецшкол»*, часть из которых имеет *«спортивное»* направление.

Согласно Указу Президента Туркменистана «О совершенствовании системы образования в Туркменистане», начиная с 2013–2014 учебного года было введено двенадцатилетнее общее среднее образование. При этом Постановлением главы государства была утверждена и «Концепция» перехода общеобразовательных школ на двенадцатилетний срок обучения. В соответствии с «Концепцией», дети в Туркменистане будут поступать в школу уже в шестилетнем возрасте [3, 19]. Тенденция раннего начала образования характерна и для ряда других стран, включая Россию [18].

Начальное образование в РеТ будет осуществляться с 1-го по 4-й классы. Базовым средним образованием будут охвачены школьники 5–10 классов. На завершающем этапе для получения аттестата об общем среднем образовании учащимся будет предоставлена альтернатива продолжения обучения:

- либо в 11-х и 12-х классах средней школы с правом выбора интересующих их профилей обучения;
- либо в начальных и средних профессиональных учебных заведениях.

При этом, согласно данным на интернет-ресурсе <http://infoabad.com/obrazovanie-nauka-i-tehnika/kak-izmenitsja-uchebnaja-programa-pri-12-letke.html>, профильное обучение в средних школах РеТ (в том числе в специализированных школах, а также школах-интернатах), будет предусматривать углубленное изучение следующих дисциплин [2, 5]: естественные науки (химия, биология), точные науки (математика, физика), гуманитарно-социальные знания (история, обществоведение, языки). С 2013 г. в школьную программу были введены новые предметы, включая следующие: культурное наследие Туркменистана, основы экономики, экология, мировая культура, информационно-коммуникационные и инновационные технологии, моделирование и графика. Для темы настоящей статьи особый интерес представляют последние два объекта в этом списке.

При этом, согласно сведениям на ресурсе [5], «предусматривается увеличение количества часов, отводимых на изучение информатики, иностранных языков, обществоведения, а также на трудовое обучение».

Количество учебных часов (академических) для предметов, соответствующих теме настоящей статьи, зависит от профиля школ. В школах, ориентированных на профиль «точные науки», количество часов на информатику, информационно-коммуникационные и инновационные технологии, моделирование и графику может быть больше по сравнению с другими типами школ. Кроме того, туркменские школьники могут получать необходимые им дополнительные знания по этим предметам в КСОЦ, а также дома (путем самообразования, занятий с родителями и пр.) [19].

С точки зрения сравнения качества подготовки школьников в различных странах представляет интерес информация, размещенная по адресу http://gundogar-news.com/index.php?category_id=3&news_id=9061, о том, что «за 2015 год туркменские школьники завоевали в международных предметных олимпиадах 139 медалей, в том числе 23 золотых и 34 серебряных, а представители студенчества, принявшие участие в зарубежных интеллектуальных состязаниях и интернет-олимпиадах, – 68 медалей, из которых 18 золотых и 18 серебряных». К сожалению, из приведенных данных нельзя понять, о каких именно олимпиадах идет речь. Однако, например, на российском сайте <https://olymp.i-exam.ru/> (организации, занимающейся проведением международных предметных и полидисциплинарных интернет-олимпиад с дистанционным участием) на страничке <https://olymp.i-exam.ru/node/1532> прямо сказано о наличии участников из РеТ во втором туре по гуманитарным дисциплинам.

В РеТ уже не первый год действует государственная программа обеспечения школьников за счет бюджетных средств личными нетбуками (начиная с 1-го класса) [18]. По сведениям на сайте <https://eadaily.com/ru/news/2018/07/17/v-turkmenii-zayavili-chto-osvoili-proizvodstvo-kompyuterov> «в 2017 году согласно постановлению правительства было объявлено о закупке более 140 тысяч нетбуков для первоклассников». По сведениям, имеющимся в Интернете, сборка осуществляется из «китайских комплектов», но на территории РеТ. Массовая сборка (производство) таких ЭВМ обеспечивает следующее: поддержку национальных производителей средств вычислительной техники в республике; формирование национальных кадров квалифицированных сборщиков ЭВМ, их тестировщиков и пр.; низкую стоимость устройств.

Предполагается, что по заказу Министерства образования Туркменистана хозяйственное объединение «Oguzabat» осуществит поставку около 140 тысяч компьютеров и возьмёт на себя их дальнейшее техническое обслуживание в образовательных учреждениях страны (эти данные относятся к 2018 г.).

В типичных случаях в 2018 г. такие нетбуки для школьников имели оперативную память 0,5 Гб и процессор Intel Core i3 (или аналогичные им по производительности). Кроме того, эти ПЭВМ оснащаются необходимым для учебного процесса лицензионным программным обеспечением, что важно с позиций соблюдения «авторских прав» на программные средства. Использование при обучении в школах ПЭВМ, унифицированных по техническим характеристикам и предустановленным программным средствам, дает целый ряд методических преимуществ, причем не только по предметам, непосредственно связанным с ИТКТ, но и по иным дисциплинам. К сожалению, на сайтах республики не указывается, как именно обеспечивается информационная безопасность эксплуатации столь большого числа нетбуков

недостаточно опытными пользователями. Одним из решений могло бы быть установление ограничений на номенклатуру сайтов, доступных школьникам с таких устройств.

Расчетная продолжительность эксплуатации указанных ПЭВМ в интернете не называется. Однако, судя по опыту использования аналогичных устройств в России, практическая длительность эксплуатации такой техники составляет не более нескольких лет (с учетом процессов морального старения программного обеспечения и физического износа комплектующих). Поэтому можно предположить, что, по крайней мере уже в старших классах школ, учащиеся должны будут перейти на более мощные ПЭВМ, количество которых в РеТ растет быстрыми темпами.

Судя по сообщениям в интернете, в предшествующие несколько лет школьникам РеТ также передавались ПЭВМ, но они имели меньшую вычислительную мощность (производительность) [18, 19].

Согласно принятой с 2018 г. «новой Концепции обучения иностранным языкам» (<https://arzuw.news/7926/c-2018-goda-v-turkmenistane-startovala-novaya-koncepciya-obucheniya-inostrannym-yazykam.html>), языковая политика предусматривает «активное изучение школьниками и студентами трёх языков – родного туркменского, русского и английского». С 2016 г. в школах и вузах в качестве второго иностранного языка начали изучаться также китайский и японский языки. Интерес к китайскому языку связан, в частности, с большим объемом инвестиций Китайской Народной Республики в развитие газодобывающей отрасли в РеТ.

Отметим, что в вузах республики действуют кафедры не только английского, русского и китайского языков, но также «восточных языков», немецкого, французского, испанского, корейского, арабского и других языков. Эти кафедры, очевидно, осуществляют также подготовку преподавателей соответствующих языков.

Уровень владения русским языком школьников старших классов, и особенно студентов РеТ [7, 11], делает для них потенциально доступными многочисленные русскоязычные интернет-ресурсы обучающего и справочного характера, которые созданы и поддерживаются российскими организациями. Отметим, в частности, специализированные ресурсы, относящиеся именно к ИТКТ-сфере; настройке и использованию программного обеспечения.

Также в отношении освоения и последующего использования ИТКТ очень важно знание школьниками старших классов и студентами английского языка.

Обеспечение ИТК-компетентности студентов в рамках вузовского обучения на территории республики и за рубежом. При обучении в вузах РеТ целесообразно различать обеспечение ИТКТ-компетентности студентов «непрофильных» и «профильных» (в отношении ИТКТ) специальностей [17].

Для «непрофильных» специальностей обучения в вузах РеТ продолжается освоение студентами различных ИТКТ-компетенций, связанных с использованием пакетов офисного назначения; средств поиска информации в интернете и различных базах данных; практических приемов работы с информационными системами различного назначения и пр.

Необходимость подготовки специалистов ИТКТ-профиля на территории республики в настоящее время определяется достаточно большим количеством эксплуатируемых средств вычислительной техники и установленного на нем программного обеспечения; в ряде случаев – проведения самостоятельных разработок (прежде всего информационных систем). При этом сравнительные данные по «информатизации» РеТ и других стран, приведенные в [9, 12], следует считать устаревшими.

Рост общего количества ПЭВМ, используемых на территории РеТ, определяется следующими процессами:

- 1) увеличением количества ЭВМ, используемых в различных организациях, в том числе ПЭВМ и серверов в составе локальных вычислительных сетей;
- 2) ростом парка ПЭВМ, закупаемых населением за счет личных средств (это не только стационарные ПЭВМ, но и ноутбуки, нетбуки и пр.);
- 3) передачей нетбуков школьникам (см. выше) от имени государства.

Подготовка ИТКТ-специалистов осуществляется в ряде вузов республики. Однако на сайтах самих вузов, переходы на которые доступны с интернет-страницы <http://science.gov.tm/turena/>, сведений о направлениях обучения обычно нет.

Поэтому можно воспользоваться данными о наличии в вузах РеТ профильных (в отношении ИТКТ-подготовки студентов) кафедр. Доступ к сайтам рассматриваемых далее вузов осуществлялся через гиперссылки на странице <http://science.gov.tm/turena/>. Отметим, что данные о персональных составах преподавателей этих кафедр, а также об объемах выпуска студентов ИТКТ-направлений на сайтах вузов не приводятся. Однако в ряде случаев на сайтах вузов отражаются сведения о научных направлениях деятельности кафедр.

Итак, список вузов РеТ с «профильными» кафедрами, в том числе осуществляющими подготовку по «математическим направлениям».

1. Туркменский государственный университет им. Магтымгулы (кафедры «Прикладной математики», «Общей математики и математического анализа»).

2. Туркменский институт народного хозяйства (кафедры «Информационных систем и информационного бизнеса», «Математики в экономике»).

3. Туркменский сельскохозяйственный университет имени С.А. Ниязова (кафедры «Компьютерных технологий», «Высоких технологий»).

4. Туркменский государственный педагогический институт имени Сейитназара Сейди (кафедры «Математики и методики ее преподавания», «Вычислительной математики и информатики», «Информационно-компьютерный центр»).

5. Государственный энергетический институт Туркменистана (кафедра «Общей физики, математики и информатики»).

Приведенная выше информация по вузам РеТ показывает, что доля «специализированных» по ИТКТ-направлениям кафедр пока является относительно небольшой. Кроме того, для ряда вузов РеТ по названиям кафедр иногда трудно понять, какие из них фактически занимаются ИТКТ-подготовкой студентов, в том числе и «непрофильных специальностей». При этом в вузах РеТ, судя по доступной в интернете информации, отсутствуют «специализированные» кафедры по «Информационной безопасности», компьютеризированным «Системам автоматизированного проектирования» и пр., которые уже давно есть во многих российских вузах.

Отметим, что на сайте <http://www.erasmusplus.org.tm/ru/higher-education-in-turkmenistan/turkmen-universities/> имеется более полный список вузов, из них 19 – гражданские, 4 – военные. Целесообразно отметить следующие вузы и направления подготовки (использована орфография оригинала).

1. Туркменский государственный институт экономики и менеджмента: Информационные системы в экономике и управлении; Международный информационный бизнес.

2. Туркменский государственный институт культуры: Информатика и книжное дело.

3. Туркменский сельскохозяйственный университет им. С. А. Ниязова: Информационная система в сельском хозяйстве.

4. Туркменский государственный архитектурно-строительный институт: Автоматизированные системы обработки информации и управления; Информационно-измерительная техника и технология; Программное обеспечение информационных технологий.

5. Университет инженерных технологий имени Огузхана: Информатика и вычислительная техника; Автоматизация и управление.

Таким образом, приведенный выше перечень специальностей подготовки по ИТКТ-направлениям смотрится как более полный, по сравнению с представленным выше перечнем кафедр. При этом на сайте <http://gundogar-mediawiki.tw1.ru/index.php/> Университет инженерных технологий Туркменистана приведена информация о наличии факультета «Компьютерных наук и информационных технологий». На сайте http://gundogar-mediawiki.tw1.ru/index.php/Высшие_учебные_заведения_Туркменистана приведен список из 20-ти гражданских и 5-ти военных вузов Туркменистана (он в основном совпадает с тем списком, который указан на сайте в предыдущем абзаце). К сожалению, гиперссылок на сайты самих вузов на этом ресурсе нет.

Сведения о предоставлении платных услуг по обеспечению дополнительного образования в ИТКТ-сфере для студентов (или населения) на сайтах самих вузов РеТ не отражены. Поэтому возможно, что такого рода центры (курсы) действуют вне вузов как автономные организации.

Представляется, что по мере расширения использования в РеТ средств вычислительной техники населением и организациями, увеличения объемов изучения в школах республики дисциплин, относящихся к информационным технологиям, количество «специализированных» кафедр по ИТКТ-направлениям в РеТ будет увеличиваться. Одновременно будет расти и общая квалификация (компетентность) населения и специалистов РеТ в отношении использования информационных технологий.

Зарубежная подготовка туркменских студентов обходится бюджету РеТ дороже, чем на территории республики. Поэтому такая подготовка за счет бюджетных средств РеТ практикуется, но не является массовой. Кроме того, значительное количество студентов из РеТ обучаются за рубежом на коммерческой основе (за счет личных средств) – в том числе и в России, в Астраханской области.

На сайте http://gundogar-news.com/index.php?category_id=3&news_id=9061 указывается, что «...тысячи туркменских юношей и девушек стали обладателями студенческих билетов престижных вузов России, Беларуси, Китая, Малайзии, Азербайджана, Румынии, Турции, Хорватии и других зарубежных государств».

Отбор туркменских граждан для обучения за рубежом на бюджетной основе осуществляет [1, 10, 20] Министерство образования РеТ, но через разные вузы республики. Например, на странице сайта <https://turkmenportal.com/catalog/12883> были размещены объявления о конкурсном отборе на обучение в высшие учебные заведения Китая и Румынии на 2018–2019 учебный год (информация о конкретных направлениях подготовки, как сказано на сайте, «предоставляется приёмной комиссией Туркменского госуниверситета им. Махтумкули»). Аналогичная информация о возможностях обучения на территории Венгрии размещена на страничке <https://turkmenportal.com/catalog/12838> (отбор осуществляется также

Министерством образования, но через приемную комиссию «*Международного университета гуманитарных наук и развития*»).

Как уже отмечалось выше, подготовка туркменских студентов за рубежом может осуществляться и на «коммерческой основе» – за счет средств семей студентов. В частности, на сайте <https://turkmenportal.com/catalog/obrazovanie/ucheba-za-granicej> приведено 23 предложения различных фирм по организации зарубежного обучения студентов и школьников – причем часть из них за счет средств грантов, выделяемых принимающей стороной. Интересно, что среди этих предложений несколько раз в явной форме упоминается Украина, но нет упоминаний о России (при этом сама страница сайта является в основном русскоязычной).

В Астраханском государственном университете (г. Астрахань) обучается несколько сотен туркменских студентов – преимущественно по направлениям, связанным с русским языком и литературой, педагогикой. Проведение обучения по этим направлениям в «русскоязычной среде носителей языка» обеспечивает лучшее освоение учебного материала, знакомство с культурой России, ее социальными нормами поведения. В дальнейшем это будет полезно и для обеспечения связей между прикаспийскими государствами и их приморскими регионами. Кроме Астраханского государственного университета (АГУ) туркменские студенты учатся в таких вузах, как Астраханский государственный технический университет (АГТУ), Астраханская государственная медицинская академия (АГМА), Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ).

Основные причины «популярности» г. Астрахани у туркменских студентов [15]: хорошее соотношение между качеством и стоимостью обучения (для студентов, обучающихся на коммерческой основе); относительно близкое территориальное расположение по отношению к РеТ; теплый климат, похожий на тот, который имеет место в РеТ; толерантное отношение многонационального населения области к иностранным студентам, в том числе и из РеТ.

Характеристика оснащенности Республики Туркменистан средствами вычислительной техники. Официальные данные в отношении такой оснащенности, по крайней мере в интернете, отсутствуют. Однако за последние годы наблюдался быстрый рост оснащенности населения смартфонами. По крайней мере, в городах РеТ они есть уже практически у всех взрослых жителей, включая и студентов (а также у большинства школьников, начиная со средних классов). При этом с помощью смартфонов возможен беспроводной доступ населения к интернету через базовые станции операторов сотовой связи.

Отметим, что широкий спектр (большой диапазон) стоимостей смартфонов и кнопочных телефонов делает их доступными для населения с разными уровнями доходов. При этом кроме первичного рынка таких устройств существует и вторичный (устройства, уже бывшие в употреблении), на котором цены значительно ниже.

Также у населения РеТ пользуются популярностью компьютерные планшеты.

Оснащенность организаций РеТ средствами вычислительной техники зависит от профилей их деятельности. Те организации, которые систематически осуществляют обработку информации в больших объемах (в том числе в рамках использования «информационных систем»), обычно имеют локальные вычислительные сети и достаточно большое количество ПЭВМ.

Растет и количество ПЭВМ, используемых населением РеТ в быту. При этом в Ашхабаде доля семей, в которых есть ПЭВМ или ноутбук, выше, чем в других населенных пунктах республики.

В свою очередь, рост количества средств вычислительной техники и объемов использования программного обеспечения приводит к увеличению потребностей в обеспечении ИТКТ-компетентности населения. Увеличение объемов обучения по соответствующим направлениям как раз и отражает стремление удовлетворить эти объективно и субъективно существующие потребности.

Выводы. 1. В РеТ происходит быстрое расширение использования ИТКТ – как в рамках производственной деятельности, так и на бытовом уровне. 2. Эти процессы сопровождаются усилением внимания на государственном уровне к повышению объемов и качества ИТКТ-обучения в школах и вузах республики. В частности, реализуются программы индивидуального обеспечения школьников ноутбуками с предустановленным программным обеспечением. 3. Количество «специализированных» кафедр ИТКТИ-направления в вузах республики будет, очевидно, расти по мере дальнейшей информатизации организаций и населения республики. 4. Хороший уровень знания русского языка в РеТ обеспечивает возможности использования при обучении русскоязычных ресурсов по ИТКТ; поступления туркменских студентов в российские вузы без предварительного обучения на подготовительных отделениях.

Библиографический список

1. Агалыева Г. Сравнительный анализ образовательных систем России и Туркменистана (на уровне начальной школы) / Г. Агалыева, А. Пайзыева // International Education Social Sciences and Humanities Research Conference. – 2017. – С. 287–293.
2. Аллаев А. А. Система образования в Туркменистане / А. А. Аллаев. – Режим доступа: <https://www.altstu.ru/media/s/Koshkina-EE.doc>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 05.03.2019).

3. Алланазарова Г. С. Система образования в Туркменистане / Г. С. Алланазарова, О. А. Маршуба // Актуальные вопросы гуманитарных наук глазами молодежи : сборник научных статей по итогам IX Международной и X Межвузовской научных конференций студентов и молодых ученых / Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина. – 2016. – С. 300–304.
4. Баймырадов С. А. Роль повышения качества образования в высшей школе для реализации инновационной политики Туркменистана / С. А. Баймырадов, Ш. К. Хаитбаева // Современная наука: теоретический и практический взгляд : сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции / Научно-образовательное учреждение «Вектор науки»; научный редактор И. А. Рудакова. – 2015. – С. 30–34.
5. Бердыева А. Х. Образование и интеллектуальный капитал – как важнейшие факторы социально-экономического развития Туркменистана / А. Х. Бердыева // Известия ВУЗов Кыргызстана. – 2016. – № 11-1. – С. 116–119.
6. Брумштейн Ю. М. Поиск информации в Интернете: анализ влияющих факторов и моделей поведения пользователей / Ю. М. Брумштейн, Е. Ю. Васильковский, Т. Х. Куаншкалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2017. – № 1 (196). – С. 50–55.
7. Гончарова А. В. Особенности освоения русского языка как иностранного студентами Туркменистана на продвинутом этапе обучения / А. В. Гончарова // Проблемы модернизации современного высшего образования: лингвистические аспекты : материалы IV Международной научно-методической конференции. – 2018. – С. 207–212.
8. Гостилович Е. В. Расширение связей Республики Беларусь и Республики Туркменистан в области образования в глобализации и интернационализации / Е. В. Гостилович // Перспективы развития высшей школы : материалы X Международной научно-методической конференции / Гродненский государственный аграрный университет. – 2017. – С. 125–127.
9. Гурбанов Г. И. ИКТ-инфраструктура в странах СНГ / Г. И. Гурбанов // Информационное общество. – 2016. – Вып. 4–5. – С. 38–48. – Режим доступа: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/44535a3007d73089442581100044cc12>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 05.08.2019).
10. Корнева Я. А. Перспективы взаимодействия между вузами Туркменистана и России как части общего межгосударственного сотрудничества в гуманитарной сфере / Я. А. Корнева // Перспективы, организационные формы и эффективность развития сотрудничества российских и зарубежных вузов : материалы III Ежегодной международной научно-практической конференции / Технологический университет. – 2015. – С. 365–368.
11. Кудоярова Т. В. Русский язык в современной образовательной среде Туркменистана / Т. В. Кудоярова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Вопросы образования: языки и специальность. – 2010. – № 3. – С. 70–74.
12. Кузюкова Т. А. Анализ состояния и потенциала инфокоммуникационного развития стран РСС / Т. А. Кузюкова, Н. Е. Зоря, М. Г. Гаврилкина // Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. – 2013. – Т. 7, № 12.
13. Литвинова Е. В. Развитие системы образования в Республике Туркменистан / Е. В. Литвинова // Вестник Ассоциации ВУЗов туризма и сервиса. – 2014. – Т. 8, № 4. – С. 85–93.
14. Майоров А. С. Внедрение электронного правительства в Центральной Азии. Туркменистан – проблемы и перспективы / А. С. Майоров // Информатизация образования и науки. – 2014. – № 3. – С. 157–164.
15. Савостина И. Е., Завьялова Т. Н., Суховеева О. В. Особенности адаптации туркменских студентов в России / И. Е. Савостина, Т. Н. Завьялова, О. В. Суховеева // Новое слово в науке: стратегии развития : сборник материалов II Международной научно-практической конференции : в 2. – 2017. – С. 105–107.
16. Селищева Т. А. Проблемы неоднородности Евразийского информационного пространства / Т. А. Селищева // Вестник Института экономики и управления Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. – 2015. – № 3. – С. 67–75.
17. Сергеев С. А. Мотивационные и адаптационные проблемы интеграции иностранных студентов в инновационную образовательную среду университета / С. А. Сергеев, Е. П. Бондарева, А. А. Степанов // Экономика и управление инновациями. – 2017. – № 2 (2). – С. 86–97.
18. Уваров А. Ю. Образовательные реформы и информатизация школы // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2012. – № 24. – С. 33–41.
19. Хайруллаева Д. Система образования в Республике Туркменистан после провозглашения ее независимости / Д. Хайруллаева // Дмитриевские чтения : материалы III Всероссийской научной конференции. – 2018. – С. 132–133.
20. Хижук А. В., Нейтралитет Туркменистана – основа взаимодействия между вузами Туркменистана и России / А. В. Хижук, Н. П. Сидорова // Перспективы, организационные формы и эффективность развития сотрудничества российских и зарубежных вузов : материалы III Ежегодной международной научно-практической конференции. Технологический университет. – 2015. – С. 379–384.
21. Ходжакулиева Б. А. Развитие туркмено-российских отношений на современном этапе / Б. А. Ходжакулиева // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2015. – Т. 2, № 9. – С. 75–78.
22. Brumshteyn Yu. M. The Websites of International Association Organizations in the Science and Engineering Area: Analysis of Their Functionality, Webometric Ranks, and Role in the Scientific Information Space / Yu. M. Brumshteyn, E. Yu. Vas'kovskii // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2018. – Vol. 5, № 4. – P. 157–174.
23. Brumshteyn Yu. M., Vas'kovskii E. Yu. Studying the Functionality and Webometric Indicators of Specialized Science-Related Websites // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2018. – Vol. 52, № 1. – P. 7–23.

References

1. Agalyeva G., Payzyeva A. Sravnitelnyy analiz obrazovatelnykh sistem Rossii i Turkmenistana (na urovne nachechnoy shkoly) [The comparative analysis of Russian and Turkmenistan educational systems (at the level of elementary

school)]. *International Education Social Sciences and Humanities Research Conference Conference Proceedings* [Proceedings of International Education Social Sciences and Humanities Research Conference], 2017, pp. 287–293.

2. Allaev A. A. *Sistema obrazovaniya v Turkmenistane*. [Education system in Turkmenistan]. Available at: <https://www.altstu.ru/media/s/Koshkina-EE.doc> (accessed 05.03.2019).

3. Allanazarova G. S., Marshuba O. A. *Sistema obrazovaniya v Turkmenistane* [Education system in Turkmenistan]. *Aktualnye voprosy gumanitarnykh nauk glazami molodezhi : sbornik nauchnykh statey po itogam IX mezhdunarodnoy i X mezhvuzovskoy nauchnykh konferentsiy studentov i molodykh uchenykh* [Topical issues of the humanities youth eyes : Proceedings of Scientific Articles Following the Results of IX International and X Interuniversity Scientific Conferences of Students and Young Scientists], 2016, pp. 300–304.

4. Baymyradov S. A., Khaitbaeva Sh. K. Rol povysheniya kachestva obrazovaniya v vysshey shkole dlya realizatsii innovatsionnoy politiki Turkmenistana [The higher school education quality improvement role for implementation of innovative policy of Turkmenistan] // *Sovremennaya nauka: teoreticheskij i prakticheskij vzglyad : sbornik nauchnykh trudov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern science: theoretical and practical look : Proceedings of Scientific Works of the III International Scientific and Practical Conference], 2015, pp. 30–34.

5. Berdyeva A. H. Obrazovanie i intellektualnyy kapital – kak vazhneyshie faktory socialno-ekonomicheskogo razvitiya Turkmenistana [Education and the intellectual capital – as the most important factors of social and economic development of Turkmenistan]. *Izvestiya VUZov Kyrgyzstana* [News of Higher Education Institutions of Kyrgyzstan], 2016, no. 11-1, pp. 116–119.

6. Brumshteyn Yu. M., Vaskovskiy E. Yu., Kuanshkaliev T. H. Poisk informatsii v Internet: analiz vliyayushchikh faktorov i modeley povedeniya polzovateley [Information search on the Internet: the analysis of the influencing factors and users behavior models]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of the Volgograd State Technical University. Series: Current problems of management, computer facilities and informatics in technical systems], 2017, no. 1 (196), pp. 50–55.

7. Goncharova A. V. Osobennosti osvoeniya russkogo yazyka kak inostrannogo studentami Turkmenistana na prodvnutom etape obucheniya [Features of Russian language development as foreign language for Turkmenistan students at an advanced grade level]. *Problemy modernizatsii sovremennogo vysshego obrazovaniya: lingvisticheskie aspekty : materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Problems of modern higher education modernization: linguistic aspects : Materials of the IV International Scientific and Methodical Conference], 2018, pp. 207–212.

8. Gostilovich E. V. Rasshirenie svyazey respubliki Belarus i respubliki Turkmenistan v oblasti obrazovaniya v globalizatsii i internatsionalizatsii [Extension of republic of Belarus and the republic Turkmenistan contacts in the field of education in globalization and internationalization]. *Perspektivy razvitiya vysshey shkoly: materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. Uchrezhdenie obrazovaniya «Grodenskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet»* [Prospects of the higher school development : Proceeding of X International Scientific and Methodical Conference], 2017, pp. 125–127.

9. Gurbanov G. I. O. IKT-infrastruktura v strankakh SNG [ICT infrastructure in the CIS countries]. *Informatsionnoe obshchestvo* [Information society], 2016, iss. 4–5, pp. 38–48). Available at: <http://emag.iis.ru/arc/infoc/omag.nsf/BPA/44535a3007d73089442581100044cc12> (accessed 05.08.2019).

10. Korneva Ya. A. Perspektivy vzaimodeystviya mezhdru vuzami Turkmenistana i Rossii kak chasti obshchego mezhgosudarstvennogo sotrudnichestva v gumanitarnoy sfere [The prospects of interaction between higher education institutions of Turkmenistan and Russia as parts of the general interstate cooperation in the humanitarian sphere]. *Perspektivy, organizatsionnye formy i effektivnost razvitiya sotrudnichestva rossiyskikh i zarubezhnykh vuzov : materialy III Ezhegodnoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Prospects, organizational forms and efficiency of Russian and foreign higher education institutions cooperation development : Proceedings of the III Annual International Scientific and Practical Conference], 2015, pp. 365–368.

11. Kudoyarova T. V. Russkiy yazyk v sovremennoy obrazovatel'noy srede Turkmenistana [Russian language in the modern educational environment of Turkmenistan]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Voprosy obrazovaniya: yazyki i specialnost* [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Issues of education: languages and specialty], 2010, no. 3, pp. 70–74.

12. Kuzovkova T. A., Zorya N. E., Gavrilkina M. G. Analiz sostoyaniya i potentsiala infokommunikatsionnogo razvitiya stran RSS [An infocommunication development of the countries of RSS state and potentia analysis]. *T-Comm-Telekommunikatsii i Transport* [T-Comm-Telecommunication and Transport], 2013, vol. 7, no. 12.

13. Litvinova E. V. Razvitie sistemy obrazovaniya v respublike Turkmenistan [Development of an education system in the republic Turkmenistan]. *Vestnik Associatsii VUZov turizma i servisa* [Bulletin of Association of Higher Education Institutions of tourism and service], 2014, vol. 8, no. 4, pp. 85–93.

14. Mayorov A. S. Vnedrenie elektronnoy pravitel'stva v Centralnoy Azii. Turkmenistan – problemy i perspektivy [Introduction of the electronic government in Central Asia. Turkmenistan – problem and prospects]. *Informatizatsiya obrazovaniya i nauki* [Informatization of Science and Education], 2014, no. 3, pp. 157–164.

15. Savostina I. E., Zavyalova T. N., Suhoveeva O. V. Osobennosti adaptatsii turkmenskikh studentov v Rossii [Features of adaptation of the Turkmen students in Russia]. *Novoe slovo v nauke: strategii razvitiya : sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New word in science: development strategies : Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference], in 2 vol. 2017, pp. 105–107.

16. Selishcheva T. A. Problemy neodnorodnosti Evraziyskogo informatsionnogo prostranstva [Problems of heterogeneity of the Eurasian information space]. *Vestnik Instituta ekonomiki i upravleniya Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yaroslava Mudrogo* [Bulletin of Institute of Economy and Management of the Novgorod State University of Yaroslav the Wise], 2015, no. 3, pp. 67–75.

17. Sergeev S. A., Bondareva E. P., Stepanov A. A. Motivatsionnye i adaptatsionnye problemy integratsii inostrannykh studentov v innovatsionnyuyu obrazovatelnyuyu sredu universiteta [Motivational and adaptation problems of foreign students integration into the innovative educational environment of the university]. *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami* [Economy and Innovations Management], 2017, no. 2 (2), pp. 86–97.
18. Uvarov A. Yu. Obrazovatelnye reformy i informatizatsiya shkoly [Educational reforms and school informatization]. *Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatika i informatizatsiya obrazovaniya* [Bulletin of the Moscow City Pedagogical University. Series: Informatics and education informatization], 2012, no. 24, pp. 33–41.
19. Hayrullaeva D. Sistema obrazovaniya v respublike Turkmenistan posle provozglasheniya ee nezavisimosti [Education system in the republic Turkmenistan after declaration of its independence]. *Dmitrievskie chteniya : materialy III Vse-rossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Dmitriyevsky readings : Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference], 2018, pp. 132–133.
20. Hizhuk A. V., Sidorova N. P. Neytralitet Turkmenistana – osnova vzaimodeystviya mezhdru vuzami Turkmenistana i Rossii [Neutrality of Turkmenistan – a basis of interaction between higher education institutions of Turkmenistan and Russia]. *Perspektivy, organizatsionnye formy i effektivnost razvitiya sotrudnichestva rossiyskikh i zarubezhnykh vuzov : materialy III Ezhegodnoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Prospects, organizational forms and efficiency of the Russian and foreign higher education institutions cooperation development : Proceedings of the III Annual International Scientific and Practical Conference], 2015, pp. 379–384.
21. Khodzhaikulieva B. A. Razvitie turkmeno-rossiyskikh otnosheniy na sovremennom etape [Development of the Turkmen-Russian relations at the present stage]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya* [Economy and Management: Problems, Decisions], 2015, vol. 2, no. 9, pp. 75–78.
22. Brumshteyn Yu. M., Vas'kovskii E. Yu. The Websites of International Association Organizations in the Science and Engineering Area: Analysis of Their Functionality, Webometric Ranks, and Role in the Scientific Information Space. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2018, vol. 5, no. 4, pp. 157–174.
23. Brumshteyn Yu. M., Vas'kovskii E. Yu. Studying the Functionality and Webometric Indicators of Specialized Science-Related Websites. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2018, vol. 52, no. 1, pp. 7–23.

УДК 004.822:338.482.22

УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ В ТУРИСТИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ПАУТИНЫ И ОНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Статья поступила в редакцию 16.03.2019, в окончательном варианте – 24.03.2019.

Аль-Мерри Гайс М.С., Северо-Кавказский федеральный университет, 355009, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
аспирант, e-mail: gaismr2009@mail.ru

Кравец Алла Григорьевна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28
доктор технических наук, профессор, e-mail: agk@gde.ru

Салникова Наталья Анатольевна, Волгоградский институт управления – филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, 400131, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Гагарина, 8
кандидат технических наук, доцент, e-mail: ns3112@mail.ru

В статье проведен анализ бизнес-логики туристической индустрии. По результатам анализа выделен ряд особенностей и проблем, которые требуют учета и решения с целью повышения качества обслуживания клиентов туроператоров. Рассмотрена модель функционирования туристической отрасли, приведена общая схема работы программ автоматизации туристической индустрии. Также сделано обоснование выбора онтологии туристической отрасли, проведен анализ выбора инструментария редактирования онтологий, описаны средства автоматизации туристического бизнеса. Приведена новая схема интеграции методов семантической паутины в систему автоматизации бизнес-администрирования туристической индустрии. Цель исследования, описанного в данной статье, состоит в разработке подхода к решению задачи управления бизнес-процессами в туристической индустрии на основе комбинированной реализации методов семантической паутины и онтологического моделирования. После проведенного анализа аналогов и прототипов средств автоматизации туристического бизнеса был выделен ряд правил для создаваемой системы, сформулирована методика сбора знаний для обучения онтологии. На основе разработанных моделей и подходов спроектирован и реализован прототип системы бизнес-администрирования в туристической индустрии. В статье приводится архитектура системы управления бизнес-процессами в туристической индустрии. В качестве путей развития предлагаемой методики, позволяющей концептуализовать предметную область, теоретически организовать накопленные знания, следует учесть возможность построения систем нового типа на основе обученной онтологии.

Ключевые слова: бизнес-процессы, семантическая паутина, туристическая индустрия, системы поддержки принятия решений, онтологии, интеллектуальные системы

Графическая аннотация (Graphical annotation)

SEMANTIC WEB MODEL FOR BUSINESS PROCESS MANAGEMENT
IN THE TOURISM INDUSTRY

The article was received by editorial board on 16.03.2019, in the final version – 24.03.2019.

Al-Merry Gais M.S., North-Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355009, Russian Federation,

post-graduate student, e-mail: gaismr2009@mail.ru

Kravets Alla G., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: agk@gde.ru

Salnikova Natalia A., Volgograd Institute of Management – branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 8 Gagarin St., Volgograd, 400131, Russian Federation

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: ns3112@mail.ru

The article analyzes the business logic of the tourism industry. According to the results of the analysis, a number of features and problems have been identified that require consideration and solution in order to improve the quality of customer service of tour operators. The model of functioning of the tourist industry is considered, the general scheme of work of programs of automation of the tourist industry is given. The rationale for choosing the ontology of the tourism industry was also made, the analysis of the choice of ontology editing tools was carried out, automation tools for the tourism business were described. A new scheme for integrating the semantic web methods into the decision support subsystem for the automation system of the business administration of the tourism industry is presented. The purpose of the study described in this article is to develop tools for improving the quality and validity of decisions made under conditions of uncertainty in the initial information. Achieving this goal was achieved through the developed approach to decision support in the face of uncertainty. This approach is distinguished by the combined use of the hierarchy analysis method and the Semantic Web methods. After analyzing the analogs and prototypes of the automation tools for the tourism business, a number of rules were identified for the system being created, and a methodology for collecting knowledge for ontology training was formulated. Based on the developed methods and approaches, a system for automating business administration in the tourism industry has been designed and implemented. The article presents the architecture of the business process management system in the tourism industry. As ways of development of the proposed methodology, which allows conceptualizing the subject area, theoretically organizing the accumulated knowledge, one should take into account the possibility of building systems of a new type based on a trained ontology.

Key words: business processes, semantic web, tourism industry, decision support systems, ontologies, intellectual systems

Введение. Туризм – информационно насыщенная деятельность. Существует немного других отраслей, в которых сбор, обработка, применение и передача информации были бы настолько же важны для ежедневного функционирования, как в туристической индустрии. Услуга в туризме не может быть выставлена и рассмотрена в пункте продажи, как потребительские или производственные товары. Данную услугу обычно покупают заранее и вдали от места ее потребления. Таким образом, туристический рынок почти полностью зависит от изображений (статических и анимированных), видеороликов, текстовых описаний, средств коммуникаций и передачи информации [1, 6].

В настоящее время именно информационные технологии рассматриваются как стратегический ресурс развития деловой активности, как способ повышения конкурентоспособности туристической компании [9]. Такой подход требует ответа на ряд нетехнологических вопросов: в чем выражается доход от внедрения информационных систем и услуг, как его измерить, какие организационные и кадровые преобразования следует предпринять для полноценной реализации проекта внедрения информационных технологий [14, 21]. Именно поэтому требуют решения проблемы, связанные с применением информационных технологий в управлении деятельностью туристской организации. В результате применения информационных технологий возрастают безопасность и качество туристических услуг [12].

В рамках цифровой экономики меняется схема экономических отношений между производителем и потребителем туристских услуг: информация – производство – туристские услуги. В этой схеме информация является, с одной стороны, естественной средой взаимодействия всех ресурсов, необходимых для создания турпродукта, с другой – представляет собой самостоятельный ресурс, формирующий потребительские предпочтения [10].

В связи с этим в настоящее время представляется особенно актуальным следующее: анализ существующих информационных услуг в туризме, изучение основных областей применения информационных технологий, в частности совершенствование бизнес-процессов с использованием информационных систем.

Поскольку сфера туризма развивается в быстро изменяющейся и трудно предсказуемой среде, то возникает потребность в качественном и оперативном информационном обеспечении, так как перед каждым туристическим контрагентом возникает необходимость формулировать долгосрочные цели развития, количественно определять целевые ориентиры результативности деятельности и намечать стратегии их достижения [3, 4].

Применение информационных технологий в управлении и планировании деятельности туристического оператора, а также информационное обеспечение туристского бизнеса опираются на различные туристские информационные и маркетинговые системы, развитую телекоммуникационную инфраструктуру [2]. Развитие российского рынка туризма обусловило необходимость изучения теории и практики управления информационными технологиями, анализа международного опыта использования компьютерных систем.

Туристические информационные системы являются относительно новым классом бизнес-систем. Они предоставляют услуги туроператора турагентствам и туристам; обслуживают большое количество контрагентов, таких как авиакомпании, гостиницы, транспортные организации, рестораны и др. Используя преимущества цифровых технологий, современная туристическая компания уверенно и успешно работает сегодня, закладывая фундамент завтрашнего процветания.

Постановка задачи исследования. Задачей туроператора является доведение услуг отдельных производителей до потребителей в виде комплексного туристского продукта, причем как основных услуг (пакет тура), так и дополнительных (потребляемых на месте, в том числе за наличный расчет).

К основным услугам турагентства относятся следующие: выбор вида туризма и маршрута тура (места отдыха); выбор даты начала тура, уточнение количества дней тура; выбор категории отеля; организация питания; выбор трансфера (средства доставки туристов); организация культурной программы; уточнение цены тура с учетом системы скидок.

На рисунке 1 приведена схема, показывающая взаимосвязь различных механизмов, сущностей и процессов в единой деятельности, направленной на предоставление туристических услуг. Стрелками на схеме обозначена существующая связь между компонентами системы, необходимая для выполнения определенных целей.

По сути, туристическая отрасль – это экономическая сфера деятельности, предоставляющая информационно насыщенные услуги. Система информационных технологий, используемых в туризме, состоит из компьютерной системы резервирования, системы проведения телеконференций, видеосистем, компьютеров, информационных систем управления, электронных информационных систем авиалиний / электронной пересылки денег, телефонных сетей, подвижных средств сообщения и т.д.

Таким образом, цель исследования состоит в разработке подхода к решению задачи управления бизнес-процессами в туристической индустрии на основе комбинированной реализации методов семантической паутины и онтологического моделирования, включающего в себя интеграцию качественных зависимостей и экспертных правил, формализованных в виде онтологии, в процессе управления бизнес-процессами.

Обоснование выбора средств реализации онтологии туристической индустрии. В области туризма уже существуют различные внутренние таксономии, которые были разработаны туристическими агентствами для внутреннего использования, с целью помочь в управлении разнородными данными. В настоящее время активно делаются попытки разработки мировых стандартов по обеспечению возможности внутреннего и внешнего обмена туристическими данными.

В настоящее время одним из перспективных направлений в моделировании бизнес-процессов является использование онтологий как спецификаций некоторой предметной области [13]. Онтологии играют важную роль в облегчении семантической интеграции разнородных данных. Онтологии позволяют концептуализировать предметную область, т.е. теоретически организовать накопленные знания – определить понятия, отношения и механизмы управления, необходимые для описания процессов решения задач в избранной предметной области [5, 8]. Кроме того, преимуществом использования онтологий является возможность анализа, накопления и повторного использования знаний в предметной области, полученных из разных источников [7, 11].

Рассмотрим наиболее известные из общедоступных официальных онтологий туризма, которые могут служить основой задач, специфичных для туристических онтологий.

В рамках проекта ЕС была создана онтология Harmonise для решения проблем совместимости и обмена данными в области туризма [18]. Целью онтологии является помощь туристическим организациям в обмене информацией без изменения внутренней структуры данных и информационной системы. Проект Harmonise основан на классификации различных туристических онтологий с использованием семантических посредников «Mediators».

Mondeca Tourism Ontology (www.mondeca.com) включает в себя важные понятия из сферы туризма, которые определены тезаурусом ВТО (Всемирная туристская организация) [17]. Тезаурус ВТО включает в себя информацию и определения сферы туризма и отдыха. Онтология Mondeca специфицируется на туризме, культурных объектах, туристических сделках и мультимедийном контенте. Используемый язык онтологии – OWL. Онтология содержит около 1000 понятий.

ONTOUR Ontology (<http://ontour.deri.org/ontology/ontour-02.owl>) разработана фирмой DERI (Digital Enterprise Research Institute) и создана специально для туристической индустрии [19]. В дополнение к стандартным концепциям туризма (местонахождение, размещение и т.д.) она также включает в себя понятия, описывающие дополнительные туристические услуги и географические данные. Используемым языком онтологий является OWL-DL.

В состав организации OTA (Open Travel Alliance) входят различные сегменты туристической индустрии, наряду с ключевыми технологиями и поставщиками услуг [20]. Спецификация OTA состоит из XML-файлов, содержащих наборы услуг (около 140 XML-документов, относящихся к событиям и деятельности различных туристических секторов).

За основу онтологии для решения задач по теме настоящего исследования была принята онтология ONTOUR, разработанная в проекте DERI (рис. 3) [19].

Выбранная онтология ориентирована именно на предоставление туристических услуг и наиболее полно описывает данную сферу; не переполнена излишней информацией. ONTOUR написана на онтологическом языке OWL, сочетает в себе все преимущества этого формата:

- повторное использование и взаимодействие: модели RDF и OWL могут совместно использоваться приложениями в сети;
- гибкость: модели RDF и OWL могут работать в открытых окружениях, в которых классы могут определяться динамически и т.д.;
- проверка целостности и качества различных моделей;
- построение рассуждений: OWL обладает высокой выразительностью, поддерживаемой средствами автоматического логического вывода.

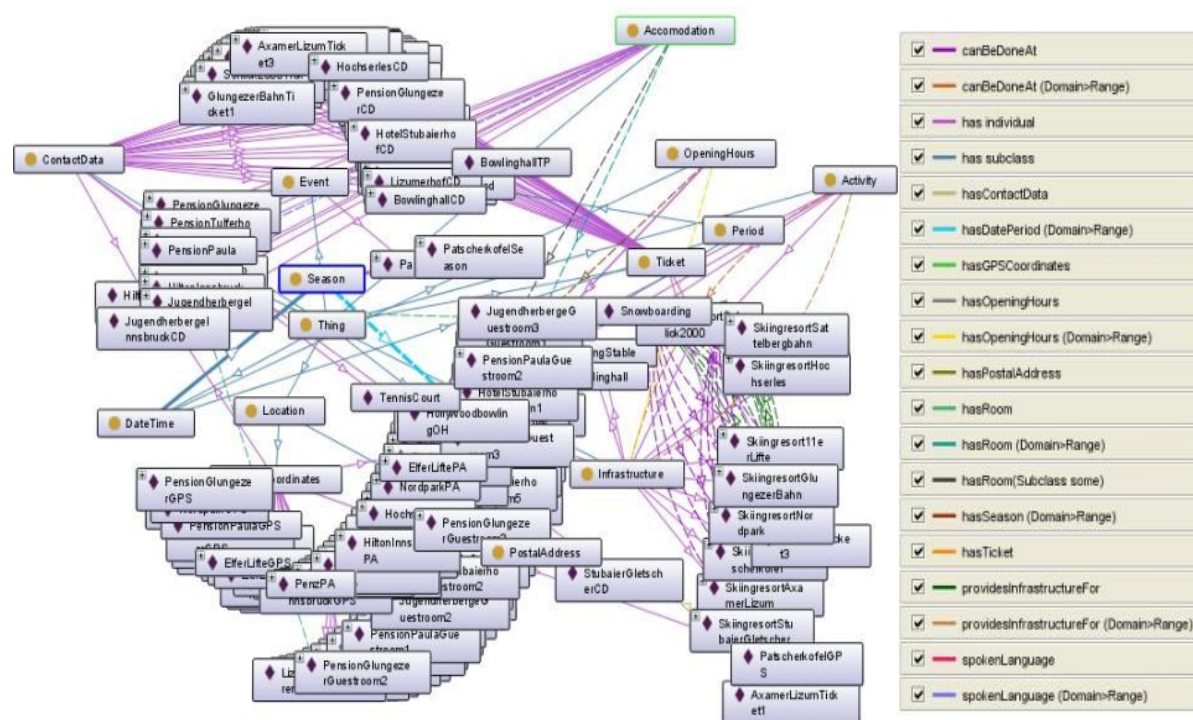


Рисунок 3 – Фрагмент онтологии ONTOUR

Выбранная онтология была модифицирована в рамках исследования путем добавления новых сущностей и связей. Однако не существует одной онтологии, которая соответствует всем потребностям задач, связанных с туризмом. Поэтому разработчикам должны быть предоставлены средства создания, редактирования и отображения онтологий [15].

После проведенного анализа выбора инструментария редактирования онтологий Protégé 5.2.0 была выбрана в качестве основной программы для работы с онтологией, используемой в разрабатываемой системе управления бизнес-процессами в туристической индустрии. Редактор онтологий Protégé 5.2.0 обеспечивает графические средства редактирования и просмотра онтологий, где классы обычно представлены узлами на графах, а отношения – дугами между ними. Дополнительно к этим графическим функциям предоставляется некоторая поддержка в написании формальных аксиом и сложных выражений.

Выбранная онтология ONTOUR представлена в формате OWL и является корректными RDF-графиками.

Semantic Web в управлении бизнес-процессами в туристической индустрии. Популярным направлением исследований в области внедрения интеллектуальных технологий в процесс автоматизации туристического бизнеса, направленных на решение проблем динамичности и учета неполноты данных, является применение методов и технологий семантической паутины (Semantic Web) [16].

Для построения динамических пакетов туристических услуг комбинируют разнотипные услуги от разных фирм. Для решения проблемы получения данных из разнородных источников предложено использовать семантических посредников «Mediators» (поведенческие шаблоны проектирования), образующих иерархическую структуру, которая соответствует структуре концептов в онтологии. Динамический пакет услуг генерируется web-процессом. В то же время такая система, недостаточно гибкая, не поддерживает динамической перепланировки пакета услуг и работает только в ручном режиме.

Одним из путей решения проблемы неполноты данных о клиенте и заказе является получение дополнительной информации из контекста заказа, разработка контекстных сервисов для предоставления услуг в сфере туризма. В рамках исследовательского проекта CONTEXT, финансируемого Европейским союзом, предложен обзор разработанных базовых технологий и архитектур контекстных сервисов. В работе [22] продемонстрирована возможность построения контекстных сервисов для создания мобильных рабочих сред, коммуникационных сервисов, устойчивых к отказам. Но предложенный подход не использует интеллектуальных, семантически ориентированных систем, содержание понятия «Контекст» в нем определено заранее для каждого применения.

Существующие подходы к интеграции методов онтологического моделирования не обладают достаточной гибкостью, не поддерживают динамическую перепланировку пакетов услуг и не используют

ются для поддержки принятия решений [23]. Поэтому была разработана новая схема интеграции методов семантической паутины в подсистему поддержки принятия решений для системы автоматизации бизнес-администрирования туристической индустрии [24].

В качестве модели представления знаний в предметной области была выбрана OWL-DL-онтология, что позволяет задать сложную структуру связей, включать данные различных типов, а также интегрировать экспертные правила и качественные рассуждения в процесс поиска оптимальных решений с помощью правил описательной логики.

Для построения запросов к данным, представленным по модели RDF, консорциумом W3C рекомендуется язык SPARQL. Язык имеет SQL-подобный синтаксис, определяет запросы в терминах шаблонов графа, которые сравниваются с направленным графом, представляющим данные RDF. Этот язык является одной из технологий семантической паутины.

Точка доступа (SPARQL-endpoint) или SPARQL-процессор – это сервис, позволяющий пользователю вводить его запросы, обрабатывать эти запросы и возвращать результат в различных форматах. Различают два вида точек доступа – общего назначения и локальные. Точки доступа общего назначения могут производить запросы по любым указанным RDF-документам, находящимся в сети. В то же время локальные endpoint'ы способны получать данные только от одного ресурса.

В качестве SPARQL-точки доступа для работы с онтологией ONTOUR в системе управления бизнес-процессами в туристической индустрии был выбран программный пакет ARC2. Он полностью написан на языке PHP, специально ориентированным на разработку web-приложений. Так как система управления бизнес-процессами изначально была задумана как web-ориентированное приложение, то была выбрана SPARQL-точка доступа, написанная на одном из самых популярных языков разработки web-приложений.

Концепция и архитектура системы управления бизнес-процессами в туристической индустрии. На основе произведенного анализа аналогов и прототипов средств автоматизации туристического бизнеса был выделен ряд требований для создаваемой системы:

- система должна учитывать законодательство и внутренний регламент; разделять сотрудников по обязанностям и ролям; требовать для своей работы представления данных о заказчике, услугах; вести учет финансовой деятельности;
- должен быть блок авторизации, на основании которого предоставляются права пользования; блок ввода данных, обеспечивающий систему данными о пользователях; блок обработки, занимающийся планированием организации туров и расчетами с пользователями; блок вывода данных (включая договора и отчеты) в виде печатных документов;
- для успешного функционирования система должна обеспечить пользователя возможностью ввода данных о турах и других предоставляемых услугах, данных о клиенте. Основной задачей блока ввода данных является информационная поддержка оформления заявки клиента на получение туристической услуги;
- неотъемлемой функциональной частью систем автоматизации туристической индустрии также является блок ввода информации для финансового учета на основе сведений о платежах клиента;
- основными функциями обработки данных существующих систем являются определение подходящего тура под заказ клиента и расчет финансовой информации;
- CRM (Customer Relationship Management). Внутрифирменная система, используемая агентством, должна позволять туристическому агентству сохранить наработанную клиентскую базу данных и историю взаимоотношений со своими клиентами;
- автоматизация анализа накопленных данных и получение статистической информации. Для принятия правильных стратегических решений программное обеспечение, используемое турфирмой, должно формировать исчерпывающее количество статистических отчетов, которые покажут рентабельность работы компании за промежуток времени, среднюю доходность заявок по направлениям и туроператорам и многое другое.

Разрабатываемая система предназначена для управления бизнес-процессами в туристической индустрии.

Графическое отражение последовательности операций в системе автоматизации бизнес-администрирования туристической фирмы отображено на рисунке 4. Функционально вся система разделена на две подсистемы:

- подсистема поддержки принятия решений;
- подсистема автоматизации управления бизнес-процессами в туристической индустрии.

Обмен данными между подсистемами осуществляется в формате XML.

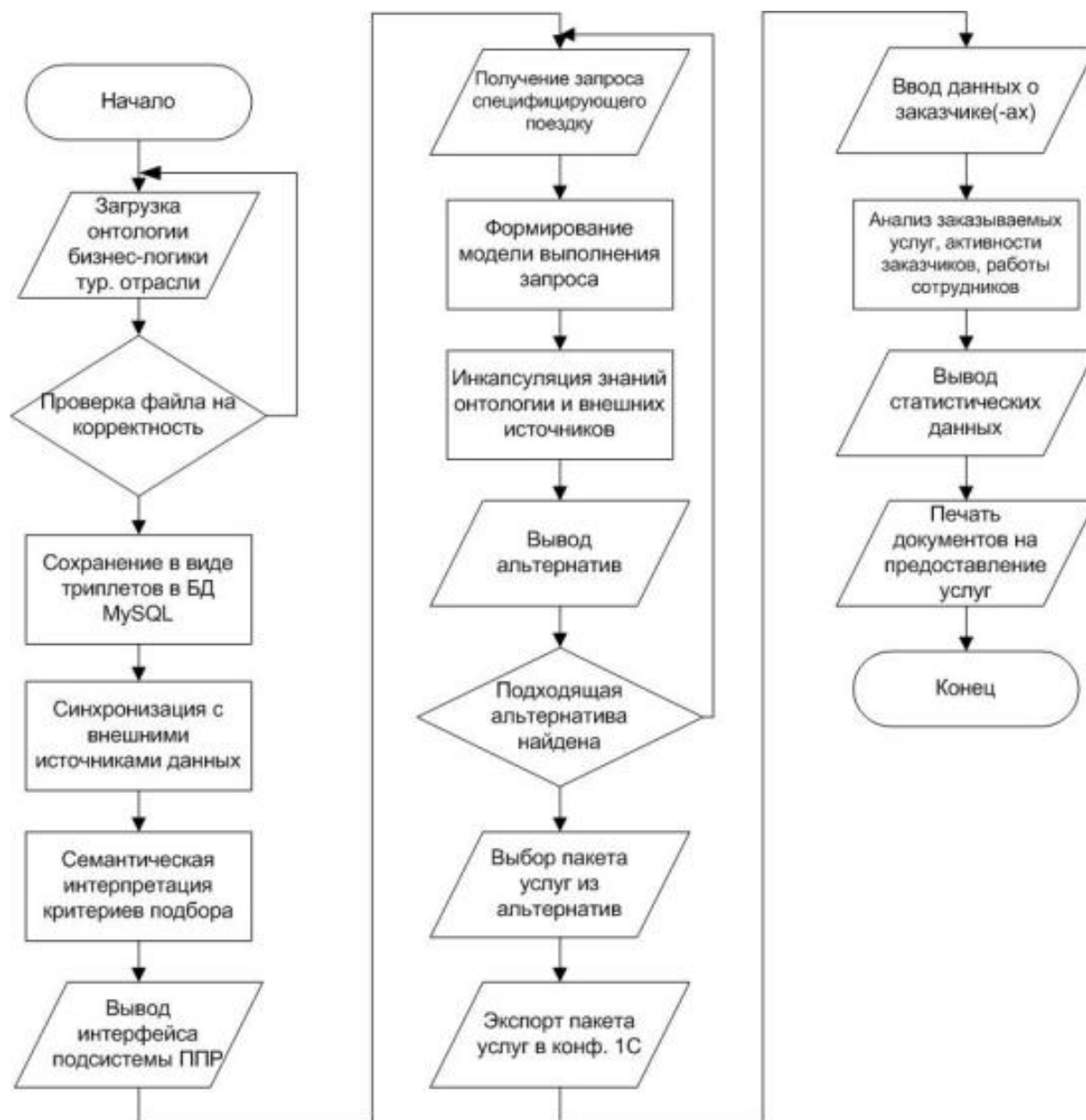


Рисунок 4 – Схема общего алгоритма системы управления бизнес-процессами в туристической индустрии

Архитектура разработанной системы управления бизнес-процессами в туристической индустрии (рис. 5) разделена на три уровня: уровень интерфейса, уровень логики и уровень данных. Подсистема поддержки принятия решений реализована как web-приложение, функционирующее на HTTP-сервере Apache с установленным интерпретатором PHP и системой управления базами данных MySQL. Учетная подсистема разработана в виде конфигурации для платформы «1С:Предприятие 8.3» с поддержкой импорта/экспорта данных.

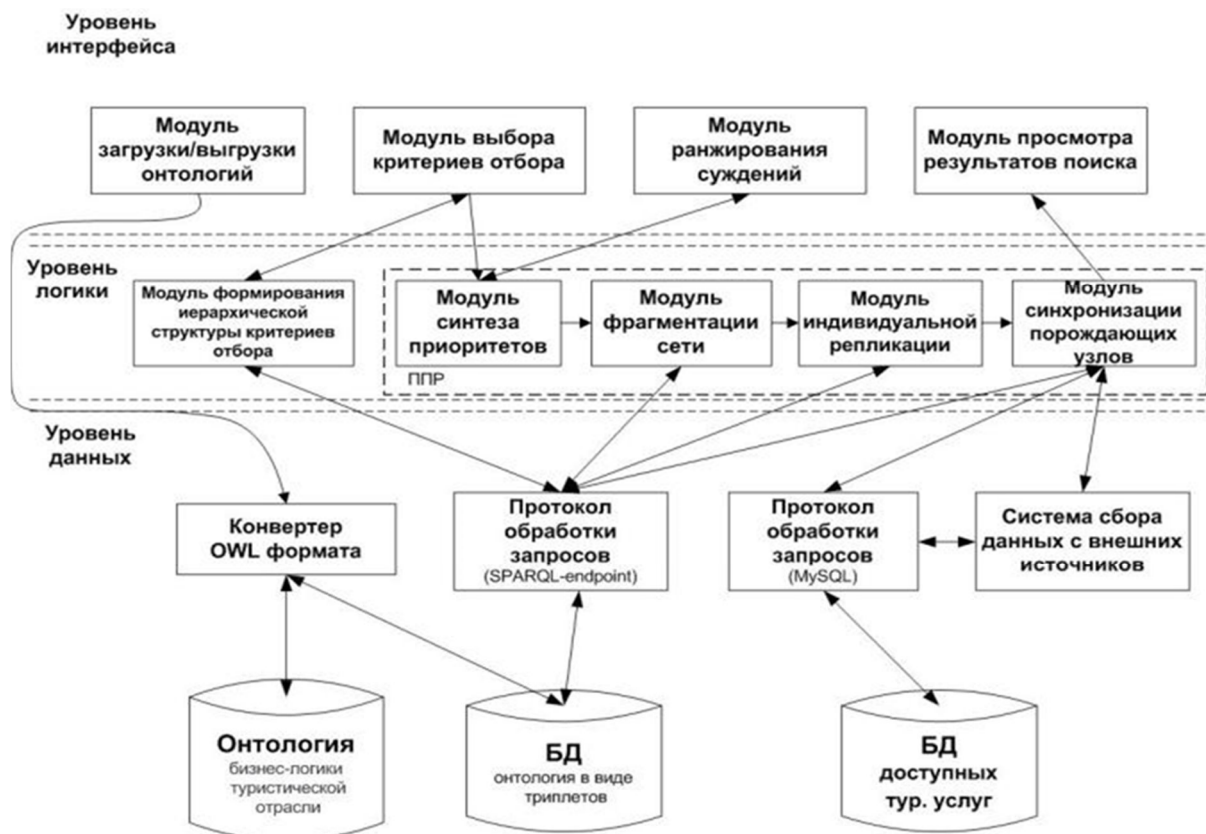


Рисунок 5 – Архитектура системы управления бизнес-процессами в туристической индустрии

После авторизации в системе управления бизнес-процессами пользователю предоставляется определенный интерфейс, обеспечивающий права пользователя соответствующими функциями. Интерфейс реализованного прототипа системы управления бизнес-процессами в туристической индустрии представлен на рисунке 6. Он имеет привлекательный вид и прост в использовании.

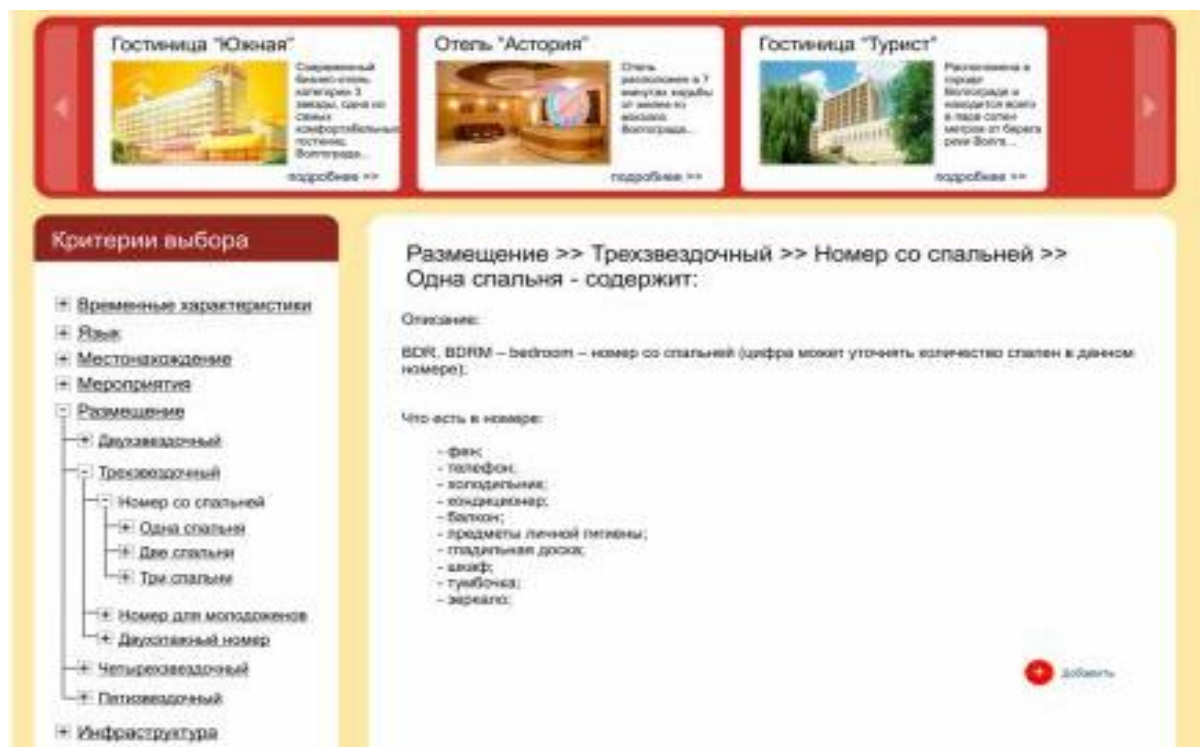


Рисунок 6 – Экранная форма прототипа системы управления бизнес-процессами в туристической индустрии

Заключение. В результате исследований был разработан подход к управлению бизнес-процессами в туристической индустрии, отличающийся комбинированным применением методов Semantic Web и онтологического подхода. Разработанный новый подход к решению задачи поддержки принятия решения и управления бизнес-процессами туристической фирмы обеспечивает структуризацию знаний о бизнес-логике отрасли.

На базе предложенных моделей и методов реализован прототип системы управления бизнес-процессами в туристической индустрии.

В качестве путей развития предлагаемой методики, позволяющей концептуализовать предметную область, теоретически организовать накопленные знания, следует учесть возможность построения систем нового типа на основе обученной онтологии.

Библиографический список

1. Аль-Мерри Гайс М. С. Гибридный алгоритм анализа активности контрагентов туроператора / М. С. Аль-Мерри Гайс, А. Г. Кравец // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 3 (7). – С. 68–72.
2. Брумштейн Ю. М. Использование интернет-технологий в управлении научным имиджем регионального вуза / Ю. М. Брумштейн, А. А. Бондарев, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 2 (22). – С. 90–99.
3. Брумштейн Ю. М. Анализ направлений и результативности использования информационных технологий для обеспечения востребованности услуг организаций индустрии гостеприимства (на примере Астраханской области) / Ю. М. Брумштейн, Е. Ю. Васильковский, Г. А. Джанкулова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 3 (35). – С. 8–21.
4. Брумштейн Ю. М. Поиск информации в Интернете: анализ влияющих факторов и моделей поведения пользователей / Ю. М. Брумштейн, Е. Ю. Васильковский, Т. Х. Куаншкалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – № 1 (196). – С. 50–55.
5. Валовой М. Ю. Интеллектуальная поддержка продвижения сайтов на основе онтологического подхода / М. Ю. Валовой, Н. П. Садовникова // Тезисы докладов смотря-конкурса научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета ВолгГТУ. – 2014. – С. 153.
6. Гарин М. С. Автоматизация бизнес-администрирования в туристической фирме / М. С. Гарин, А. Г. Кравец, Е. В. Романенко // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – № 3 (76). – С. 100–102.
7. Гхош К. П., Щербаков М. В. Методы поддержки принятия решений управления процессом реорганизаций социально-экономических институтов / К. П. Гхош, М. В. Щербаков // Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения : материалы Второй международной молодежной конференции. – 2018. С. 9.
8. Евдошенко О. И. Разработка онтологии и базы данных для эффективного поиска научно-технической документации / О. И. Евдошенко, А. Г. Кравец, И. Ю. Петрова // Прикладная информатика. – 2015. – Т. 10, № 5. – С. 85–92.
9. Кравец А. Г. Подход к реализации проактивного управления ресурсами подразделений субъектов туристического кластера / А. Г. Кравец, А. О. Морозов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 3. – С. 65–78.
10. Кравец А. Г. Проактивный подход к автоматизации управления ресурсами службы хаускипинга гостиницы / А. Г. Кравец, А. О. Морозов, И. В. Струкова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 1 (37). – С. 71–83.
11. Матохина А. В. Разработка онтологии для интеллектуальной системы поддержки принятия решений в задачах управления развитием города / А. В. Матохина, Н. П. Садовникова, Д. С. Парыгин, Е. П. Гнедкова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – № 14 (178). – С. 69–74.
12. Морозов А. О. Модуль поддержки принятия решений для управления ресурсами подразделений субъектов туристического кластера / А. О. Морозов, А. Г. Кравец, И. В. Струкова // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 3 (7). – С. 34–38.
13. Садовникова Н. П. Онтологическая модель представления знаний для поддержки процессов принятия решений в области стратегического планирования развития города / Н. П. Садовникова, Е. П. Гнедкова, Д. А. Ширманова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (157). – С. 80–83.
14. Щербаков М. В. О проактивной интеллектуальной поддержке принятия управленческих решений / М. В. Щербаков // Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения : материалы Второй международной молодежной конференции. – 2018. – С. 5.
15. Al-Gunaid M. A. A survey of fuzzy cognitive maps forecasting methods / M. A. Al-Gunaid, M. V. Shcherbakov, K. S. Zadiran, A. V. Melikov // 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2017. – 2018. – P. 1–6.
16. Berners-Lee T. The Semantic Web. Scientific American / T. Berners-Lee, J. Hendler. Stanford University, 2001.
17. Mondeca Tourism Ontology. – Режим доступа: <http://mondeca.com>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 22.03.2019).
18. Ontology Harmonise. – Режим доступа: <http://aims.fao.org/ru/activity/blog/crop-ontology-harmonizing-semantics-phenotyping-and-agronomy-data>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 22.03.2019).
19. ONTOUR Ontology. – Режим доступа: <http://ontour.deri.org/ontology/ontour-02.owl>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 22.03.2019).
20. Open Travel Alliance. – Режим доступа: <https://opentravel.org/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 22.03.2019).

21. Orudjev N. Y. Problems of Introducing Information technologies in Practice of Psychiatric Service / N. Y. Orudjev, O. V. Poplavskaya, L. B. Lempert, N. A. Salnikova, M. B. Kultsova // IISA 2016 – 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications. – 2016. – P. 7785417.
22. Raz Danny. Fast and Efficient Context-Aware Services / Raz Danny, Tapani Juhola Arto, Serrat-Fernandez Joan, Galis Alex // Wiley Series on Communications Networking & Distributed Systems. – John Wiley & Sons, 2006. – P. 222.
23. Sadovnikova N. Ontology-based urban transport system modelling for dynamic goal setting & decision making / N. Sadovnikova, A. Matohina, O. Shabalina, D. Shirmanova, A. Romanova // IISA 2016 – 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications. – 2016. – P. 7785342.
24. Zhukova I. G. Ontological approach in search optimization / I. G. Zhukova, N. P. Sadovnikova, M. Y. Valovoi, E. P. Gnedkova // 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology Conference Proceedings. CriMiCo – 2014. – 2014. – P. 336–337.

References

1. Al-Merri Gays M. S., Kravets A. G. Gibridnyy algoritm analiza aktivnosti kontragentov turoperatora [Hybrid algorithm for analyzing the activity of tour operator counterparties]. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii* [ITNOU: Information technologies in science, education and management], 2018, no. 3 (7), pp. 68–72.
2. Brumshteyn Yu. M., Bondarev A. A., Dyudikov I. A. Ispolzovanie internet-tehnologiy v upravlenii nauchnym imidzhem regionalnogo vuza [Using Internet technologies in the management of the scientific image of a regional university]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Prikaspiyskiy Journal: Control and High Technologies], 2013, no. 2 (22), pp. 90–99.
3. Brumshteyn Yu. M., Vaskovskiy E. Yu., Dzhankulova G. A. Analiz napravleniy i rezultativnosti ispolzovaniya informatsionnykh tekhnologiy dlya obespecheniya vostrebovanosti uslug organizatsiy industrii gostepriimstva (na primere Astrahanskoy oblasti) [Analysis of the direction and effectiveness of the use of information technologies to ensure the demand for services of organizations of the hospitality industry (on the example of the Astrakhan region)]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Prikaspiyskiy Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 3 (35), pp. 8–21.
4. Brumshteyn Yu. M., Vaskovskiy E. Yu., Kuanshkaliev T. Kh. Poisk informatsii v internete: analiz vliyayushchikh faktorov i modeley povedeniya polzovateley [Information search on the Internet: analysis of influencing factors and user behavior patterns]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [News of Volgograd State Technical University], 2017, no. 1 (196), pp. 50–55.
5. Valovoy M. Yu., Sadovnikova N. P. Intellekturnaya podderzhka prodvizheniya saytov na osnove ontologicheskogo podkhoda [Intellectual support of website promotion based on the ontological approach]. *Tezisy dokladov smotrakonskursa nauchnykh, konstruktorskiykh i tekhnologicheskikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta VolGUTU* [Abstracts of the review competition of scientific, design and technological works of students of Volgograd State Technical University VolGUTU], 2014, p. 153.
6. Garin M. S., Kravets A. G., Romanenko E. V. Avtomatizatsiya biznes-administrirovaniya v turisticheckoy firme [Automation of business administration in a travel company]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [News of the Volgograd State Technical University], 2011, no. 3 (76), pp. 100–102.
7. Gkhosh K. P., Shcherbakov M. V. Metody podderzhki prinyatiya resheniy upravleniya processom reorganizatsiy socialno-ekonomicheskikh institutov [Methods of decision-making support for managing the reorganization of socio-economic institutions]. *Informatsionnye tekhnologii i tekhnologii kommunikatsii: sovremennye dostizheniya : materialy Vtoroy mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii* [Information and Communication Technologies: Modern Achievements: Materials of the Second International Youth Conference], 2018, p. 9.
8. Evdoshenko O. I., Kravets A. G., Petrova I. Yu. Razrabotka ontologii i bazy dannykh dlya effektivnogo poiska nauchno-tehnicheskoy dokumentatsii [Development of ontology and database for effective search of scientific and technical documentation]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics], 2015, vol. 10, no. 5, pp. 85–92.
9. Kravets A. G., Morozov A. O. Podkhod k realizatsii proaktivnogo upravleniya resursami podrazdeleniy subektov turisticheckogo klastera [Approach to the implementation of proactive resource management units of tourism cluster entities]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo un-ta. Ser. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Ser. Management, computing and computer science], 2018, no. 3, pp. 65–78.
10. Kravets A. G., Morozov A. O., Strukova I. V. Proaktivnyy podkhod k avtomatizatsii upravleniya resursami sluzhby khauskipinga gostinitsy [A proactive approach to automating resource management at the hotel housekeeping service]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 1 (37), pp. 71–83.
11. Matokhina A. V., Sadovnikova N. P., Parygin D. S., Gnedkova E. P. Razrabotka ontologii dlya intellektualnoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v zadachakh upravleniya razvitiem goroda [Developing an ontology for an intelligent decision-making support system for managing the development of a city]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Volgograd State Technical University], 2015, no. 14 (178), pp. 69–74.
12. Morozov A. O., Kravets A. G., Strukova I. V. Modul podderzhki prinyatiya resheniy dlya upravleniya resursami podrazdeleniy subektov turisticheckogo klastera [The decision support module for managing the resources of departments of tourism cluster entities]. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii* [ITNOU: Information technologies in science, education and management], 2018, no. 3 (7), pp. 34–38.
13. Sadovnikova N. P., Gnedkova E. P., Shirmanova D. A. Ontologicheskaya model predstavleniya znaniy dlya podderzhki protsessov prinyatiya resheniy v oblasti strategicheskogo planirovaniya razvitiya goroda [The ontological model of knowledge representation for supporting decision-making processes in the field of strategic planning of city development]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Volgograd State Technical University], 2015, no. 2 (157), pp. 80–83.

14. Shcherbakov M. V. O proaktivnoy intellektualnoy podderzhke prinyatiya upravlencheskikh resheniy [About proactive intellectual support for making management decisions]. *Informatsionnye tekhnologii i kommunikatsii: sovremennye dostizheniya : materialy Vtoroy mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii* [Information and Communication Technologies: Modern Achievements: Materials of the Second International Youth Conference], 2018, p. 5.
15. Al-Gunaid M. A., Shcherbakov M. V., Zadiran K. S., Melikov A. V. A survey of fuzzy cognitive maps forecasting methods. *8th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2017*, 2018, pp. 1-6.
16. Berners-Lee T., Hendler J. *The Semantic Web. Scientific American*. Stanford University, 2001.
17. *Mondeca Tourism Ontology*. Available at: <http://mondeca.com> (accessed 22.03.2019).
18. *Ontology Harmonise*. Available at: <http://aims.fao.org/ru/activity/blog/crop-ontology-harmonizing-semantics-phenotyping-and-agronomy-data> (accessed 22.03.2019).
19. *ONTOUR Ontology*. Available at: <http://ontour.deri.org/ontology/ontour-02.owl> (accessed 22.03.2019).
20. *Open Travel Alliance*. Available at: <https://opentravel.org/> (accessed 22.03.2019).
21. Orudjev N. Y., Poplavskaya O. V., Lempert L. B., Salnikova N. A., Kultsova M. B. Problems of Introducing Information technologies in Practice of Psychiatric Service. *IISA 2016 - 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*, 2016, p. 7785417.
22. Raz Danny, Tapani Juhola Arto, Serrat-Fernandez Joan, Galis Alex. *Fast and Efficient Context-Aware Services. Wiley Series on Communications Networking & Distributed Systems*. John Wiley & Sons, 2006, p. 222.
23. Sadovnikova N., Matohina A., Shabalina O., Shirmanova D., Romanova A. Ontology-based urban transport system modelling for dynamic goal setting & decision making. *IISA 2016 – 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*, 2016, p. 7785342.
24. Zhukova I. G., Sadovnikova N. P., Valovoy M. Y., Gnedkova E. P. Ontological approach in search optimization. *24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology Conference Proceedings. CriMiCo – 2014*, 2014, pp. 336–337.

УДК.: 621.391.812.6(575.2) + 004.02

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПО РАДИОКЛИМАТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ (НА ПРИМЕРЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

Статья поступила в редакцию 20.02.2019, в окончательной варианте – 01.04.2019.

Оконов Манас, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сети связи и системы коммуникации», e-mail: mokonov3@gmail.com

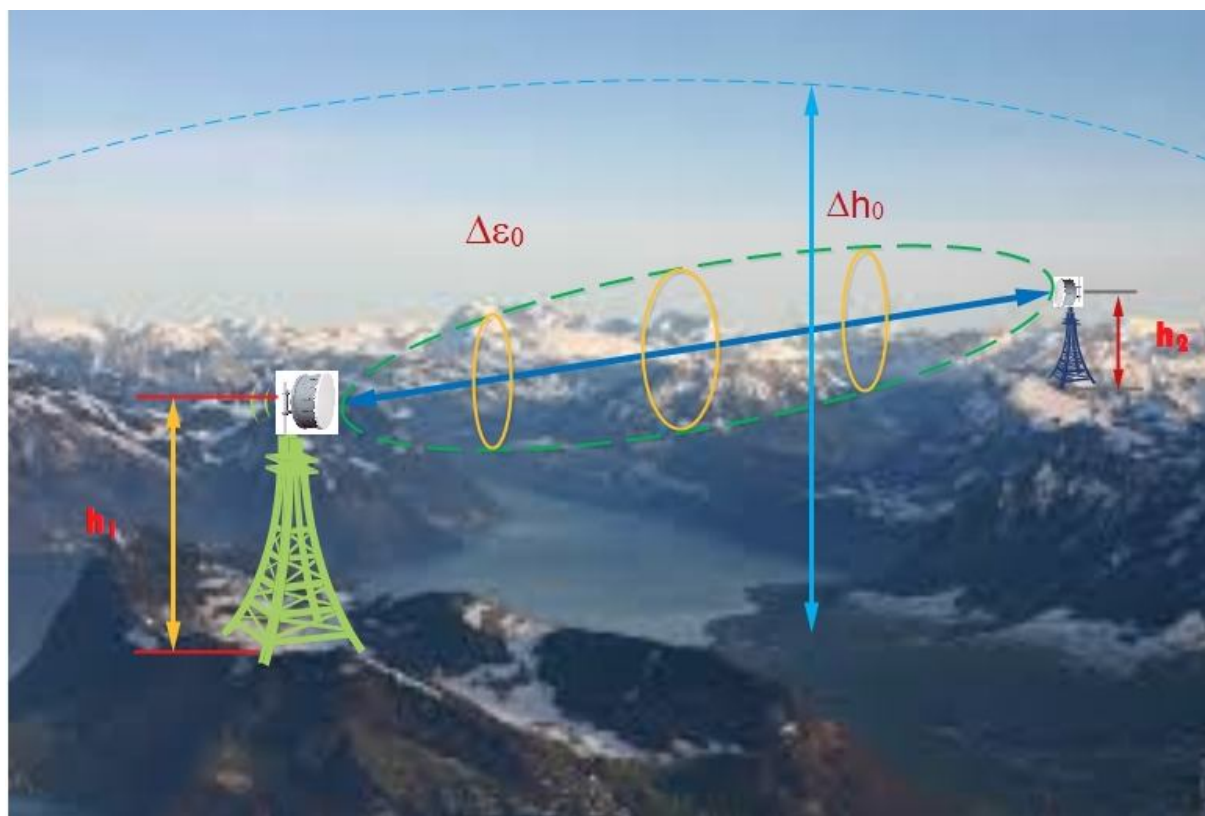
Куцев Евгений Витальевич, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: evgeny230285@mail.ru

Боскебеев Калычбек Джетмишбаевич, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: kboskebeev@mail.ru

В горной и высокогорной местности при расположении корреспондирующих пунктов цифровых радиорелейных линий на господствующих высотах возможна прямая видимость на большие расстояния, иногда достигающие 200 и даже более километров. Благодаря этому оказывается возможным создание более экономичных сетей связи, чем в равнинной местности. Данная статья посвящена исследованию радиоклиматических параметров в части эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха. Они необходимы для оптимального выбора высот антенных опор и расчета субрефракционной составляющей неустойчивости, обусловленной влиянием рельефа местности при расчете качественных показателей цифровых радиорелейных линий. В данном исследовании методы математико-статистического анализа использованы для обработки данных аэрологического зондирования, выполнения расчетов значений метеорологических градиентов в слое $\Delta h = 200$ м над поверхностью земли, значений отклонения диэлектрической проницаемости воздуха $\Delta \bar{\epsilon}_0$. В результате получены данные об усредненных значениях отклонения диэлектрической проницаемости воздуха $\Delta \bar{\epsilon}_0$ от «единицы». Предложен метод прогнозирования параметров статистического распределения среднего вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха $\bar{g}$ и его стандартного отклонения σ_g в приземном слое толщиной 200 м по величине $\Delta \bar{\epsilon}_0$, выяснена высотная зависимость параметра $\Delta \bar{\epsilon}_0$. Полученные результаты могут быть использованы непосредственно при разработке или корректировке «Методики расчета трасс цифровых радиорелейных линий» в части методов расчета и выбора трасс высокогорных цифровых радиорелейных линий прямой видимости.

Ключевые слова: горная местность, цифровые радиорелейные линии (ЦРРЛ), диэлектрическая проницаемость воздуха, радиоклиматические параметры, аппроксимация, Кыргызская Республика

Графическая аннотация (Graphical annotation)



MODELS AND METHODS OF ZONING THE TERRITORY BY RADIOCLIMATIC PARAMETERS (ON THE EXAMPLE OF THE KYRGYZ REPUBLIC)

The article was received by editorial board on 20.02.2019, in the final version – 01.04.2019.

Okonov Manas, Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, 44 Kievskaya St., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: mokonov3@gmail.com

Kutsev Evgeny V., Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, 44 Kievskaya St., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: evgeny230285@mail.ru

Boskebeev Kalychbek Dzh., Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, 44 Kievskaya St., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kboskebeev@mail.ru

In the mountainous and high-mountainous terrains, with the location of the corresponding points of digital radio relay links at the prevailing heights, line-of-sight over long distances is possible, sometimes reaching 200 or even more kilometers. This makes it possible to create cheaper communication networks than in flatland terrain. This article is devoted to the study of radio climatic parameters (in terms of the effective gradients of the dielectric constant of air necessary) for the optimal choice of the height of antenna supports and the calculation of the subrefractional component of instability due to the effect of the terrain when calculating the quality indicators of digital radio relay links. In the study, the method of mathematical-statistical analysis was used to process the upper-air sounding, calculate the values of meteorological gradients in the layer $\Delta h = 200$ m above the ground surface, the values of air dielectric permittivity deviations $\Delta \epsilon_0$. As a result, data were obtained on the averaged values of the deviation of the dielectric constant of air $\Delta \epsilon_0$ from “one”, a method was proposed for predicting the parameters of the statistical distribution of the average vertical gradient of the dielectric constant of air and its standard deviation in the 200 m thick ground layer $\Delta \epsilon_0$, the height dependence of the parameter $\Delta \epsilon_0$. The obtained results can be used directly in the development or adjustment of the “Methodology for calculating the routes of digital radio relay links” (in terms of methods for calculating and choosing the routes of high-altitude digital radio relay line-of-sight links).

Key words: mountainous terrain, digital radio relay links (DRRL), dielectric constant of air, radio climatic parameters, approximation, Kyrgyz Republic

Введение. Радиорелейная связь представляет собой разновидность радиосвязи, осуществляемой посредством цепочки приёмопередающих радиостанций, как правило, отстоящих друг от друга на расстояние прямой видимости их антенн.

По своим техническим возможностям, количеству передаваемых сообщений, дальности и устойчивости действия радиорелейные линии (РРЛ) сопоставимы с кабельными линиями связи. В условиях сложного рельефа стран с горным рельефом местности РРЛ нашли широкое применение. Для построения магистралей РРЛ сооружают там, где кабельные линии проложить очень трудно или невозможно (в горных районах, через водные преграды и т.д.), а также при необходимости быстрого развертывания систем связи [2, 13].

Таким образом, вопросы принятия и реализации решений, связанных с районированием территорий в отношении возможностей обеспечения устойчивой радиосвязи с помощью РРЛ являются достаточно актуальными. Однако в существующей литературе эти вопросы рассмотрены недостаточно полно. Целью настоящей работы является попытка устранить указанный недостаток. Для определенности модели и методы районирования рассматриваются применительно к Кыргызской Республике. Однако описанные подходы применимы также для районирования горных районов в России, в частности в Республике Дагестан, некоторых районов республик Северного Кавказа.

Общая характеристика проблематики работы. В настоящее время РРЛ являются важной составной частью цифровых сетей связи, начиная с мелких организаций и заканчивая крупными национальными компаниями. Основные преимущества РРЛ:

- возможность быстрой установки оборудования при небольших капитальных затратах (малые габариты и масса радиорелейных систем (РРС) позволяют размещать их, используя уже имеющиеся помещения, опоры и всю инфраструктуру сооружений);
- экономически выгодный, а иногда и единственно возможный метод организации многоканальной связи на участках местности со сложным рельефом (лес, горы, болота и др.);
- возможность применения для аварийного восстановления связи в случае бедствий, при спасательных операциях и др.;
- высокое качество передачи информации по РРЛ, сопоставимое с волоконно-оптическими линиями связи (ВОЛС) и другими видами кабельных линий [1, 8, 11].

При расчете качественных показателей цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ) необходимо учитывать радиоклиматические особенности различных участков территорий в отношении статистики эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха [3, 4, 12]. Эти данные требуются для следующих целей:

- оптимального выбора высот антенных опор и расчета субрефракционной составляющей неустойчивости, обусловленной влиянием рельефа местности [14, 15];
- для расчета среднего ослабления сигнала на закрытых и полукрытых трассах [10, 17, 18].

Для большинства равнинных и малопересеченных регионов в различных странах (включая Кыргызскую Республику) уже произведено районирование по радиоклиматическим параметрам.

В то же время для горных и высокогорных регионов районирование во многих случаях не производилось ввиду сильной зависимости параметров распределений эффективного вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха $T(g_{эф})$ от времени года и местных условий. Частично также сказывается и меньшая плотность населения, постоянно проживающего в горных районах. Тем не менее проблема районирования для горных районов также является актуальной; требует разработки соответствующих подходов к ее решению.

Материалы и методы исследования. Исходными материалами для разработки методики расчета распределений $T(g)$ для территории Кыргызской Республики являются следующие:

- данные аэрологического зондирования атмосферы, производившиеся на трех станциях (Жалал-Абад, Бишкек и Нарын) 2–3 раза в сутки;
- данные наземных измерений температуры, давления и влажности воздуха на 16-ти метеорологических станциях республики. Список метеорологических станций с некоторой дополнительной информацией приведен в таблице 1. Все исходные (экспериментальные) материалы были получены из архивов ВНИИ Гидрометеорологической информации Российской Федерации за период 2015–2017 гг.

По данным одновременных измерений за трехлетний период (см. табл. 1) была сделана попытка исследования взаимосвязи следующих параметров:

- среднего вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха $\bar{g}$ и его стандартного отклонения σ_g в приземном слое тропосферы (эти данные были получены по результатам аэрологического зондирования);
- усредненных данных для приземных значений $\Delta \bar{\epsilon}_0$, которые являются отклонением диэлектрической проницаемости воздуха ϵ от «единицы».

Для этой цели были обработаны данные аэрологического зондирования для трех вышеуказанных станций и рассчитаны значения метеорологических градиентов в слое 200 м над поверхностью земли. Одновременно с этим по измеренным наземным метеорологическим параметрам рассчитывались значения $\Delta \bar{\varepsilon}_0$.

Анализ произведен по данным за апрель, июль, октябрь и ноябрь 2015–2017 гг., как это указано в таблице 1.

Таблица 1 – Список метеорологических станций

№ станции на карте (рис. 4)	Название станции	Координатный номер станции	Высота станции, м
1	Хайдаркан	399713	2000
2	Ноокат	403726	1325
3	Ош	406728	873
4	Жалал-Абад	409730	764
6	Ортокойское водохранилище	414715	1616
7	Кызыл-Адыр	427716	921
8	Талас	425722	1217
9	Бишкек	428745	756
11	Чаяк	419745	1652
13	Баетово	412750	2000
14	Нарын	414760	2039
15	Балыкчи	425762	1660
16	Чолпон-Ата	426770	1616
17	Каракол	424784	1716
18	Кызыл-Суу	424780	1768
19	Токмок	428753	816

Примечание: Координатный номер станции представляет собой сочетание широты и долготы станции до минут (без десятых долей). Первые три цифры координатного номера – широта станции, с четвертой по шестую – долгота станции. Например: Чолпон-Ата 426770, т.е. 42.6 С.Ш., 77 В.Д.

Расчет выполнен по формулам, взятым из [19]:

$$\Delta \varepsilon_0 = \frac{1,552 \times 10^{-4}}{T} \left(P + \frac{4800e}{T} \right), \quad (1)$$

$$g_0 = \frac{\Delta \varepsilon_0(h_2) - \Delta \varepsilon_0(h_1)}{h_2 - h_1}, \quad 1/\text{м}, \quad (2)$$

где T – температура воздуха по абсолютной шкале, град. Кельвина; P – давление воздуха, миллибар; e – давление водяных паров, миллибар; h_1 – высота приземной точки измерения метеопараметров относительно уровня моря, м; h_2 – высота точки измерения метеопараметров на верхней границе слоя ($\Delta h = 200$ м) относительно уровня моря, м.

Значения вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха g были статистически обработаны и по методу из [16] определены среднее значение $\bar{g}$ и его стандартного отклонения σ_g за каждый месяц. Проанализировав полученные данные установлено, что указанные параметры подчиняются нормальному закону. Следует отметить, что в отдельных случаях, когда измеренные точки не соответствовали толщине слоя 200 м, значения σ_g корректировались и приводились к толщине слоя $\Delta h = 200$ м по методу, предложенному в [16].

По материалам высотного зондирования на 3-х станциях Кыргызской Республики в среднепересеченной местности значения σ_g падают с увеличением толщины слоя примерно пропорционально квадратному корню из отношения толщины слоев. Что же касается величины $\bar{g}$, то до толщины слоя $\Delta h \approx 1000$ м величина $\bar{g}$ практически не изменяется.

Полученные данные проанализированы и сравнены со среднемесячными значениями $\Delta \bar{\varepsilon}_0$. По результатам проведенного сравнительного анализа установлено, что наблюдается взаимосвязь между значениями $\bar{g}$ и $\Delta \bar{\varepsilon}_0$, а также между σ_g и $\Delta \bar{\varepsilon}_0$. Результаты сравнительного анализа приведены на рисунках 1 и 2.

Усредненные зависимости $\bar{g}(\Delta \bar{\varepsilon}_0)$ и $\sigma_g(\Delta \bar{\varepsilon}_0)$ описываются следующими аппроксимациями (регрессионными уравнениями), которые приведены на рисунках 1, 2:

$$\bar{g} = (-5,4 - 3,59 \times 10^{-5} e^{1,987 \times 10^4 \times \Delta \bar{\varepsilon}_0}) \times 10^{-8}, \quad 1/\text{м}, \quad (3)$$

$$\sigma_g = (-1,64 - 3,78 \cdot 10^{-6} e^{2,335 \cdot 10^4 \times \Delta \bar{\varepsilon}_0}) \times 10^{-8}, \text{ 1/м.} \quad (4)$$

При этом выбор экспоненциальной зависимости для аппроксимаций определялся размещением экспериментальных точек на графиках.

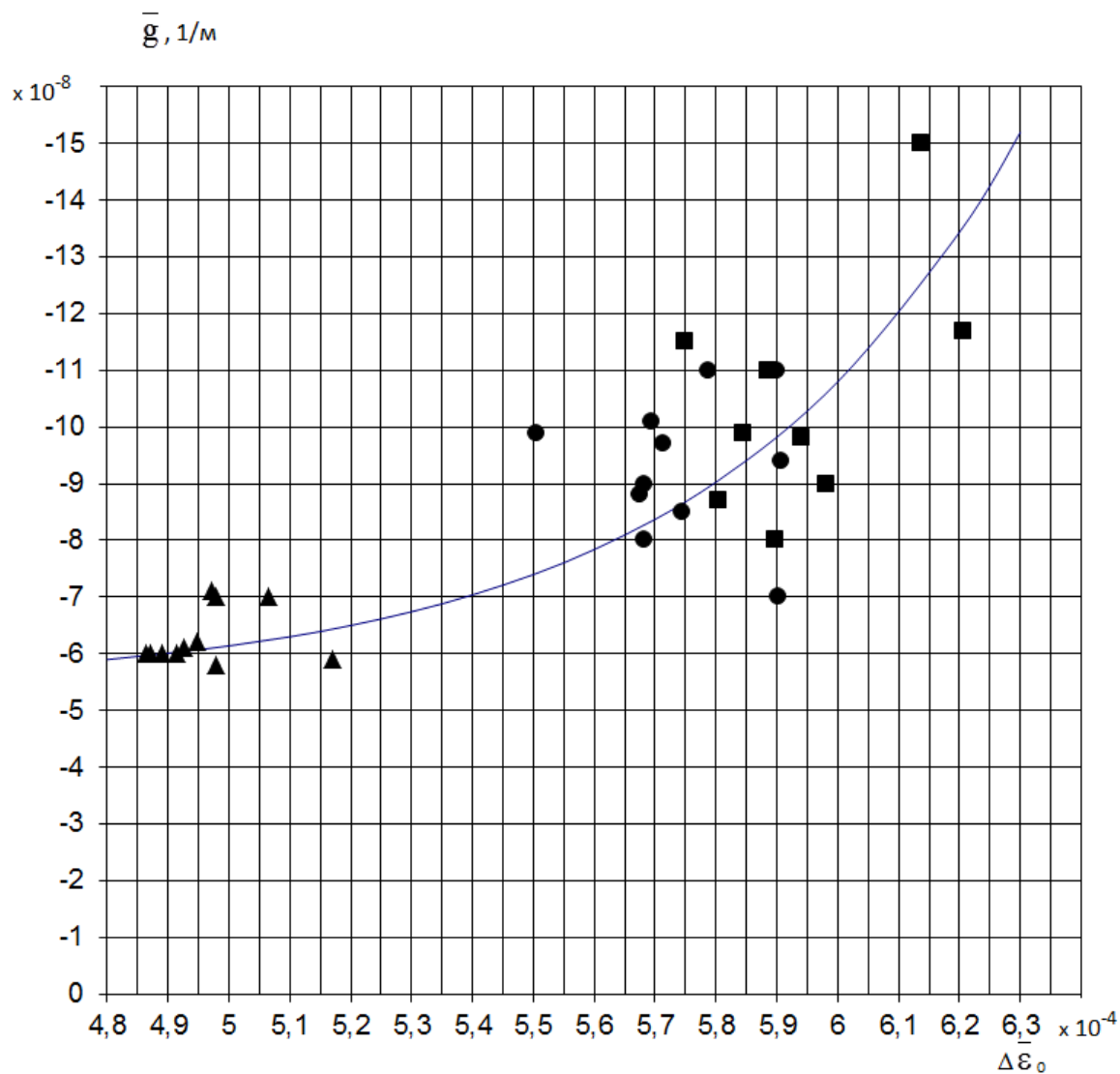


Рисунок 1 – Зависимость среднемесячных значений $\bar{g}$ от $\Delta \bar{\varepsilon}_0$. Обозначения: — значения, рассчитанные по формуле (3); измеренные величины: ▲ – ст. Нарын (№ 14); ● – ст. Бишкек (№ 9); ■ – ст. Жалал-Абад (№ 4)

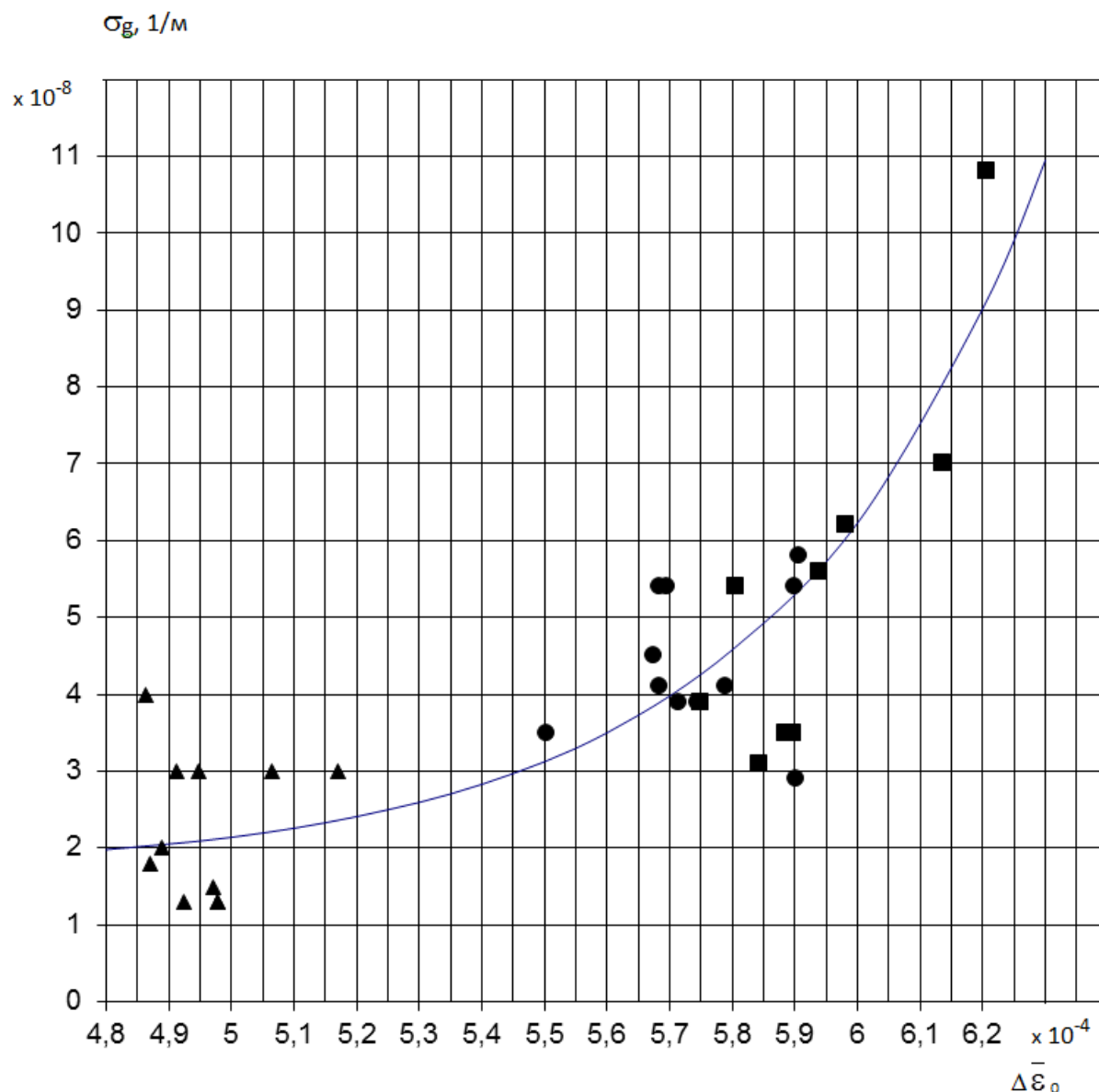


Рисунок 2 – Зависимость среднемесячных значений σ_g от $\Delta \bar{\epsilon}_0$. Обозначения: — результаты расчетов по формуле (4); измеренные величины: $\blacktriangle$ – ст. Нарын (№ 14); $\bullet$ – ст. Бишкек (№ 9); $\blacksquare$ – ст. Жалал-Абад (№ 4)

Анализ относительных отклонений расчетных значений от экспериментальных величин дал следующие результаты:

- для зависимости $\bar{g}(\Delta \bar{\epsilon}_0)$ среднее значение относительной ошибки $\bar{E} = -1,57\%$ (отклонений экспериментальных значений от расчетных, полученных с использованием регрессионных зависимостей), ее стандартное отклонение $\sigma_E = 14,5\%$. При этом средняя абсолютная ошибка составила соответственно: для $\bar{E} = 0,29 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$, а для $\sigma_E = 1,32 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$;

- для зависимости $\sigma_g(\Delta \bar{\epsilon}_0)$ среднее значение $\bar{E} = 8,05\%$, стандартное отклонение $\sigma_E = 33,4\%$. Эти данные соответствуют абсолютным ошибкам $\bar{E} = -0,12 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$, а $\sigma_E = 1,05 \times 10^{-8} \text{ 1/м}$.

Такие значения параметров отклонений соизмеримы с точностью измерений метеопараметров. На основании этого можно считать, что предложенная модель определения $\bar{g}$ и σ_g по среднемесячным значениям $\Delta \bar{\epsilon}_0$ может считаться приемлемой для прогнозирования статистики эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха.

В таблице 2 представлены экспериментальные значения $\Delta \bar{\varepsilon}_0$ и прогнозируемые значения $\bar{g}$ и σ_g в слое толщиной 200 м для 14 пунктов Кыргызской Республики для апреля, июля и октября, характеризующих разные сезоны года. Они получены в результате усреднения исходных данных за период 2015–2017 гг.

Таблица 2 – Прогнозируемые значения $\bar{g}$ и σ_g в слое $\Delta h = 200$ м

№ пункта	Название пункта	Значения параметров								
		$\Delta \bar{\varepsilon}_0 \times 10^4$			$\bar{g} \times 10^8, 1/\text{м}$			$\sigma_g \times 10^8, 1/\text{м}$		
		апрель	июль	октябрь	апрель	июль	октябрь	апрель	июль	октябрь
1	Хайдаркан	5,044	5,125	4,925	–6,2	–6,3	–6,0	2,1	2,2	2
2	Ноокат	5,503	5,760	5,466	–7,4	–8,8	–7,3	3,1	4,3	3,0
3	Ош	5,766	5,966	5,735	–8,8	–10,5	–8,6	4,3	5,9	4,1
4	Жалал-Абад	5,852	6,061	5,79	–9,4	–11,5	–9,0	4,9	6,9	4,5
7	Кызыл-Адыр	5,725	5,906	5,703	–8,5	–9,9	–8,4	4,1	5,4	3,9
8	Талас	5,482	5,646	5,442	–7,3	–8,1	–7,2	3,0	3,6	2,9
9	Бишкек	5,784	5,909	5,768	–8,9	–9,9	–8,8	4,4	5,4	4,3
11	Чаяк	5,199	5,436	5,151	–6,5	–7,2	–6,4	2,3	2,9	2,3
13	Баетово	5,049	5,226	5,041	–6,2	–6,6	–6,2	2,1	2,4	2,1
14	Нарын	4,870	5,103	4,903	–6,0	–6,3	–6,0	2,0	2,2	2,0
15	Балыкчи	5,072	5,408	5,185	–6,3	–7,1	–6,4	2,2	2,8	2,3
16	Чолпон-Ата	5,214	5,60	5,321	–6,5	–7,8	–6,8	2,4	3,4	2,6
17	Каракол	5,132	5,566	5,262	–6,4	–7,7	–6,6	2,2	3,3	2,5
18	Кызыл-Суу	–	5,384	–	–	–7,0	–	–	2,7	–

Необходимо обратить внимание на особенности высокогорных интервалов ЦРРЛ, когда пункты передачи и приема оказываются на сильно отличающихся высотных отметках [5]. В этом случае при расчете субрефракционной составляющей неустойчивости необходимо учитывать параметры распределения эффективных градиентов, усредненные по длине трассы. Расчеты можно производить по приближенным формулам, полученным с учетом приведенных выше аппроксимирующих выражений для $\bar{g}$ и σ_g (3), (4):

$$\bar{g} = \frac{1}{\Delta \bar{\varepsilon}_{02} - \Delta \bar{\varepsilon}_{01}} \int_{\Delta \bar{\varepsilon}_{01}}^{\Delta \bar{\varepsilon}_{02}} (-5,4 - 3,59 \times 10^{-5} e^{1,987 \times 10^4 \Delta \bar{\varepsilon}_0}) \times 10^{-8} d\Delta \bar{\varepsilon}_0 =$$

$$= -5,4 \times 10^{-8} - \frac{1,807 \times 10^{-17}}{\Delta \bar{\varepsilon}_{02} - \Delta \bar{\varepsilon}_{01}} (e^{1,987 \times 10^4 \times \Delta \bar{\varepsilon}_{02}} - e^{1,987 \times 10^4 \times \Delta \bar{\varepsilon}_{01}}), 1/\text{м} \quad (5)$$

$$\sigma_g = 1,7 \times 10^{-8} + \frac{1,62 \times 10^{-17}}{\Delta \bar{\varepsilon}_{02} - \Delta \bar{\varepsilon}_{01}} (e^{2,335 \times 10^4 \times \Delta \bar{\varepsilon}_{02}} - e^{2,335 \times 10^4 \times \Delta \bar{\varepsilon}_{01}}), 1/\text{м}, \quad (6)$$

где разнящиеся высотные отметки пунктов (условно 1 и 2) заложены в значения $\Delta \bar{\varepsilon}_{01}$ и $\Delta \bar{\varepsilon}_{02}$.

Особенности районирования территории Кыргызской Республики по радиоклиматическим параметрам. Специфика районирования высокогорных регионов по радиоклиматическим параметрам, включающим как градиенты диэлектрической проницаемости воздуха, так и абсолютную влажность воздуха, обусловлена следующими факторами:

- топографическими и климатическими особенностями участков территории;
- значительной зависимостью от сильно разнящихся высот различных пунктов.

Эти факторы приводят к сильной зависимости метеопараметров от местных условий и трудностям районирования участков территории.

Для устранения (уменьшения) влияния высотного фактора путем «приведения» радиоклиматических параметров к какой-либо одной высоте была исследована зависимость метеопараметра $\Delta \bar{\varepsilon}_0$ от высоты станций над уровнем моря h . Результаты этих исследований приведены на рисунке 3.

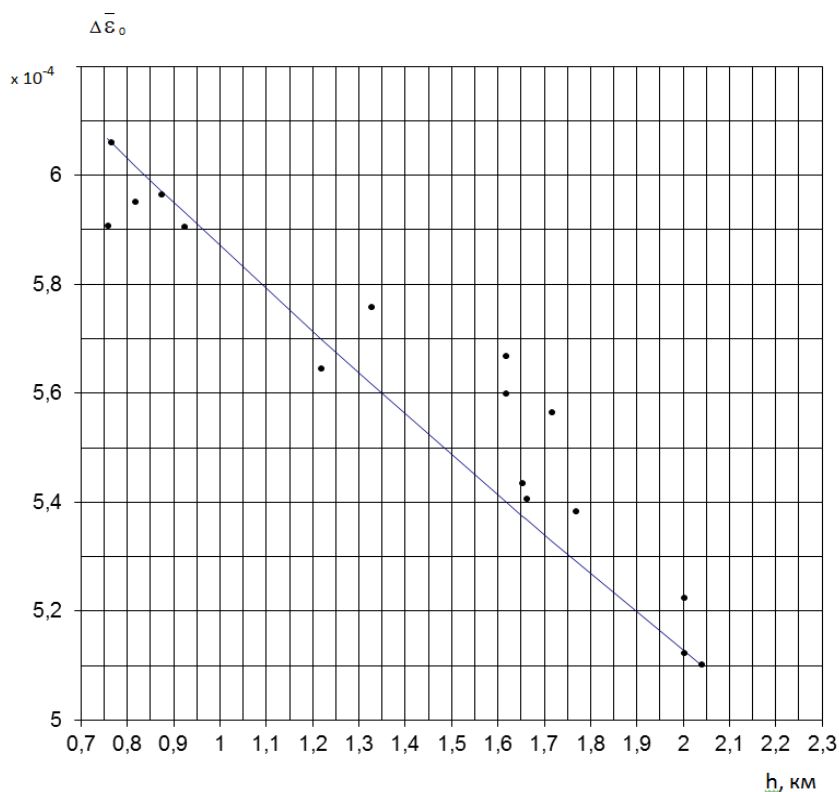


Рисунок 3 – Зависимость среднемесячного значения $\Delta\bar{\epsilon}_0$ от высоты станции h . Обозначения: ● – измеренные величины, усредненные за июль; — — расчет по формуле (7)

Аппроксимирующая зависимость удовлетворительно описывается следующей формулой:

$$\Delta\bar{\epsilon}_0 = 6,72 \times 10^{-4} e^{-h/7,4}, \quad (7)$$

где h , км.

Формула (7) была получена с применением метода наименьших квадратов в программном средстве Statistica v. 6.0.

Тогда величина отклонения среднемесячных значений диэлектрической проницаемости воздуха $\Delta\bar{\epsilon}_0$ для условно принятой (приведенной) высоты может быть вычислена по следующей формуле:

$$\Delta\bar{\epsilon}_{0\text{пр}} = \Delta\bar{\epsilon}_{0\text{изм}} - [\Delta\bar{\epsilon}(h)_{\text{расч}} - \Delta\bar{\epsilon}_0(h_{\text{пр}})_{\text{расч}}], \quad (8)$$

где $\Delta\bar{\epsilon}_0(h)_{\text{расч}}$ рассчитывается по формуле (7) для истинной высоты пункта; $\Delta\bar{\epsilon}_0(h_{\text{пр}})_{\text{расч}}$ рассчитывается по формуле (7) для условно выбранной приведенной высоты.

Высотная поправка (величина в квадратных скобках в формуле 8) корректирует значение $\Delta\bar{\epsilon}_0$, измеренное на реальной высоте, и характеризует климатическую ситуацию в заданном месте. В результате она трансформируется в величину $\Delta\bar{\epsilon}_{0\text{пр}}$, ожидаемую на приведенной высоте $h_{\text{пр}}$.

Преобразуя формулу (8) с учетом формулы (7), получим

$$\Delta\bar{\epsilon}_{0\text{пр}} = \Delta\bar{\epsilon}_0 + 6,72 \times 10^{-4} \times e^{-h/7,4} (e^{-(h_{\text{пр}}-h)/7,4} - 1), \quad (9)$$

где $\Delta\bar{\epsilon}_0 = \Delta\bar{\epsilon}_{0\text{изм}}$; h , км.

Для исследования радиоклиматических особенностей различных регионов Кыргызской Республики значения $\Delta\bar{\epsilon}_0$ приводились к высоте Бишкека ($h_{\text{пр}} = 0,756$ км). Далее с учетом формулы (9) по формулам (3), (4) рассчитывались значения $\bar{g}_{\text{пр}}$ и $\sigma_{\text{г пр}}$ для различных пунктов. Результаты расчетов приведенных значений $\bar{g}_{\text{пр}}$ и $\sigma_{\text{г пр}}$ по усредненным трехлетним данным за июль приведены в таблице 3. Отметим, что указанный месяц отличается неблагоприятными (с точки зрения обеспечения устойчивости работы ЦРРЛ) условиями с наибольшей дисперсией эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха [20].

Таблица 3 – Значения приведенных параметров

№ пункта	Название пункта	Значения параметров			
		$\Delta \bar{\varepsilon}_0 \times 10^4$	$\Delta \bar{\varepsilon}_{0np} \times 10^4$	$\bar{g}_{np} \times 10^8, \frac{1}{м}$	$\sigma_{g np} \times 10^8, \frac{1}{м}$
1	Хайдаркан	5,125	6,064	-11,5	7,0
2	Ноокат	5,76	6,209	-13,6	9,1
3	Ош	5,966	6,061	-11,5	6,9
4	Жалал-Абад	6,061	6,067	-11,6	7,0
5	Ортоотойское водохранилище	5,669	6,335	-15,9	11,7
7	Кызыл-Адыр	5,906	6,04	-11,3	6,7
8	Талас	5,646	6,013	-10,9	6,4
9	Бишкек	5,909	5,909	-9,9	5,4
11	Чаяк	5,436	6,128	-12,4	7,8
13	Баетово	5,226	6,165	-12,9	8,4
14	Нарын	5,103	6,069	-11,6	7,0
15	Балыкчи	5,408	6,106	-12,1	7,5
16	Чолпон-Ата	5,6	6,266	-14,6	10,2
17	Каракол	5,566	6,304	-15,3	11,0
18	Кызыл-Суу	5,384	6,16	-12,8	8,3
19	Токмок	5,952	6,001	-10,8	6,2

На основании анализа и обобщения полученных данных произведено районирование территории Кыргызской Республики по приведенным радиоклиматическим параметрам (рис. 4). Значения приведенных параметров для различных районов, указанных на карте, даны в таблице 4.

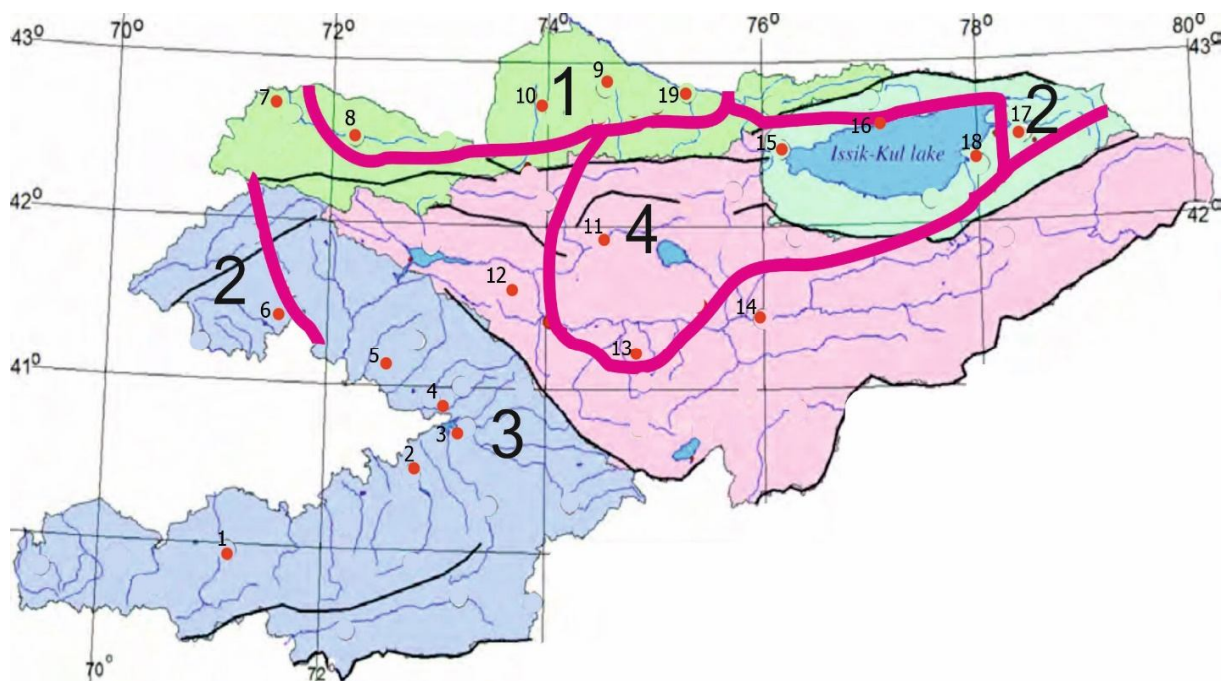


Рисунок 4 – Карта радиоклиматического районирования территории Кыргызской Республики по приведенным параметрам

Таблица 4 – Дополнение к карте, приведенной на рисунке 4

Номер района на карте (рис. 4)	Номера учтенных метеостанций	Значения приведенных параметров		Максимальные отклонения от $\bar{g}_{np}$ и $\sigma_{g пр}$, %	
		$\bar{g}_{пр} \times 10^8, 1/м$	$\sigma_{g пр} \times 10^8, 1/м$	$E_{\max}(\bar{g}_{пр})$	$E_{\max}(\sigma_{g пр})$
1	8, 9, 19	-10,5	6	6,1	11,1
2	6, 16, 17	-15,3	11,0	4,8	7,8
3	1, 2, 3, 4, 7, 14	-11,5	6,9	1,8	4,5
4	11, 13, 15, 18	-12,8	8,2	5,9	9,9

На основании проведенного районирования можно приближенно определить значения параметров $\bar{g}_{пр}$ и $\sigma_{g пр}$ для любого пункта на территории Кыргызской Республики, в том числе расположенного в горной местности. После этого с учетом реальной высоты местности в интересующем пункте рассчитываются значения $\bar{g}$ и σ_g . Эти значения могут использоваться на практике при проектировании интервалов ЦРРЛ и расчете их качественных показателей. Расчет производится по формулам, полученным с учетом формул (3) и (9):

$$\bar{g} = -5,5 \times 10^{-8} + 3,3 \times (\bar{g}_{пр} + 5,5 \times 10^{-8}) e^{-1,57h}, \quad 1/м, \quad (10)$$

$$\sigma_g = 1,7 \times 10^{-8} + 4,5 \times (\sigma_{g пр} - 1,7 \times 10^{-8}) e^{-1,85h}, \quad 1/м, \quad (11)$$

где h , км.

Формулы (10) и (11) применимы, если оба конечных пункта ЦРРЛ расположены на примерно одинаковых высотах [6, 7, 9]. В противном случае параметры статистического распределения эффективных градиентов определяются методом усреднения по трассе. В этом случае:

$$\begin{aligned} \bar{g} &= \frac{1}{h_2 - h_1} \int_{h_1}^{h_2} (-5,5 \times 10^{-8} + 3,3 \times [\bar{g}_{пр} + 5,5 \times 10^{-8}] e^{-1,57h}) dh = \\ &= -5,5 \cdot 10^{-8} - 3,3 \times (\bar{g}_{np} + 5,5 \times 10^{-8}) \frac{e^{-1,57h_2} - e^{-1,57h_1}}{1,57(h_2 - h_1)}, \quad 1/м, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sigma_g &= \frac{1}{h_2 - h_1} \int_{h_1}^{h_2} (1,7 \cdot 10^{-8} + 4,5 \times [\sigma_{g пр} - 1,7 \cdot 10^{-8}] e^{-1,85h}) dh = \\ &= 1,7 \times 10^{-8} - 4,5 \times (\sigma_{g пр} - 1,7 \times 10^{-8}) \frac{e^{-1,85h_2} - e^{-1,85h_1}}{1,85(h_2 - h_1)}, \quad 1/м, \end{aligned} \quad (13)$$

где h_1 и h_2 – высоты пунктов относительно уровня моря, км.

Если пункты расположены в разных климатических районах, то для определения значений $\bar{g}$ и σ_g по формулам (12), (13) необходимо использовать средние значения приведенных параметров, т.е.

$$\bar{g}_{np} = \frac{\bar{g}_{np1} + \bar{g}_{np2}}{2}, \quad \sigma_{g пр} = \frac{\sigma_{g пр1} + \sigma_{g пр2}}{2}. \quad (14)$$

Заключение. В настоящей статье исследованы радиоклиматические параметры в части эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха, необходимые для оптимального выбора просветов (расстояний между приемопередающими станциями РРЛ) и расчета субрефракционной составляющей замираний на высокогорной территории (на примере Кыргызской Республики).

Предложен метод прогнозирования параметров статистического распределения эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха в слое толщиной 200 м над поверхностью земли по усредненным приземным значениям диэлектрической проницаемости воздуха.

Предложен метод районирования высокогорной территории по приведенным радиоклиматическим параметрам с последующим пересчетом к реальной высоте заданных пунктов.

Полученные результаты могут быть использованы непосредственно при разработке или корректировке «Методики расчета трасс ЦРРЛ» в части методов расчета и выбора трасс высокогорных ЦРРЛ прямой видимости.

Приведенные в данной статье методики расчетов и полученные результаты могут быть полезны для целей проектирования не только для территории Кыргызской Республики, но и горных районов России (включая Республику Дагестан, республики Северного Кавказа).

Библиографический список

1. Бакытов А. Б. Критерии качества связи цифровых радиорелейных линий связи / А. Б. Бакытов, Д. А. Нурпеисова, С. А. Медеуов, П. Е. Дарменалы // Технические науки: теория и практика : материалы III Международной научной конференции. – Чита : Молодой ученый, 2016. – С. 32–35.
2. Боскебеев К. Д. Анализ условий деятельности животноводческих фермерских хозяйств, направлений их информатизации и автоматизации (на примере Кыргызской Республики и Астраханской области) / К. Д. Боскебеев, Ж. Н. Иманалиева, Ж. Б. Мамадалиева, М. В. Скакунова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1. – С. 116–128.
3. Бутенко В. В. Цифровизация сети РРЛ прямой видимости / В. В. Бутенко // Вестник связи. – 2009. – № 8. – С. 15–21.
4. Быховский М. А. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи / М. А. Быховский, Ю. М. Кирик, В. И. Носов и др. : учебное пособие для вузов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 332 с.
5. Зимин И. В. Анализ целесообразных технических решений для обеспечения услуг связи в труднодоступных населенных пунктах Кыргызской республики / И. В. Зимин, К. Б. Нурматов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – № 1 (41). – 2018. – С. 103–116.
6. Калинин А. И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолоний / А. И. Калинин. – М. : Связь, 1979. – 296 с.
7. Катков Е. К. Повышение точности позиционирования на местности низкодинамичных подвижных объектов с использованием информационной системы мониторинга ионосферы / Е. К. Катков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 2. – С. 145–155.
8. Коновалов Л. М. Цифровые радиорелейные станции. Обзор основных технических характеристик / Л. М. Коновалов // Технологии и средства связи. – 2006. – № 1. – С. 27–30.
9. Куцев Е. В. Определение критической частоты и критического угла отражения радиосигнала от ионосферы / Е. В. Куцев // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. – 2015. – Т. 15, № 9. – С. 124–127.
10. Куцев Е. В. Распространение ультракоротких волн с учетом рельефа Кыргызской Республики / Е. В. Куцев, М. Оконов // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 90–93.
11. Лукьянов А. С. Анализ и преимущества радиорелейных систем от проводных линий связи / А. С. Лукьянов, С. А. Петров, М. Н. Рыкунов // Символ науки. – 2016. – № 10-2. – С. 60–62.
12. Методика расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазоне частот 2-20 ГГц. ЗАО «Инженерный центр» и НИИР. – 1998. – 181 с.
13. Миркин В. В. Эволюция отечественных систем радиорелейной связи / В. В. Миркин // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 372. – С. 120–125.
14. Надененко Л. В. К расчету устойчивости сигнала на интервалах радиорелейных линий прямой видимости / Л. В. Надененко // Труды НИИР. – 1980. – № 2. – С. 61–64.
15. Надененко Л. В. Устойчивость работы интервалов РРЛ в диапазоне 8 ГГц / Л. В. Надененко, В. В. Святогор, В. П. Кривокубов // Электросвязь. – 1978. – № 9. – С. 8–17.
16. Надененко Л. В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Л. В. Надененко. – Москва, 1963.
17. Пищин О. Н. Анализ моделей распространения радиоволн над водной поверхностью и их использование при расчетах уровней электромагнитного поля в системах подвижной радиосвязи / О. Н. Пищин, Н. В. Бестаева, А. Д. Зубова, А. А. Орлова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 3. – С. 121–130.
18. Рекомендация МСЭ-Р Р.530-13 10-2009. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования наземных систем прямой видимости. – 2009. – 50 с.
19. Справочник по радиорелейной связи / под ред. С. В. Бородича. – М. : Радио и связь, 1981. – 416 с.
20. Чернов Я. В. Особенности расчета устойчивости цифровых радиорелейных линий / Я. В. Чернов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2007. – № 20. – С. 111–114.

References

1. Bakytov A. B., Nurpeisova D. A., Medeuov S. A., Darmanaly P. E. Kriterii kachestva svyazi tsifrovyykh radioreleynykh liniy svyazi [Quality criteries of digital radio relay link]. *Tekhnicheskoe nauki: teoriya i praktika : materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Technical sciences: theory and practice: Materials of III International Science Conference], Chita: Molodoy uchenyy Publ., 2016, pp. 32–35.
2. Boskebeev K. D., Imanalyeva J. N., Mamadalyeva J. B., Skakunova M. V. Analiz usloviy deyatelnosti zhivotnovodcheskikh fermerskikh khozyaistv, napravleniy ikh informatizatsii i avtomatizatsii (na primere Kyrgyzskoy Respubliki i Astrahanskoy oblasti) [Operation conditions analysis of the cattle-breeding farms, directions of their informati-

zation and automation (by the example of the Kyrgyz Republic and the Astrakhan region)]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1, pp. 116–128.

3. Butenko V. V. Tsifrovizatsiya seti RRL pryamoy vidimosti [Digitalization of the radio relay line-of-sight link network]. *Vestnik svyazi* [Bulletin of Service], 2009, no.8, pp. 15–21.

4. Bykhovskiy M. A., Kirik Yu. M., Nosov V. I. et al. *Osnovy proektirovaniya tsifrovyykh radioreleinykh liniy svyazi : uchebnoe posobie dlya vuzov* [Design fundamentals of digital radio relay links : textbook for university]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2014. – 332 p.

5. Zimin I. V., Nurmatov K. B. Analiz tselesoobraznykh tekhnicheskikh resheniy dlya obespecheniya uslug svyazi v trudnodostupnykh naselennykh punktakh Kyrgyzskoy Respubliki [Creation of opportunities for communication services delivering to hard reachable settlements in Kyrgyz Republic]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 103–116.

6. Kalinin A. I. *Rasprostraneniye radiovoln na trassakh nazemnykh i kosmicheskikh radiolinii* [Propagation of terrestrial and space link radio waves]. Moscow, Svyaz Publ., 1979. 296 p.

7. Katkov Ye. K. Povysheniye tochnosti pozitsionirovaniya na mestnosti nizkodinamichnykh podvizhnykh obektov s ispolzovaniem informatsionnoy sistemy monitoring ionosfery [Increasing positioning accuracy in the area for low dynamic mobile objects using information from the ionosphere monitoring system]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 2, pp. 145–155.

8. Kononov L. M. Tsifrovyye radioreleinye stantsii. Obzor osnovnykh tekhnicheskikh kharakteristik [Digital radio relay stations. Overview main technical characteristics]. *Tekhnologii i sredstva svyazi* [Service Technologies and Facilities], 2006, no. 1, pp. 27–30.

9. Kutsev E. V. Opreделение kriticheskoy chastoty i kriticheskogo ugla otrazheniya radiosignala ot ionosfery [Finding critical frequencies and critical angle of reflected radio signal from the ionosphere]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta* [Bulletin of Kyrgyz-Russian Slavonic University], 2015, vol. 15, no. 9, pp. 124–127.

10. Kutsev E. V., Okonov M. Rasprostraneniye ultrakorotkikh voln s uchetom reliefa Kyrgyzskoy Respubliki [Propagation of VHF taking into account relief of the Kyrgyz Republic]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta* [Bulletin of Kyrgyz-Russian Slavonic University], 2016, vol. 16, no. 1 pp. 90–93.

11. Lukyanov A. S., Petrov S. A., Rykunov M. N. Analiz i preimushchestva radioreleinykh system ot provodnykh liniy svyazi [Analysis and radio relay advantages from wired links]. *Simvol nauki* [Sciences Simbol], 2016, no.10-2, pp. 60–62.

12. *Metodika rascheta trass tsifrovyykh RRL pryamoy vidimosti v diapazone chastot 2-20 GGts. ZAO "Inzhenernyy tsentr" I NIIR* [Design methods of digital line-of-sight radio relay links in the frequency range 2-20 GGz. Company "Engineering center" and RRI], 1998. 181 p.

13. Mirkin V. V. Evolyutsiya otechestvennykh system radioreleinoi svyazi [Evolution of domestic systems of radio relay services]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University], 2013, no. 372, pp. 120–125.

14. Nadenenko L.V. K raschetu ustoychivosti signala na intervalakh radioreleinykh liniy pryamoy vidimosti [To calculate the signal's stability on the line-of-sight radio relay link]. *Trudy NIIR* [Proceedings of RRI], 1980, no. 2, pp. 61–64.

15. Nadenenko L. V., Svyatogor V. V., Krivozubov V. P. Ustoichivost raboty intervalov RRL v diapazone 8 GGts [Work stability of radio relay spans in the range 8 GGz]. *Elektrosvyaz* [Telecommunication], 1978, no. 9, pp. 8–17.

16. Nadenenko L. V. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. Moscow, 1963.

17. Pishchin O. N., Bestaeva N. V., Zubova A. D., Orlova A. A. Analiz modeley rasprostraneniya radiovoln nad vodnoy poverhnostyu i ikh ispolzovanie pri raschetakh urovney elektromagnitnogo polya v sistemakh podvizhnoy radio svyazi [Analysis of models of radiowave propagation over water surface and use of them while calculating level of electromagnetic field in the mobile radio communication systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 3, pp. 121–130.

18. *Rekomendatsiya MSE-R R.530-13 10-2009. Dannye o rasprostranenii I metody prognozirovaniya, neobhodimye dlya proektirovaniya nazemnykh system pryamoj vidimosti* [Recommendation ITU-R P.530-13. (10/2009). Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems]. 2009. 50 p.

19. *Spravochnik po radioreleinoi svyazi* [Handbook of radio relay services]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1981. 416 p.

20. Chernov Ya.V. Osobennosti rascheta ustoychivosti tsifrovyykh radioreleinykh liniy [Stability calculation features of radio relay links]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Ryazan State Radio Engineering University], 2007, no.20, pp. 111–114.

УДК 004.78:519.254:656.02:379.8

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ*

Статья поступила в редакцию 26.03.2019, в окончательном варианте – 12.04.2019.

Парыгин Данила Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, кандидат технических наук, доцент, ORCID 0000-0001-8834-5748, e-mail: dparygin@gmail.com, elibrary: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=842349

Стрекалова Анна Сергеевна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, магистрант, e-mail: anna.strekalova96@gmail.com

Гуртяков Александр Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: agurtyakov@gmail.com, elibrary: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=1026582

Аданья Самуэль Годвин, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, магистрант, e-mail: adanyasamuel@yahoo.com

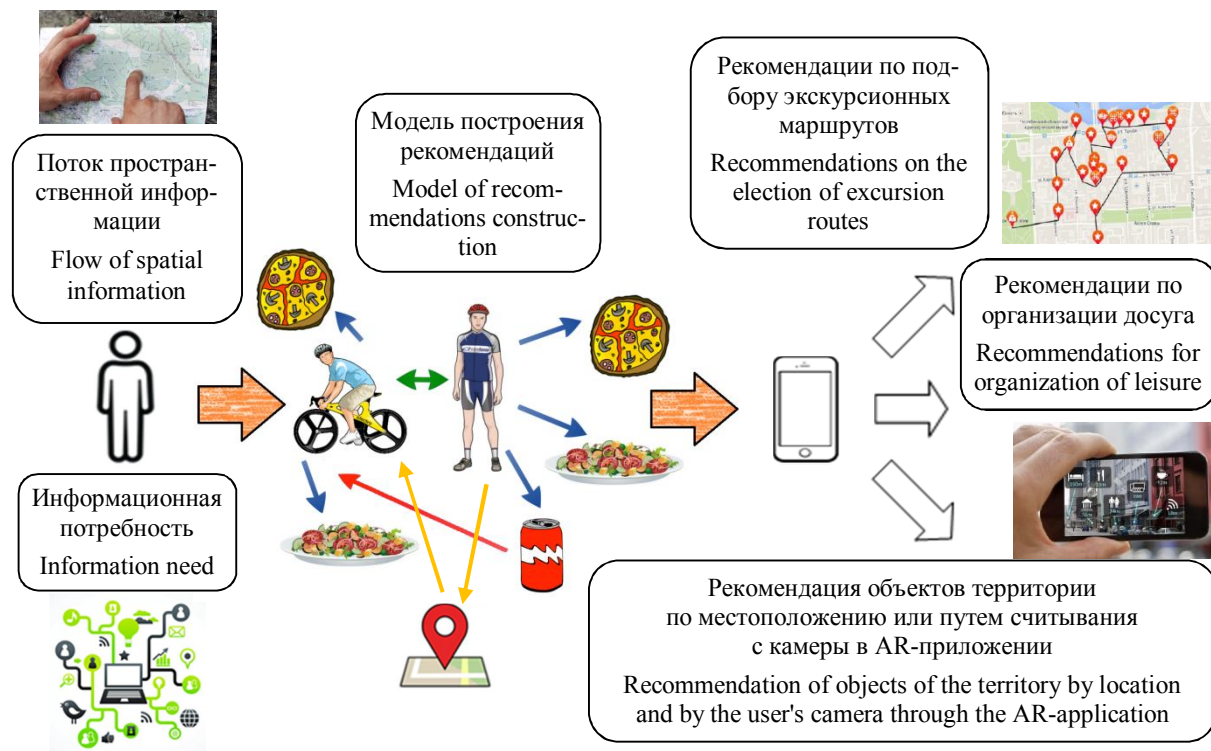
Пивоваров Валентин Васильевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, студент, e-mail: valentine.pivovarov8@gmail.com

Принятие решений является неотъемлемой частью жизни любого человека. Причем такие решения могут касаться как профессиональной деятельности, так и повседневных жизненных ситуаций. В процессе поддержки принятия решений различных классов задач сегодня активно применяются рекомендательные системы. Они способны сужать спектр возможных вариантов решений посредством оптимизации выдачи их набора с учётом накопленного положительного пользовательского опыта. В данной статье раскрыты теоретические и практические аспекты применения рекомендательных технологий в сервисах, ориентированных на обработку пространственных данных; объясняются существующие проблемы и предлагаются пути их решения. Представлены подходы к разработке мобильных и веб-приложений, включающих компоненты рекомендательных систем и реализующих функции поддержки решений в процессе работы с пространственной информацией. К ним, в частности, относятся такие сервисы: подбор экскурсионных маршрутов; составление рекомендаций по организации досуга; анализ использования территории с применением средств дополненной реальности. Предложены новые методы для подбора персональных рекомендаций с применением мини-тестов профайлинга для анализа психотипа личности и управления выбором вариантов на основе свертки пользовательских ограничений. Описан подход к применению облачной рекомендательной системы для совершенствования технологии представления информации в дополненной реальности (AR). Приведен анализ действий пользователей при работе в режиме AR для улучшения работы рекомендательной системы и ее более эффективного отклика в процессе оценки вариантов использования территории.

Ключевые слова: рекомендательная система, фильтрация информации, пространственные данные, подбор данных, предпочтения пользователей, профайлинг, свертка ограничений, дополненная реальность, усовершенствование рекомендаций, мероприятия города, экскурсионный маршрут, информационный обмен, логистические данные

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-20066 “мол_а_вед”. Авторы выражают благодарность коллегам по лаборатории UCLab, участвующим в разработке проекта UrbanBasis.com.

Графическая аннотация (Graphical annotation)

APPLICATION OF RECOMMENDER TECHNOLOGIES
IN SYSTEMS WITH SPATIAL INFORMATION

The article was received by editorial board on 26.03.2019, in the final version – 12.04.2019.

Parygin Danila S., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: dparygin@gmail.com

Strekalova Anna S., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

post-graduate student, e-mail: anna.strekalova96@gmail.com

Gurtyakov Alexander S., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, e-mail: agurtyakov@gmail.com

Adanya Samuel G., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

post-graduate student, e-mail: adanyasamuel@yahoo.com

Pivovarov Valentin V., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

undergraduate student, e-mail: valentine.pivovarov8@gmail.com

Making decisions is an integral part of the life of any person. Moreover, such decisions may concern both professional activities and everyday life situations. Recommender systems today are actively used in the process of supporting solutions to various classes of problems. They are able to narrow the range of possible options by optimizing the issuance of their set, taking into account the positive user experience. This paper reveals the theoretical and practical aspects of the use of recommender technologies in services oriented to the processing of spatial data, explains the existing problems and suggests ways to solve them. It presents approaches to the development of mobile and web applications that include components of recommender systems and implement decision support functions in the process of working with spatial information, such as the service of selecting excursion routes, the service for drawing up recommendations on the organization of leisure, the service based on augmented reality for analysis of territory use. New methods are proposed for the selection of personal recommendations with the use of mini profiling tests for person psycho-type analysis and managing the choice of options based on the convolution of user's limitations. An approach to the use of a cloud recommender system for improving the technology of presenting information in aug-

mented reality (AR) is described. An analysis of user actions when working in AR mode to improve the work of the recommender system and its more effective response in the process of analysis the territory use is given.

Key words: recommender system, information filtering, spatial data, data selection, user preferences, convolution of limitations, augmented reality, recommendations improvement, city events, excursion route, information exchange, logistic data

Введение. Взаимодействие человека с городской средой является необходимостью и неизбежностью, требующей в современных условиях формирования адекватного подхода, способного предоставить баланс информированности и простоты доступа к услугам и процессам. Рост рынка интернет-сервисов привел к появлению возможностей обмена знаниями между пользователями и о пользователях. Появилась проблема значительного объема доступной информации, расширяющей количество вариантов выбора, но усложняющей принятие решений. Это приводит к сложностям определения, что именно хочет видеть пользователь веб- и мобильных ресурсов при просмотре сетевых каталогов товаров, услуг, музыкальных произведений и т.д. и, соответственно, какой контент нужно ему предоставить. Для решения данной проблемы были созданы рекомендательные системы.

В контексте данной статьи рекомендательные системы (РС) – это набор алгоритмов, с помощью которых анализируются интересы пользователей и выполняется предсказание, какие объекты могут отвечать запросам конкретного пользователя [11]. РС призваны реструктурировать поисковую выдачу в целях фильтрации и первоочередной демонстрации информации, наиболее релевантной пользовательским интересам, сформулированным в явном виде и объективированным по косвенным признакам (истории действий, параметрам профиля, списку друзей и др.).

Современные рекомендательные системы далеко продвинулись в своем развитии. Они способны учитывать контекст употребления определенных речевых оборотов и семантику естественного языка, что приводит к улучшению точности базовых характеристик личности и темпоральных психоэмоциональных состояний пользователя и, как следствие, качества оценок его нынешних интересов в привязке к сфере применения конкретной РС.

В рекомендательные системы закладываются алгоритмы самообучения. Развивающиеся РС становятся востребованными для поддержки принятия решений интернет-пользователями во многих повседневных задачах: подбор новостей, статей, выставок, видео, книг, приложений и т.д.

Несмотря на достигнутый прогресс, продолжается дальнейшее усовершенствование рекомендательных систем, необходимое для более эффективного и широкого их использования применительно к обработке альтернатив, связанных с территориально-распределенными объектами инфраструктуры [22]. Всё более актуальными становятся задачи выработки рекомендаций, касающихся маршрутизации человека в городской среде, оценки объектов недвижимости, досуга и туризма, а также иных сфер деятельности, требующих учёта пространственной привязки анализируемых объектов. В связи с этим необходимы новые методы отслеживания поведения пользователей, улучшенные модели выработки рекомендаций, учитывающие специфику среды и конкретной местности, и более гибкие механизмы передачи рекомендаций конечному потребителю.

Источники и назначение пространственной информации. Пространственные данные представляют собой базовый класс характеристик, позволяющих в совокупности описывать местоположение и свойства объектов и процессов реального мира. Они являются основой программных комплексов, строящихся на пространственной информации.

На сегодняшний день наиболее эффективным способом интеграции и отображения разнородной пространственной информации являются геопортальные решения. Картографические сервисы визуализируют пространственную информацию наиболее быстрым и общедоступным способом посредством устоявшихся стандартов представления геоданных, управления процессом одновременной демонстрации ограниченного числа объектов, инструментов фильтрации отображаемого контента и т.д.

Содержимое карты предоставляет такие данные, как отдельные картографические слои произвольных масштабов и любой сложности, графическую и атрибутивную информацию об объектах. Чаще всего используется векторная модель описания объектов, которую предпочитают хранить в KML/KMZ-форматах [17]. Помимо этого, существуют метаданные, в которых могут указываться такие числовые характеристики информации об объектах, как точность, качество, надежность.

Если рассматривать каталог объектов территориальной инфраструктуры, то, в отличие от картографических сервисов, такие хранилища пространственных данных обладают относительно меньшей информационной насыщенностью для конечного пользователя. Это связано с формализацией и обобщениями, необходимыми для структурированного сохранения многокомпонентного пространства в виде строк и столбцов базы данных. Однако каталоги соответствуют требованиям автоматизированной обработки, представляя в машиночитаемом виде информацию о расположении, графическом представлении и иных характеристиках объектов.

Отдельным классом можно считать логистические данные. С их помощью можно в пространстве и времени отслеживать потоки людей, информации, материальных и иных ресурсов [10]. Посредством

интерфейса прикладного программирования онлайн-карт и приложений, которые позволяют использовать маршрутизацию на картографической основе, можно получать данные о треках в пространстве для решения соответствующих транспортных задач. Например, это может относиться к построению оптимальных маршрутов посещения набора заданных адресов при доставке товаров, расчёту маршрута с учетом заданного времени и текущей ситуации на дороге, получению деталей маршрута и многое другое.

Логистическая информация включает такие показатели, как время, точность, верность, гибкость, оптимальность, готовность и т.д. Такие данные успешно используются для планирования, наблюдения и оптимизации маршрутов движения, анализа информации о работе всех транспортных средств и управления ими в онлайн-режиме. Они являются полезными для отдельных участников движения и потребителей услуг, связанных с перемещением в пространстве, водителей личного автотранспорта, пешеходов, общественного транспорта, а также в комбинированном виде для обеспечения функционирования транспортных и иных территориально-распределенных систем в целом [12].

Препятствием для эффективного использования пространственных данных является отсутствие единой системы информационного обмена между существующими системами. Такая ситуация складывается ввиду их коммерческой ориентированности или недостаточной формализации, зачастую не предполагающей обеспечения их полноценной интеграции и совместного использования с ранее созданными данными [7]. Выделим несколько основных проблем, связанных с использованием пространственных данных.

1. Разнородность данных – данные в различных системах (открытых картографических сервисах, государственных автоматизированных информационных системах, навигационных приложениях и т.п.) и полученные от разных источников отличаются форматом, видом, структурой хранения, масштабом отображения и т.д. Указанные различия серьезно затрудняют информационный обмен, сопоставление, восприятие и совместное использование исходных данных, полученных из набора источников.

2. Неактуальность картографических материалов. Обновление данных онлайн-карт наиболее активно реализуется в основном для густонаселенной местности. Причем такое положение дел характерно как для коммерческих сервисов, так и для создаваемых пользователями на базе открытых платформ, что объяснимо в первом случае бизнес-интересами производителей, а во втором – наличием большого числа волонтеров.

3. Разрозненность пространственных данных. Необходимые для комплексного применения данные распределены по различным информационным системам, вследствие чего сопоставляемая информация может быть ограниченной доступной, недостаточно полной или неполной. Это затрудняет анализ информации, увеличивает время ее сбора и доработки.

Однако, кроме проблем автоматизированного сбора и использования пространственной информации, в некоторых специфических отраслях возникают задачи, требующие иного подхода. Так задача сбора информации о пространственных объектах, способных привлечь внимание и удовлетворить пользовательские интересы, приобретает особый контекст в условиях не специализированной для обслуживания туристов городской среды. Такая ситуация характерна для тех мест, где целью посещения являются одна-две крупные достопримечательности, разнесенные в пространстве и разделенные массивом инфраструктуры и регулярной застройки города. Однако любой город полон известных жителям и не популярных в СМИ локальных точек притяжения. Ими могут быть небольшие скверы, необычные малые архитектурные формы, мемориальные доски, «дикие» пляжи, уютные маленькие кафе, не рекламирующие себя для широкой аудитории. Их посещение не будет являться самоцелью, но включение в экскурсионный маршрут, предлагаемый с учётом предпочтений и целевых установок туриста, поможет разнообразить путь, избегая пустых переходов между основными объектами показа. И если для значимых объектов аттракции применимы технологии автоматизированного сбора информации, то для локальных достопримечательностей требуются решения на основе ручных инструментов ввода данных. Базы туристической информации, наполненные краеведческим контентом, наиболее эффективно могут пополняться только самими жителями, разработчиками ресурсов-агрегаторов или волонтерами, знающими расположение и ключевые особенности соответствующих мест. При этом реализация ручного ввода также требует средств информатизации процедуры регистрации объектов на основе специализированных мобильных приложений, способных ускорить процесс создания фотоматериалов, позволить оптимальным способом структурировать вводимые сведения, автоматизировать фиксацию географической привязки, отправку записей на сервер в базу данных и на целевой ресурс.

Работа с таким спектром особенностей, характерных для пространственных данных, требует развития дополнительных свойств рекомендательных систем. Кроме того, важным является выбор базовых методов для работы с данными – согласно существующим концепциям применения рекомендательных технологий.

Подходы к использованию рекомендательных систем. На современном этапе развития массовых коммуникационных технологий пользователи сталкиваются с РС практически ежедневно. Существует четыре основных метода фильтрации содержимого, которые применяются в РС (рис. 1):

- «content-based» – рекомендации формируются на основе предыдущих оценок пользователя и схожести объектов;

- «knowledge-based» – рекомендации основаны на выстраивании связей между объектами не по обычным критериям похожести, а исходя из взаимосвязанности тех или иных групп;
- «collaborative filtering» – рекомендации формируются на основе историй как самого пользователя, так и других пользователей;
- «hybrid» – используют сочетание перечисленных выше подходов [16].

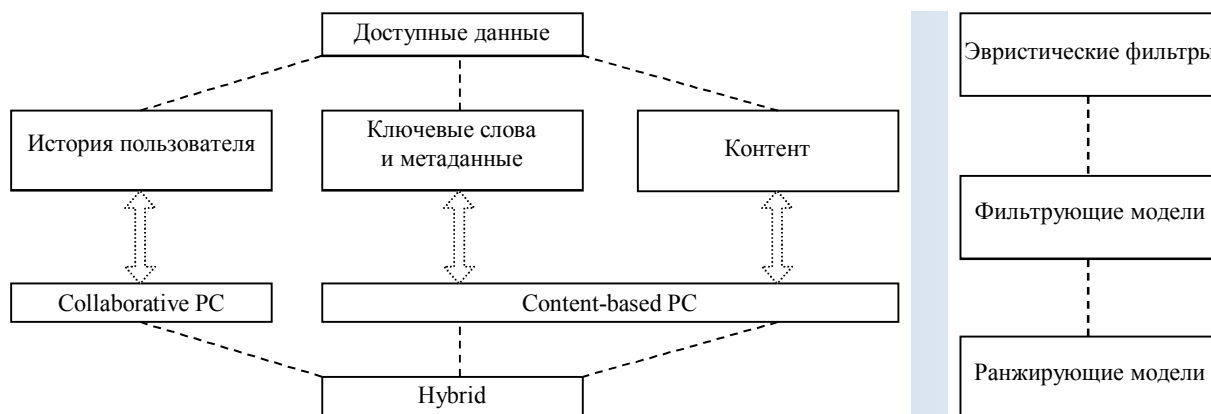


Рисунок 1 – Общая классификация и схема работы рекомендательных систем

Создание РС прежде всего включает в себя выбор способа фильтрации и алгоритмов для анализа данных. Любой алгоритм рекомендации предполагает первоначальный сбор данных.

В РС используется явный или неявный сбор данных. При явном сборе от пользователя требуется заполнять опросные анкеты для выявления предпочтений, а при неявном сборе для выявления предпочтений пользователя и составления рейтингов выполняется протоколирование его действий [22].

РС сравнивают однотипные данные и вычисляют список рекомендаций для конкретного пользователя. Для вычисления рекомендаций может использоваться так называемый «граф интересов».

К РС-сервисам можно отнести Netflix [29], Amazon [23], Last.fm [27], YouTube [32], Bookmate [25] и другие популярные приложения, эффективно решающие задачи поддержки работы пользователей с обширным числом альтернатив в своих целевых отраслях управления информацией. Таким образом, можно сказать, что в общем случае использование рекомендательных технологий приводит к достижению роста удовлетворенности целевой аудитории и эффективности распространения продукции и услуг, предлагаемых сервисами. В связи с этим было принято решение исследовать применение рекомендательных технологий при реализации ряда сервисов, ориентированных на работу с пространственными данными.

Система подбора экскурсионных маршрутов на основе пользовательских предпочтений. С недавнего времени РС все чаще используются в области туризма для совершенствования консультаций по услугам организации поездок, либо посещений конкретных мест. Для точного подбора информации о турах или достопримечательностях система предоставляет пользователю набор элементов фильтрации, которые он может оценивать и изменять по своим предпочтениям. Соответственно для каждого измененного фактора рассчитывается коэффициент значимости, с учетом которого строится рейтинг объектов показа и подбирается наиболее адекватный условиям объект или маршрут осмотра объектов. Опираясь таким порядком обработки данных, система быстрее генерирует подходящие решения для пользователя.

Существуют различные подходы к отбору объектов аттракции для составления экскурсионного маршрута. Распространенным является использование параметрического поиска [13], тематических или рейтинговых подборок [21]. Многие РС используют подход, основанный на обобщенных рейтингах, хотя при этом снижается точность соответствия поисковой выдачи пользовательскому запросу [4].

Параметрический поиск [5] позволяет производить оценку в соответствии с предпочтениями пользователей, а также подбирать похожие объекты по критериям схожести. После того как пользователь заявил о своих потребностях, интересах и ограничениях на основе выбранных параметров, система сопоставляет его выбор с соответствующим каталогом и находит подходящие варианты.

В рамках проведенного авторами исследования был выполнен обзор статических и основанных на РС туристических приложений и сервисов. В существующем процессе построения маршрута турист тратит много времени на поиск и анализ информации об объектах [20]. Процесс выбора оптимального по времени пути из заданной точки экскурсионного маршрута становится затруднительным. Здесь и возникает потребность в улучшении системы построения маршрутов посещения достопримечательностей посредством автоматизации наиболее обременительных этапов подбора подходящих пользователю объектов аттракции и формирования последовательности движения между ними.

Для совершенствования выявленных недостатков существующего процесса построения экскурсионных маршрутов было предложено решить задачу оптимизации, описываемую следующей формулой:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N d(t)_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^N t_i + d(t)_i &\leq t' \\ \sum_{i=1}^N c_i &\leq c' \end{aligned},$$

где $d(t)_i$ – время перемещения до i -го объекта; t_i – время посещения i -го объекта, с; t' – время маршрута, заданное пользователем, руб.; c_i – стоимость посещения i -го объекта, руб.; c' – финансовая обеспеченность пользователя, руб.; N – количество объектов в маршруте, шт.

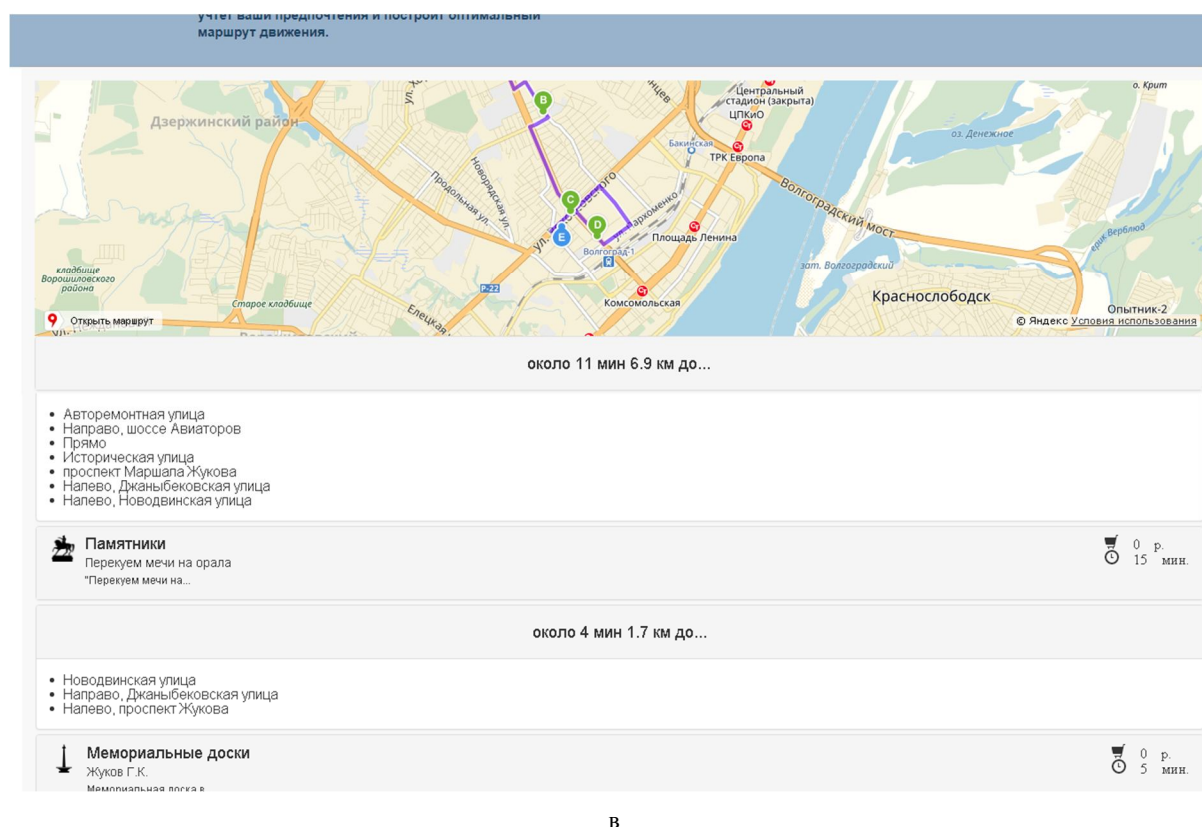
Решения данной задачи выполнялись с использованием выбранного алгоритма «лучший – первый» [30]. Для этого были определены эвристическая функция, являющаяся временем перемещения до следующего объекта, и целевое состояние, выражающееся в достижении хотя бы одного из ограничений (по финансам или времени).

Полученные результаты были использованы при разработке web-сервиса (рис. 2) для планирования туристических маршрутов на основе предпочтений пользователей и геоанных о городских объектах [31]. Сервис построен на основе единого процесса, включающего подбор эффективной связки объектов аттракции и маршрута перемещения между ними (рис. 3).

Реализованный подход включает интегрированную систему рекомендаций, обусловленную сверткой пользовательских ограничений на сферу интересов и доступные временные, финансовые, пространственные и логистические условия. В процессе фильтрации удовлетворяющих всем требованиям объектов выполняется взаимное согласование предпочтений пользователей, характеристик объектов аттракции и их взаимной связанности в условиях среды.

а

б



В

Рисунок 2 – Интерфейс веб-сервиса VolgogradGuide [6]: а) главный экран ввода пользовательских предпочтений; б) экран дополнительных настроек; в) экран с построенным рекомендованным маршрутом перемещения

Мобильное приложение для автоматизации составления рекомендаций по организации досуга. Развитием идеи подбора туристического маршрута является направление, связанное с углубленным исследованием специализации объектов аттракции на проведение определенных мероприятий. Выбор подходящих для пользователя мероприятий отчасти является классическим кейсом для применения рекомендательных технологий, так как оно сопряжено с перебором вариантов, соответствующих сфере интересов человека, его прошлому выбору или текущему настроению, выявляемому по косвенным признакам. Всё это помогает разобраться с большим количеством доступных предложений и обойти «информационный шум», формируемый рекламным контентом.

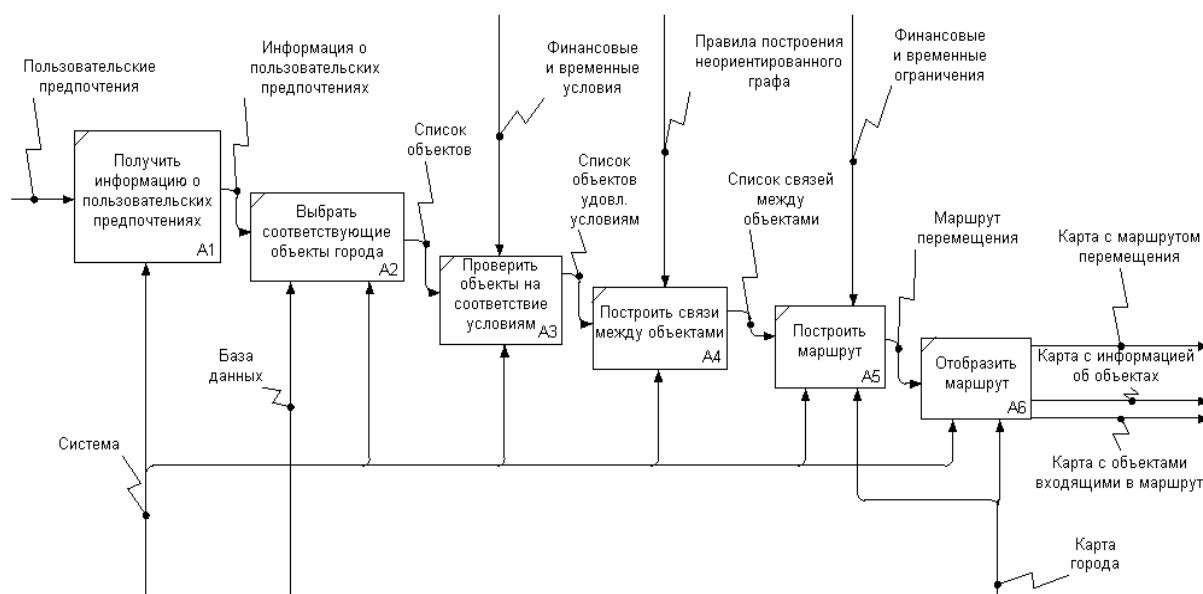


Рисунок 3 – Разработанный единый процесс отбора объектов и построения маршрута в соответствии со сверткой пользовательских ограничений (нотация IDEF0)

В процессе исследования было проанализировано 10 популярных мобильных приложений для подбора развлекательных и досуговых мероприятий интернет-магазина «Google Play Маркет» [26]. Результаты сравнения (табл.) позволяют сделать вывод о сходстве базового функционала, обеспечивающего отбор мероприятий по направлениям и организаторам. Однако только два приложения обладают возможностью подбора событий по запросам пользователей с учётом места их проведения. И только одно приложение реализует сопоставление тематики мероприятий со сферой пользовательских интересов.

В развитие концепции решений, учитывающих пространственные данные, было спроектировано мобильное приложение, сконцентрированное на подборе мероприятий не только по сфере пользовательских интересов, но и с учётом пространственно-временных ограничений на посещение конкретного мероприятия. В процессе анализа ограничений рассматривается логистическое плечо в выбранном пользователем временном горизонте планирования.

Указанные решения были интегрированы в рекомендательную систему, призванную усовершенствовать процедуру персональной поддержки пользователей. Созданная система основана на выявлении предпочтений с использованием профайлинга [15]. Для этого организуется мини-тестирование психотипа личности с классификацией пользователей в соответствии с подготовленной упрощенной шкалой [8].

Таблица – Анализ приложений для выбора досуговых мероприятий

Приложение Функционал	Eventbrite	Nearify	Выбирай	ГородЗовёт	KudaGo	Eventr	Любимый Город	Мой Краснодар	Афиша Волго- града	All Events in City
Категоризация	+	+	+	–	–	+	–	+	+	+
Выбор раздела	+	+	+	–	+	+	–	+	+	+
Период проведения	+	+	+	+	–	+	+	+	–	+
Городские события	+	+	–	–	–	+	+	–	+	+
События заведений	+	+	–	+	+	+	+	–	+	+
Собственные события КОГО	–	+	–	–	–	–	+	+	–	–
Сортировка по расстоянию	–	–	+	–	–	–	–	–	+	–
Сортировка по времени	+	+	–	–	+	+	–	–	–	+
Охват любого города	–	–	+	+	+	+	+	–	–	–
Сохранение события	+	+	+	–	+	+	–	+	+	+
Напоминание о событии	+	+	–	–	–	+	–	+	+	+
Написание отзыва/вопросов	+	+	+	+	+	+	–	+	–	+
Поделиться событием	+	–	+	+	+	+	–	+	+	+
Стабильность и скорость	+	+	+	+	–	+	–	+	+	+
Русскоязычный интерфейс	–	–	+	+	+	+	+	+	+	–
Анализ психотипа личности	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–

Кроме того, выполняется выявление оценочных суждений пользователей относительно посещенных и запланированных мероприятий. Для этого реализуется обработка пользовательских записей на естественном языке, сделанных в виде вопросов к предстоящим мероприятиям и отзывов о прошедших событиях [24]. В целом работа с комментариями пользователей выглядит перспективной и соответствует базовым методикам рекомендательных технологий [11]. Анализ тональности высказываний, эмоций социального взаимодействия и нечетких ответов позволяет в значительной степени конкретизировать пространство выбора [2]. Однако необходимо учитывать, что в сравнении с приведенными выше элементами формирования рекомендаций компонента, связанная с анализом реакций пользователей, не является самодостаточной ввиду необходимости накопления информационной базы пользовательских комментариев (вопросов и отзывов).

Для обеспечения работы приложения авторами реализован ряд модулей, связанных с выполнением функций ведения расписания мероприятий (рис. 4). В состав рекомендательной системы были включены три модуля, отвечающих за согласование пространственно-временных данных и спектра пользовательских интересов.

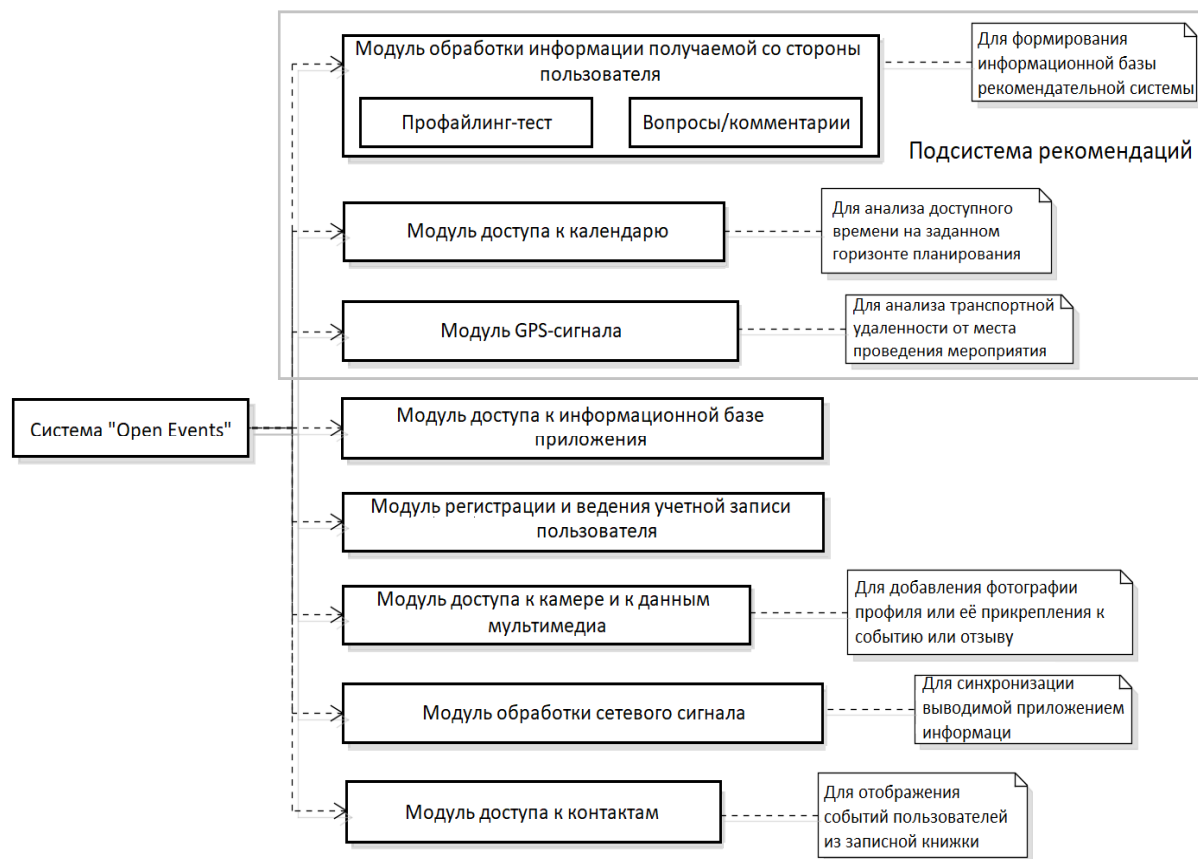


Рисунок 4 – Модули мобильного приложения для ведения перечня объектов досуга и выдачи рекомендаций о целесообразности посещения мероприятий с учётом их пространственно-временных характеристик

Таким образом, созданное приложение (рис. 5) позволит сделать более эффективным фильтрацию доступных мероприятий, предоставив полный выбор имеющихся событий на заданном промежутке времени в условиях конкретной территориальной среды. Распределение мест проведения мероприятий по расстоянию с рассчитанными маршрутами от пользователя демонстрирует объективную картину их доступности для обоснованного принятия решений о посещении выбираемой досуговой площадки.

Особенности работы рекомендательных систем в дополненной реальности. Объективная оценка ситуации приобретает особую значимость в вопросах, связанных с решением профессиональных задач. В таком случае важны полнота и однозначность предоставления информации в удобной для восприятия в конкретных условиях форме. Обеспечение этих требований возможно за счёт инструментария, преобразующего каталогизированные данные в образы объектов реальной среды и реализующегося в формате виртуальной или дополненной реальности [3, 9].

С появлением дополненной реальности («augmented reality») открылись новые способы интерпретации данных для пользователей [18]. Статистические данные, текстовые пояснения, комментарии других пользователей, данные с датчиков и другой интерактивный контент прикрепляется к «плоским» поверхностям на изображениях, полученных через камеру мобильного устройства, делая взаимодействие пользователя с информацией более эффективным. Однако важно понимать, что демонстрация имеющихся данных в AR может и ухудшить пользовательское восприятие совокупности объектов реального мира и транслируемой ему информации при одновременном отображении множества графических данных, относящихся к одному и тому же объекту территории. Изображение может оказаться перегруженным контентом, делая визуализацию запутанной и неразборчивой.

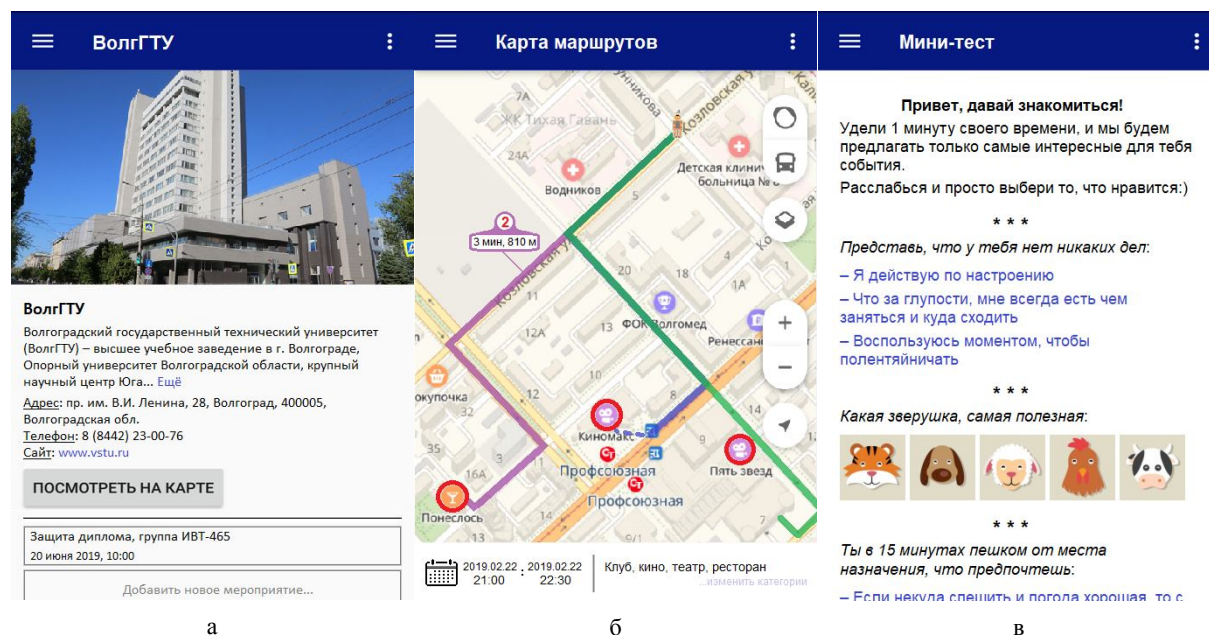


Рисунок 5 – Интерфейс приложения Open Events: а) экран объекта инфраструктуры со списком доступных мероприятий; б) экран карты, отображающий распределение мест проведения мероприятий по расстоянию от пользователя; в) экран мини-теста для выявления психотипа личности

В реализуемом проекте для решения данной проблемы в дополнение к AR были применены рекомендательные технологии. Их использование в части главной функции – фильтрации большой выборки пространственных данных об объектах недвижимости и инфраструктуре – позволяет выявлять наиболее подходящую информацию для пользователя, сокращая количество отображаемых виртуальных объектов (трехмерных моделей, динамических маркеров, всплывающих текстовых комментариев). Причем такая связка AR и РС ориентирована на применение в режиме реального времени, когда требуется проанализировать состав определенной категории объектов или отрисовать кратчайший маршрут до объекта заданного типа.

Создаваемое AR-приложение ориентировано на отображения инфраструктурных данных в городской среде [19]. При этом предполагается, что пользователь в процессе эксплуатации программы не стремится работать со всем доступным пулом информации, а совершает более или менее регулярный набор действия для прояснения интересующих его показателей инфраструктурной обеспеченности для каждой новой локации. Отслеживание таких связанных поисковых запросов позволит выявлять аналитические паттерны, характерные для аналогичных пользовательских профилей, и подходы к эффективному обследованию состава объектов на некоторой территории, например, при подборе недвижимости для целей проживания или инвестирования.

Реализовать такую функциональность, было решено с использованием облачной рекомендательной системы (рис. 6). Все действия, совершаемые пользователем над интерфейсом приложения, отправляются на обработку во внешний модуль РС. Также производится запись служебной и пространственной информации от датчиков и программных модулей мобильного устройства (данные геопозиции, гироскопа, время суток, освещенность и т.д.). При получении согласия на передачу потоковых данных в облачное хранилище передаются видеоданные на всём протяжении использования AR-режима.

Предложенная архитектура позволяет обогатить пространственные данные, используемые в формате «street view» [14]. Применение облачной РС даёт возможность снизить требования к ресурсам мобильного устройства за счёт редуцирования числа отображаемых объектов. При этом повышается эффективность отклика на запросы с учётом пользовательских предпочтений и сформированных паттернов анализа среды.

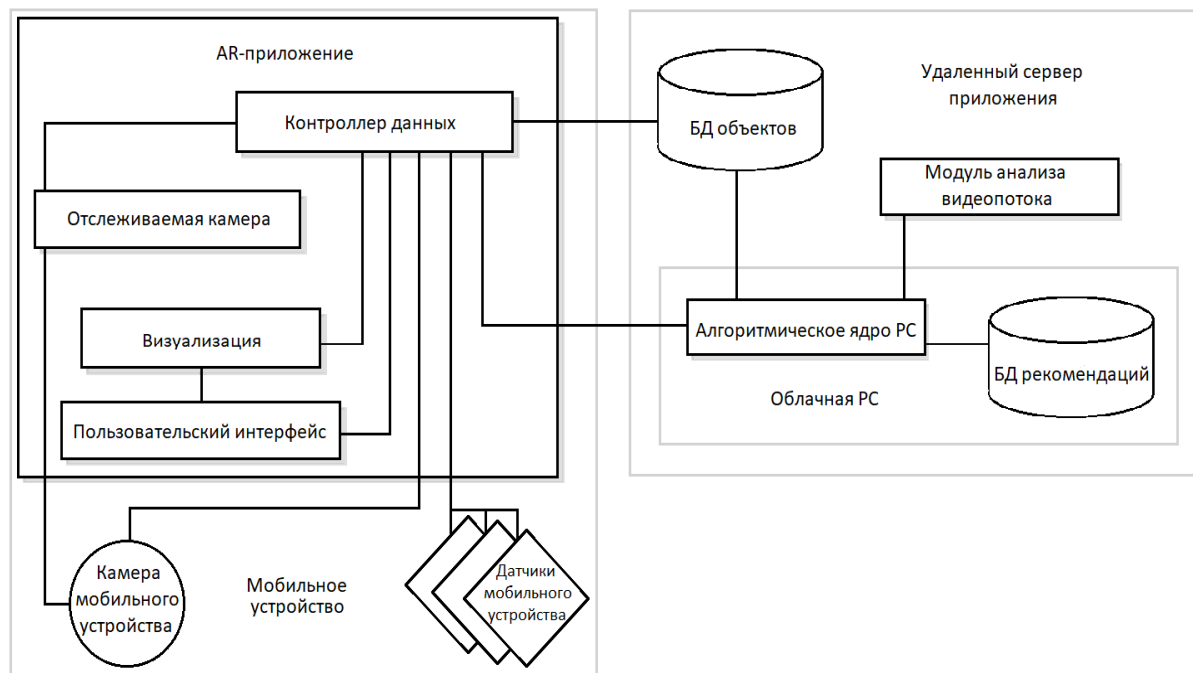


Рисунок 6 – Архитектура AR-приложения с облачной рекомендательной системой

Заключение. Специфика работы с пространственными данными, рассмотренная в рамках данного исследования, обязывает уделять особое внимание вопросам их обработки в системах, ориентированных на конечного пользователя. В то же время, как и любые условия, параметры геопривязки объектов и событий должны обрабатываться в едином цикле и не противоречить сложившемуся положительному опыту использования информационных систем. В связи с этим необходимо совершенствовать существующие рекомендательные технологии в направлении интеграции разнородных массивов данных, учёта взаимного расположения компонентов среды, так или иначе оказывающих воздействие на человека, переходящего от работы с информацией к реализации запланированных задач в условиях реального мира.

В представленной работе описан ряд мобильных и веб-решений, ориентированных на работу с пространственными данными и реализующих рекомендательный функционал. Каждое из этих приложений предлагает свой способ усовершенствования рекомендаций.

Для подбора подходящего экскурсионного маршрута предложен подход, основанный на свертке пользовательских ограничений. Решена задача оптимизации по «времени в пути» при построении экскурсионного маршрута из заданной точки с учётом финансовых и временных ограничений пользователя. Полученные результаты применены в реализованном веб-приложении «VolgogradGuide».

Разработана система рекомендаций для того, чтобы определить, какие мероприятия в городе смогут заинтересовать пользователя. В составе созданного мобильного приложения «Open Events» используются мини-тест психотипа личности, а также обработчики вопросов и комментариев пользователей на естественном языке.

Для случая использования инструментов дополненной реальности сформирована концепция облачной рекомендательной системы. Такая РС позволяет комбинировать объемно-пространственную информацию, служебные данные мобильных устройств, анализ видеопотока и действия пользователей для выработки паттернов эффективного анализа использования территории.

Созданные программные решения имеют потенциал собственного развития. Он связан с расширением функциональности для конечного пользователя, а также совершенствованием процедур формирования рекомендаций, например, за счёт учёта таких ситуативных факторов среды, как погодные условия или затраты при использовании различных видов внутригородского транспорта. Кроме того, интересной является возможность обогащения предоставляемого пользователям контента, связанного с уже рекомендованными объектами. Такое дополнение не будет перегружать начальный этап подбора, но может повысить информационную ценность и эффективность восприятия. Для этого, например, можно демонстрировать ретроспективный обзор событий и состояний предлагаемых досуговых, экскурсионных и инфраструктурных объектов в формате «виртуальных исторических экскурсий» [1, 3].

В целом перспективными направлениями исследований и разработок в этой сфере можно считать интеграцию полученных решений в рамках единой системы обработки пространственных данных.

Комплексный подход в использовании предложенных рекомендательных технологий, с одной стороны, позволит развивать методы сборки информации о предпочтениях пользователей, жителей городов [28], а с другой – повысит эффективность формирования рекомендаций в процессе поддержки принятия решений в задачах развития территориально-распределенных систем.

Библиографический список

1. Брумштейн Ю. М. Об идеологиях и технологиях работы виртуальных фитозоопарков / Ю. М. Брумштейн, М. А. Литвинова, А. А. Боркова // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий : материалы X Всероссийской научно-технической конференции. Улан-Удэ, 20–26 июля 2009 г. – Улан-Удэ, 2009. – С. 525–530.
2. Брумштейн Ю. М. Системный анализ вопросов компьютерного тестирования с использованием нечетких ответов. Часть 1. Тестовые задания категорий «выбор из набора ответов» и «ранжирование объектов» / Ю. М. Брумштейн, Д. И. Ковалова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 4 (44). – С. 57–71.
3. Виртуальные исторические экскурсии – анализ направлений и особенностей технической реализации / Ю. М. Брумштейн, В. В. Блинов, Е. Е. Думкина, М. А. Литвинова // Инноватика-2010. – Ульяновск : УлГУ, 2010. – Т. 2. – С. 33–34.
4. Волкова Л. Л. О разработке рекомендательной системы, предлагающей книги по предпочтениям пользователей / Л. Л. Волкова, М. М. Токарева, А. А. Ланко // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – М., 2017. – № 20. – С. 239–244.
5. Воробей А. Параметрический поиск / А. Воробей // LiveJournal. – 2010. – Режим доступа: <https://avva.livejournal.com/2191330.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 12.06.18).
6. Городской путеводитель по Волгограду и области «ВолгоградГид». – 2019. – Режим доступа: <http://volgogradguide.urbanbasis.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 08.02.19).
7. Дворкин Б. Инфраструктура пространственных данных: региональный аспект / Б. Дворкин // Геоматика. – 2014. – Режим доступа: <http://geomatika.ru/clauses/143/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 27.01.19).
8. Классификация психотипов. – 2013. – Режим доступа: <https://www.psychologos.ru/articles/view/klassifikaciya-psihotipov>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 18.12.18).
9. Кузнецов М. А. Применение компьютерного зрения для распознавания городских памятников архитектуры в мобильном приложении типа «электронный гид» / М. А. Кузнецов, А. С. Воробьев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 2 (42). – С. 25–36.
10. Логистика / под ред. Б. А. Аникина, Т. А. Родкиной. – Москва : Проспект, 2010. – 406 с.
11. Николенко С. Рекомендательные системы / С. Николенко. – 2016. – Режим доступа: https://logic.pdmi.ras.ru/~sergey/teaching/mlbeeline16/N16_BeelineRecommender.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.02.19).
12. Парыгин Д. С. Информационно-аналитическая поддержка задач управления городом : моногр. / Д. С. Парыгин, Н. П. Садовникова, О. А. Шабалина. – Волгоград : ВолГГТУ, 2017. – 116 с.
13. Поиск туров. – 2019. – Режим доступа: <https://express-kirov.ru/search-for-tours/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 04.04.19).
14. Просмотр улиц. – 2019. – Режим доступа: <https://www.google.com/streetview/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 02.04.19).
15. Профайлинг: психотипы личности. – 2019. – Режим доступа: <https://searchinform.ru/kontrol-sotrudnikov/profajling/profajling-psihotipy-lichnosti/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.12.18).
16. Рекомендательные системы // Блог Вастрик.ру. – 2014. – Режим доступа: <https://vas3k.ru/blog/355/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 24.01.19).
17. Руководство по KML. – 2014. – Режим доступа: https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut?hl=ru, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 25.12.18).
18. Самородских Е. Дополненная реальность в маркетинге: 15+ примеров использования / Е. Самородских // TexTerra. – 2018. – Режим доступа: <https://texterra.ru/blog/dopolnennaya-realnost-v-marketinge-primery-ispolzovaniya.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 08.03.19).
19. Стрекалова А. С. AR-инструменты моделирования объектов территории / А. С. Стрекалова, Д. С. Парыгин // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине : сборник научных трудов V Международной научной конференции. Томск, 17–21 декабря 2018 г. / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2018. – Ч. 1. – С. 383–386.
20. Токарева М. М. О рекомендательной маршрутной системе, основанной на оценке предпочтений пользователя / М. М. Токарева, Л. Л. Волкова, А. П. О. Абдуллаев // Новые информационные технологии в автоматизированных системах / МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М., 2016. – № 19. – С. 75–80.
21. Турпоиск – поиск туров и отелей. – 2019. – Режим доступа: <https://www.turpoisk.ru/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 04.04.19).
22. Филиппова Е. Системы рекомендаций: задачи, подходы, алгоритмы / Е. Филиппова // DataReview. – 2014. – Режим доступа: <http://datareview.info/article/sistemyi-rekomendatsiy-zadachi-podhodyi-algoritmyi/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 22.01.19).
23. Amazon® Official Site. – 2019. – Режим доступа: <https://www.amazon.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 07.02.19).
24. Analysis of Comments of Users of Social Networks to Assess the Level of Social Tension / D. Donchenko,

N. Ovchar, N. Sadovnikova, D. Parygin, O. Shabalina, D. Ather // *Procedia Computer Science : Proceedings of the 6th International Young Scientist Conference on Computational Science (YSC 2017)*, Kotka, Finland, 1–3 November 2017. – Elsevier, 2017. – Vol. 119. – P. 359–367. – Mode of access : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917324055> – DOI: 10.1016/j.procs.2017.11.195

25. Bookmate — удобный способ читать и слушать книги онлайн. – 2019. – Режим доступа: <https://ru.bookmate.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 14.02.19).

26. Google Play. – 2019. – Режим доступа: <https://play.google.com/store?hl=ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 15.11.18).

27. Last.fm. – 2019. – Режим доступа: <https://www.last.fm/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 18.02.19).

28. Monitoring of social reactions to support decision making on issues of urban territory management / S. Ustugova, D. Parygin, N. Sadovnikova, A. Finogeev, A. Kizim // *Procedia Computer Science : Proceedings of the 5th International Young Scientist Conference on Computational Science, YSC 2016, Krakow, Poland, 26–28 October 2016*. – Elsevier, 2016. – Vol. 101. – P. 243–252. – DOI: 10.1016/j.procs.2016.11.029.

29. Netflix-Watch TV Shows Online, Watch Movies Online. – 2019. – Режим доступа: <https://www.netflix.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.02.19).

30. Russell S. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* / S. Russell, P. Norvig. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2010. – 1152 p.

31. Web-сервис для планирования туристических маршрутов на основе предпочтений пользователей и гео-данных о городских объектах / Д. В. Беда, А. С. Гуртяков, Д. С. Парыгин, Т. А. Потапова // *Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах / ВолгГТУ*. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2017. – № 8 (203). – С. 13–17.

32. YouTube. – 2019. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/?gl=RU&hl=ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 05.02.19).

References

1. Brumshteyn Yu. M., Litvinova M. A., Borkova A. A. Ob ideologiyakh i tekhnologiyakh raboty virtualnykh fitozooparkov [On the ideologies and technologies of virtual phyto-parks]. *Materialy X Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po Teoreticheskim i prikladnym voprosam sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy* [Proceedings of the X All-Russian Scientific and Technical Conference on Theoretical and Applied Issues of Modern Information Technologies], Ulan-Ude, 20–26 July 2009. Ulan-Ude, 2009, pp. 525–530.

2. Brumshteyn Yu. M., Konovalova D. I. Sistemnyy analiz voprosov kompyuternogo testirovaniya s ispolzovaniyem nechetkikh otvetov. Chast 1. Testovyye zadaniya kategoriy «vybor iz nabora otvetov» i «ranzhirovaniye ob'yektov» [System analysis of computer testing questions using fuzzy answers. Part 1. Test tasks of the categories «choice from a set of answers» and «ranking of objects»]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 4 (44), pp. 57–71.

3. Brumshteyn Yu. M., Blinov V. V., Dumkina E. E., Litvinova M. A. Virtualnyye istoricheskiye ekskursii – analiz napravleniy i osobennostey tekhnicheskoy realizatsii [Virtual historical excursions – analysis of areas and features of technical implementation]. *Innovatika-2010* [Innovation 2010]. Ulyanovsk, UISU Publ., 2010. Vol. 2, pp. 33–34.

4. Volkova L. L., Tokarev M. M., Lanko A. A. O razrabotke rekomendatel'noy sistemy, predlagayushchey knigi po predpochteniyam polzovateley [On the development of a recommendation system that offers books on user preferences]. *Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh* [New Information Technologies in Automated Systems], 2017, no. 20, pp. 239–244.

5. Vorobey A. Parametricheskyy poisk [Parametric search]. *LiveJournal*. Available at: <https://avva.livejournal.com/2191330.html> (accessed 12.06.18).

6. *Gorodskoy putevoditel po Volgogradu i oblasti «VolgogradGid»* [City guide for Volgograd and region «VolgogradGid»]. Available at: <http://volgogradguide.urbanbasis.com/> (accessed 08.02.19).

7. Dvorkin B. Infrastruktura prostranstvennykh dannykh: regionalnyy aspekt [Spatial data infrastructure: Regional aspect]. *Geomatika* [Geomatic], 2014. Available at: <http://geomatika.ru/courses/143/> (accessed 27.01.19).

8. *Klassifikatsiya psikhotipov* [Classification of psycho-types]. Available at: <https://www.psychologos.ru/articles/view/klassifikatsiya-psikhotipov> (accessed 18.12.18).

9. Kuznetsov M. A., Vorobiev A. S. Primeneniye kom'yuternogo zreniya dlya raspoznavaniya gorodskikh pamyatnikov arkhitektury v mobil'nom prilozhenii tipa «elektronnyy gid» [The use of computer vision for the recognition of urban monuments in the mobile application of the type «electronic guide»]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 2 (42), pp. 25–36.

10. *Logistika* [Logistics]. Moscow, Prospekt Publ., 2010. 406 p.

11. Nikolenko S. *Rekomendatel'nyye sistemy* [Recommender systems]. Available at: https://logic.pdmi.ras.ru/~sergey/teaching/mlbeeline16/N16_BeelineRecommender.pdf (accessed 20.02.19).

12. Parygin D. S., Sadovnikova N. P., Shabalina O.A. *Informatsionno-analiticheskaya podderzhka zadach upravleniya gorodom* [Informational and analytical support of city management tasks]. Volgograd, Volgograd State Technical University Publ., 2017. 116 p.

13. *Poisk turov* [Tour search]. Available at: <https://express-kirov.ru/search-for-tours/> (accessed 04.04.19).

14. *Prosmotr ulits* [Street view]. Available at: <https://www.google.com/streetview/> (accessed 02.04.19).

15. *Profajling: psikhotipy lichnosti* [Profiling: personality psycho]. Available at: <https://searchinform.ru/kontrol-sotrudnikov/profajling/profajling-psikhotipy-lichnosti/> (accessed 20.12.18).

16. *Rekomendatel'nyye sistemy* [Recommender systems]. *Blog Vastrik.ru* [Blog Vastrik.ru]. Available at:

<https://vas3k.ru/blog/355/> (accessed 24.01.19).

17. *Rukovodstvo po KML*. [KML guide]. Available at: https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut?hl=ru (accessed 25.12.18).

18. Samorodskikh E. Dopolnennaya realnost v marketinge: 15+ primerov ispolzovaniya [Marketing augmented reality: 15+ case studies]. *TexTerra*, 2018. Available at: <https://texterra.ru/blog/dopolnennaya-realnost-v-marketinge-primery-ispolzovaniya.html> (accessed 08.03.19).

19. Strekalova A. S., Parygin D. S. AR-instrumenty modelirovaniya ob"yektov territorii [AR-tools for territory objects modeling]. *Sbornik nauchnykh trudov V mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po Informatsionnyye tekhnologii v nauke, upravlenii, sotsial'noy sfere i meditsine* [Collection of scientific papers of the V International Scientific Conference on Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine], Tomsk, 17–21 December 2018. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2018. Part 1, pp. 383–386.

20. Tokareva M. M., Volkova L. L., Abdullaev A. p. O rekomendatelnoy marshrutnoy sisteme, osnovannoy na otsenke predpochteniy polzovatelya [About advisory route system based on user preference assessment]. *Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh* [New information technologies in automated systems], 2016, no. 19, pp. 75–80.

21. *Turpoisk – poisk turov i oteley* [Tourpoisk – search for tours and hotels]. Available at: <https://www.turpoisk.ru/> (accessed 04.04.19).

22. Filippova E. Sistemy rekomendatsiy: zadachi, podkhody, algoritmy [Systems of recommendations: tasks, approaches, algorithms]. *DataReview*, 2014. Available at: <http://datareview.info/article/sistemyi-rekomendatsiy-zadachi-podhodyi-algoritmy/> (accessed 22.01.19).

23. *Amazon® Official Site*. Available at: <https://www.amazon.com/> (accessed 07.02.19).

24. Donchenko D., Ovchar N., Sadovnikova N., Parygin D., Shabalina O., Ather D. Analysis of Comments of Users of Social Networks to Assess the Level of Social Tension. *Procedia Computer Science: Proceedings of the 6th International Young Scientist Conference on Computational Science* (YSC 2017), Kotka, Finland, 1–3 November 2017. Elsevier, 2017, vol. 119, pp. 359–367. DOI: 10.1016/j.procs.2017.11.195.

25. *Bookmate*. Available at: <https://ru.bookmate.com/> (accessed 14.02.19).

26. *Google Play*. Available at: <https://play.google.com/store?hl=ru> (accessed 15.11.18).

27. *Last.fm*. Available at: <https://www.last.fm/> (accessed 18.02.19).

28. Ustugova S., Parygin D., Sadovnikova N., Finogeev A., Kizim A. Monitoring of social reactions to support decision making on issues of urban territory management. *Procedia Computer Science: Proceedings of the 5th International Young Scientist Conference on Computational Science* (YSC 2016), Krakow, Poland, 26–28 October 2016. Elsevier, 2016, vol. 101, pp. 243–252. DOI: 10.1016/j.procs.2016.11.029.

29. *Netflix-Watch TV Shows Online, Watch Movies Online*. Available at: <https://www.netflix.com/> (accessed 10.02.19).

30. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Upper Saddle River, Prentice Hall, 2010. 1152 p.

31. Beda D. V., Gurtyakov A. S., Parygin D. S., Potapova T. A. Web-servis dlya planirovaniya turistskikh marshrutov na osnove predpochteniy polzovatelya i geodannykh o gorodskikh obektakh [Web-service for planning tourist routes based on user preferences and the geodata of urban sites]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Aktualnyye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [Proceedings of the Volgograd State Technical University. Series: Actual problems of control, computing and information technology in technical systems], 2017, no. 8 (203), pp. 13–17.

32. *YouTube*. Available at: <https://www.youtube.com/?gl=RU&hl=ru> (accessed 05.02.19).

УДК 004.4:004.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОВОКУПНОЙ ЦЕННОСТИ (TVO) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

Статья поступила в редакцию 12.03.2019, в окончательной варианте – 05.04.2019.

Иванов Сергей Александрович, Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, 190103, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Лермонтовский проспект, 44А, старший преподаватель, e-mail: kemsit@mail.ru

Квятковская Ирина Юрьевна, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16,

доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий и коммуникаций, e-mail: i.kvyatkovskaya@astu.org

Рассмотрена методика совокупной ценности возможностей TVO (Total Value of Opportunity). Она предполагает выполнение качественно-количественной оценки влияния использования информационных технологий на параметры функционирования организации. Приведены этапы исследования, включающие в себя оценку эффективности по основным параметрам: прямая окупаемость, стратегическое согласование, воздействие на бизнес-процессы, соответствие ИТ-архитектуре, оценка рисков составляющей. Произведен расчет совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership (TCO)) для комплекса мероприятий по модернизации ИТ-инфраструктуры предприятия. Формализован и рассчитан интегральный показатель, являющийся критерием эффективности для действующего предприятия «Выборжец». Выполнены анализ неопределенности и анализ рисков.

Ключевые слова: ИТ-инвестиции, СППР, критерий эффективности, экономическая эффективность, методика TVO

Графическая аннотация (Graphical annotation)



USING THE METHODOLOGY TOTAL VALUE OF OPPORTUNITY (TVO) TO EVALUATE THE EFFICIENCY OF THE SUPPORT SYSTEM FOR DECISION MAKING FOR SELECTING COMPONENTS OF THE AUTOMATED GREENHOUSE SYSTEM

The article was received by editorial board on 12.03.2019, in the final version – 05.04.2019.

Ivanov Sergey A., St. Petersburg University of Management and Economics, 44A Lermontovsky Ave., St. Petersburg, 190103, Russian Federation,

Senior Lecturer, e-mail: kemsit@mail.ru

Kvyatkovskaya Irina Yu., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doc. Sci. (Engineering), Professor, Director of the the Information Technologies and Communications Institute, e-mail: i.kvyatkovskaya@astu.org

The technique of the cumulative value of the TVO (Total Value of Opportunity) capabilities, which implies a qualitative and quantitative assessment of the impact of information technologies on the parameters of the organization's functioning, is considered. The research stages are presented, which include studies on the main parameters: direct payback, strategic coordination, impact on business processes, compliance with IT architecture, assessment of the risk component. The TSS was calculated for a set of measures for the modernization of the company's IT infrastructure. The integral indicator, which is a criterion of efficiency, is formalized and calculated for the operating enterprise of the "Vyborzhets". The analysis of uncertainty and risk analysis.

Key words: IT investments, DSS, efficiency criterion, economic efficiency, TVO method

Введение. При выборе комплектующих для автоматизированной системы закрытого грунта (АСЗГ) возникает проблема оценки большого количества альтернатив, предлагаемых потребителю на рынке комплектующих автоматизированных теплиц. Неопределенность для потребителя выражается неполной информированностью ввиду большого количества факторов, влияющих на функционирование системы закрытого грунта. Для решения данной задачи либо необходимо привлекать большое количество экспертов в области конструктивных решений теплицы, выбора и эксплуатации датчиков, правильного комбинирования систем управления микроклиматом, либо обращаться к системам поддержки принятия решений по выбору комплектующих АСЗГ [7].

Поэтому исследование в области разработки информационно-советующих систем, сопровождающих проектирование автоматизированных теплиц в доступном для пользователя представлении, основанных на системном анализе, является актуальной научной задачей для специалистов, занимающихся информатизацией агропромышленного комплекса. Главной целью разработки таких систем является повышение эффективности функционирования автоматизированных теплиц, сокращение времени на выбор оборудования, уменьшение количества привлекаемых экспертов. Результаты решения этих задач посредством внедрения системы поддержки принятия решений по выбору комплектующих АСЗГ необходимо оценивать с точки зрения экономической эффективности [8].

Анализ методик оценки эффективности внедрения ИТ-проектов. На сегодняшний день существует достаточно большое количество методик по оценке экономической эффективности внедрения новых информационных технологий в ИТ-инфраструктуру предприятия. Среди самых распространенных методик можно выделить [2] следующие.

1. Методика IRR (Internal Rate of Return), по которой рассчитывается чистая приведенная стоимость на основании анализа потока платежей, дисконтированных к дате выполнения расчета [3].

2. Методика ROI (Return of Investment) – основывается на финансовом коэффициенте, учитывающем уровень доходности или убыточности бизнеса, получаемый при анализе суммы сделанных в этот бизнес-инвестиций [9].

3. Методика TEI (Total Economic Impact) – методика оценки совокупного экономического эффекта, включающая в себя не только анализ затрат и снижения себестоимости, но и оценку значимости технологии в контексте повышения эффективности общих бизнес-процессов [10].

Для обоснования инвестиций в информационные технологии также возможно использовать методику оценки их совокупной ценности для бизнеса (Total Value of Opportunity – TVO) [4, 5].

Данная методика позволяет оценить, как инвестиции в конкретную технологию отразятся на успешности бизнеса. Результаты в равной степени зависят как от эффективности самого предприятия и используемой системы отчетности, так и от самой технологии.

В отличие от трех ранее перечисленных методик, TVO дает более полное представление о последствиях бизнес-инициатив в сфере информационных технологий и устраняет своего рода языковой барьер между управленцами и специалистами в области информационных технологий, позволяя более четко демонстрировать, как технологическая инициатива отразится на бизнесе.

Оценку эффективности внедрения информационной системы поддержки принятия решений при выборе комплектующих автоматизированной системы закрытого грунта представляется целесообразным провести с использованием методики TVO.

Методика TVO. Методика, представленная на рисунке 1, предполагает количественно-качественную оценку пяти основных направлений влияния использования информационных технологий на параметры функционирования организации – прямая окупаемость, стратегическое согласование, воздействие на бизнес-процессы, соответствие ИТ-архитектуре и оценка рисковой составляющей.

Итоговая экономическая оценка эффективности [4, 12] проектов в области информационных технологий складывается в результате реализации следующих этапов.

1. Выбор показателей по каждому направлению (ИТ-проекту).
2. Определение набора показателей и их весов по каждому ИТ-проекту.
 - 2.1. Выбор ИТ-сервисов, поддерживающих стратегические шаги организации.
 - 2.2. Определение ключевых показателей эффективности (*Key Performance Indicators*, KPI) бизнес-процессов.
 - 2.3. Определение областей, в которых рассчитывается денежный поток.
 - 2.4. Выбор метрик «удаленности» от архитектурных стандартов организации.
 - 2.5. Ранжирование рисков по значимости.
 - 2.6. Определение порогового балла, исходя из инвестиционного бюджета ИТ.
 - 2.7. Определение балла TVO для каждого ИТ-проекта.

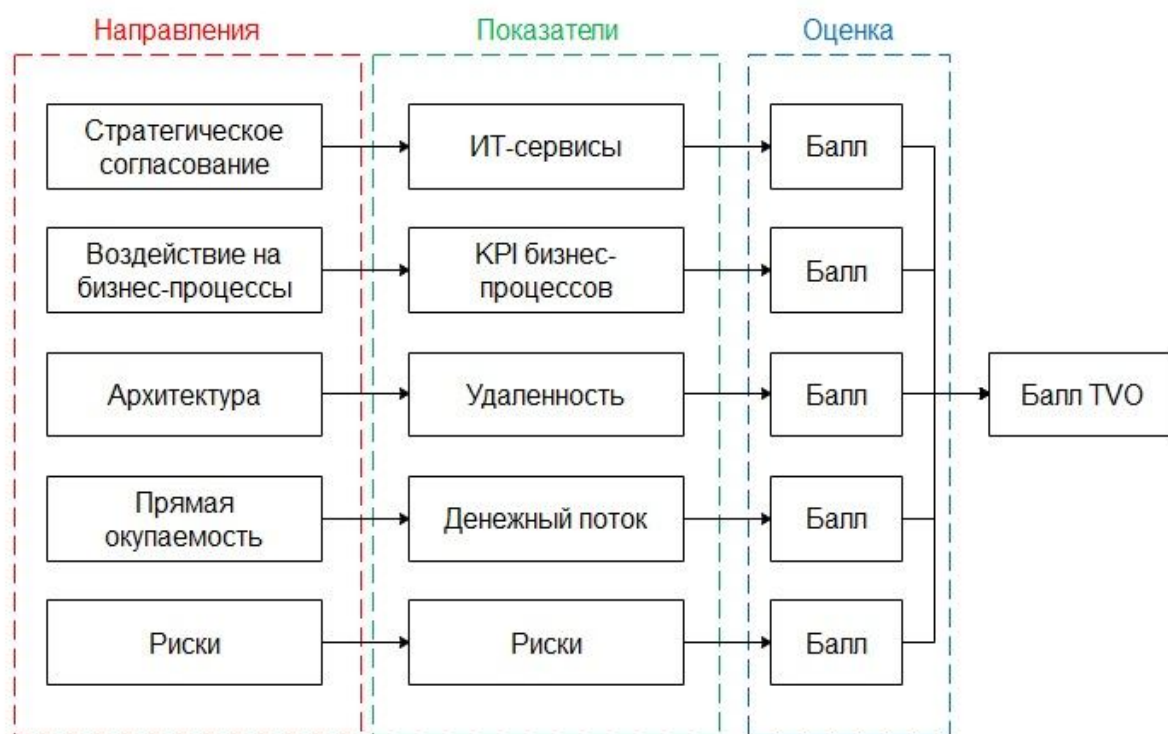


Рисунок 1 – Методика TVO – интегральная оценка эффективности проекта

В соответствии с методикой TVO, при оценке прямой окупаемости внедрения системы поддержки принятия решений (СППР) совокупная стоимость владения рассчитывается на 3–5 лет вперед. При этом делается прогноз эффективности ИТ-инвестиций и отражается положительный эффект от внедрения системы. Для оценки эффективности СППР по выбору комплектующих автоматизированной системы закрытого грунта по методике TVO необходимо выбрать предприятие, основной деятельностью которого является создание и использование автоматизированных теплиц, и провести расчеты в соответствии с инфраструктурой этого предприятия [11].

В таком случае критерием эффективности будет интегральный показатель, который можно представить как:

$$V = V_{tvo} + V_{st} + V_{av} + V_{bp} + V_{rv},$$

где V_{tvo} – балл совокупной стоимости владения; V_{st} – балл стратегического согласования; V_{av} – балл удаленности архитектуры; V_{bp} – балл воздействия на бизнес-процессы; V_{rv} – балл рисков.

$$V_{tvo} = \sum_{n=1}^t (VS_b + VS_i),$$

где VS_b – прямые затраты; VS_i – косвенные затраты.

$$V_{st} = F_{v1}(V_{v1}, V_{v2}, \dots, V_{vi}),$$

где V_{vi} – факторы, определяющие стратегическое согласование.

$$V_{av} = F_{v2}(V_{av1}, V_{av2}, \dots, V_{avi}),$$

где V_{avi} – факторы, определяющие удаленность архитектуры.

$$V_{bp} = F_{v3}(V_{bp1}, V_{bp2}, \dots, V_{bpi}),$$

где V_{bpi} – факторы, определяющие воздействие ИС на бизнес-процессы.

$$V_{rv} = F_{v3}(V_{rv1}, V_{rv2}, \dots, V_{rvi}),$$

где V_{rvi} – риски внедрения информационной системы.

Анализ деятельности агропромышленного предприятия «Выборжец». Для оценки эффективности внедрения СППР по выбору комплектующих автоматизированной системы закрытого грунта было выбрано предприятие «Выборжец».

Агрохолдинг «Выборжец» ведет свою историю с 30-х гг. XX в. Тогда еще совхоз «Красный Выборжец» входил в Трест Пригородного сельского хозяйства при Ленсовете. Территория совхоза располагалась в городской черте на Кондратьевском проспекте, а основное производство концентрировалось на выращивании корнеплодов (морковь, капуста, лук, свекла) и цветов.

В 70–80-е гг. развитие промышленности города Ленинграда шло бурными темпами, быстро застраивались земли в пригородной зоне и городской черте. При этом сельское хозяйство определялось как высокоинтенсивное с высокой специализацией и концентрацией производства. Были созданы крупные специальные хозяйства по производству овощей открытого и закрытого грунта, производству картофеля, семеноводству. Во Всеволожском и Тосненском районах сосредоточилось основное производство овощей для жителей Ленинграда.

В 2000 г. ЗАО Агрофирма «Выборжец» вошла в число 300 лучших сельскохозяйственных предприятий страны. В 2003 г. она заняла первое место в областном конкурсе по благоустройству, озеленению и цветочному оформлению территории.

В 2013 г. было завершено строительство тепличного и энергетического комплексов нового поколения. Высокоэффективное энергетическое оборудование позволяет значительно снизить удельную долю расходов агрохолдинга на энергоносители.

Сегодня «Выборжец» – это современный агрохолдинг, самое крупное тепличное хозяйство в Северо-Западном регионе и лидер по выращиванию свежих овощей в закрытом грунте в своем регионе. Основная деятельность Агрохолдинга сконцентрирована на круглогодичном производстве овощей закрытого грунта и зеленых культур. Численность сотрудников предприятия за отчетный период 2018 г. составила 733 человека [14].

На сегодняшний день внедрение новых СППР по поддержке выбора комплектующих автоматизированной системы закрытого грунта представляется возможным в компании «Выборжец»: объем инвестиций в развитие мощностей тепличного производства агрохолдинга до 2020 г. составит 8 млрд рублей, будет построено более 20 га автоматизированных теплиц.

Внедрение использования СППР необходимо на 10-ти ПЭВМ, с которыми работают проектировщики автоматизированных тепличных комплексов. При выборе комплектующих для новых проектов автоматизированных теплиц предприятие приглашает экспертов. При этом системы поддержки принятия решений по выбору комплектующих АСЗГ на предприятии пока нет.

Расчет совокупной стоимости владения. Для расчета совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership (TCO)) необходимо учитывать несколько показателей: стоимость приобретения и внедрения программного обеспечения, его поддержка вендором; стоимость закупки и эксплуатации оборудования, необходимого для поддержки системы; стоимость дальнейшей поддержки продукта. Расчет совокупной стоимости владения является статическим методом, поэтому коэффициенты дисконтирования не учитываются [12].

Расчет совокупной TCO для комплекса мероприятий по модернизации ИТ-инфраструктуры на примере действующего предприятия («Выборжец») представлен в таблице 1.

Комплекс мероприятий предполагает покупку дополнительных лицензий «1с: Документооборот и сервера», а также незначительное изменение сетевой инфраструктуры для включения всех необходимых пользователей ПЭВМ в корпоративную систему. Однако положительный эффект является заметным в динамике и указывает на сокращение затрат, как косвенных, так и прямых.

Таблица 1 – Расчет ТСО для предприятия «Выборжец» – для чисел без указания единиц измерений предполагается, что оценки даны в рублях

Статистика организации	Год 0	Год 1	Год 2	Год 3
Количество ПК в организации, шт.	193шт.	208 шт.	223 шт.	233 шт.
Количество пользователей ПК в организации, чел.	193чел.	208 чел.	223 чел.	233 чел.
ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ				
Технологии:				
10 лицензий 1с:Документооборот, ед.	37440			
Затраты на информационную систему поддержки принятия решений при выборе комплектующих АС закрытого грунта, 10 лицензий				
Сервер, 1 шт.	559 416			
Компьютер, 10 шт.	250 000	100 000	100 000	80 000
Монитор, 10 шт.	95000	75000	75000	50000
Комплект клавиатура + мышь	11 210	8 850	8 850	5 900
Источники бесперебойного питания для работы сервера, 2 шт.	8 000			
Внешние накопители на жестких дисках для резервного копирования, 2 шт.	10 400			
Маршрутизатор, 3шт.	3 750			
Сетевой коммутатор, 2 шт.	4 760			
Средние затраты на замену комплектующих	100 000	80 316	85 632	90 175
Среднегодовые затраты на бумагу	81 480	65 184	52 147	41 717
Среднегодовые затраты на закупку и заправку картриджей	50 400	40 320	32 256	25804
Итого	1 211 586	369 670	353 912	293 596
Персонал:				
Зарплата	2 208 000	1 987 200	1 987 200	1 987 200
Включая социальные выплаты (30 %), затраты на персонал	2 870 400	2 583 360	2 583 360	2 583 360
Обучение и сертификация	8 100	2500	2 000	2 000
Консультационные услуги третьих фирм	171 000	50 000	25 000	15 000
Итого	3049 500	2 635 860	2 610 360	2 600 360
Затраты на связь и интернет-ресурсы				
Абонентская плата (доступ к интернету)	5000	5 200	5 400	5 500
Содержание web-сервера	24 000	24 500	24 700	25 000
Поддержка доменного имени	600	620	640	660
Итого	29 600	30 320	30 740	31 160
КОСВЕННЫЕ ЗАТРАТЫ				
Персонал:				
Количество часов на самообучение у пользователя	80 часов	64 часов	51 часов	40 часов
Количество часов, затрачиваемых пользователем на передачу информации	75 часов	35 часов	20 часов	5 часов
Итого	1 550 часов	990 часов	251 час	450 часов
Операции и процессы				
Количество часов простоя в месяц по плановым и внеплановым остановкам работы	18 часов	14 часов	11 часов	8 часов
Количество часов простоя в год по плановым и внеплановым остановкам работы	216 часов	168 часов	132 часа	96 часов
Обще годовая стоимость простоя	27 000	21 954	17 992	13 392
Всего косвенных затрат	45 700	34 893	27 669	19 669
ТСО	4 306 786	3 040 423	2 991 941	2 913 625

Динамика ТСО повторяет тенденции как косвенных, так и прямых затрат. Однако основное сокращение издержек происходит за счет сокращения прямых затрат.

Расчет экономической эффективности внедрения СИПР. Оценка пяти столпов TVO производится на основе весов, которые присваиваются каждой перспективе, а также балла, который определяется экспертным методом. Веса определяются при помощи вербально-числовой шкалы Харрингтона [13].

В оценке пяти столпов TVO участвовало 10 экспертов, каждый из которых присваивал балл, соответствующий области деятельности по десятибалльной шкале. Каждый эксперт имеет равный с другими голос, поэтому экспертные коэффициенты не применяются.

При этом «10 баллов» указывает на наибольшую «проработанность» ИТ-инвестиций в соответствии с каждым столпом, выделенным в методике. На основе данной оценки было рассчитано среднее значение балла, которое использовалось для дальнейших расчётов. Сумма значений весовых коэффициентов должна составлять 100 %.

Результаты экспертной оценки полной ценности возможностей проекта по внедрению СППР по выбору комплектующих АСЗГ на предприятии «Выборжец» согласно методике TVO представлены в таблице 2. В ней производится перемножение среднего значения балла оцениваемого параметра на соответствующий ему вес для получения средневзвешенного балла.

Таблица 2 – Результаты экспертной оценки внедрения СППР

Направление оценки	Весовой коэффициент	Балл оцениваемого параметра	Взвешенный балл оцениваемого параметра
Стратегическое согласование	25 %	8,0	20 %
Воздействие на бизнес-процессы	10 %	5,0	5 %
Архитектура	30 %	9,0	27 %
Прямая окупаемость	10 %	5,0	5 %
Риски	25 %	5,0	12 %

Полученный интегральный показатель, равный 69 %, говорит о том, что данный проект обладает сильным конверсионным потенциалом, т.е. преимущества развертывания проекта перевешивают потенциальные риски. На основании этого можно сделать вывод о будущей эффективности реализации проекта по внедрению системы.

В соответствии с таблицей стандартного средневзвешенного балла компании Gartner [6], ИТ-инвестиции по данному комплексу мероприятий оправдывают себя, так как итоговый показатель более 50 %.

Анализ неопределенности. В рамках методики TVO [1] используется качественная оценка рисков как часть методики пяти столпов.

В рамках данной методики выделяется несколько видов риска.

1. Бизнес-риск оценивает возможность изменений рынка и внешней окружающей среды, которые могут оказать влияние на ценность, получаемую от реализации ИТ-инициативы.

2. Технологический риск оценивает возможность того, что технические ожидания, а также планы по поставщикам, ценам и поддержке изменятся и соответственно повлияют на реализацию ИТ-инициативы.

3. Управленческий риск оценивает шансы изменений корпоративной культуры и бизнес-процессов, которые могут повлиять на ценность, получаемую от реализации ИТ-инициативы.

Анализ рисков выполняется по аналогии с оценкой проработанности ИТ-инвестиций, с присвоением веса каждому виду риска. Этот вес отражает его важность и опасность. Также определяется среднее значение балла на основе экспертного метода. В рамках исследования приняли участие те же 10 экспертов. При этом балл, равный 10, присваивался при наибольшей возможности проявления риска. Далее рассчитывался средневзвешенный балл на основе веса и среднего значения балла.

Несмотря на относительно высокие риски, они являются приемлемыми из-за типа инвестиций, которые предполагают изменения бизнес-модели компании и характеризуются высокой сложностью технической реализации. Однако инвестиции принесут значительные положительные результаты при успешной реализации.

Заключение. Таким образом, на основе технологии TVO была проведена качественная и количественная оценка эффективности комплекса мероприятий по внедрению информационной системы поддержки принятия решений при выборе комплектующих АСЗГ и ее дальнейшей интеграции в информационное пространство действующего предприятия. Было выявлено влияние комплекса мероприятий по внедрению СППР на основные метрики эффективности бизнеса и проставлены их целевые значения. Кроме того, было определено влияние внедрения СППР по поддержке выбора комплектующих для автоматизированной системы закрытого грунта на основные области бизнеса (pillars) и проработанность ИТ-инвестиций.

Несмотря на то, что комплекс мероприятий обладает высокой степенью сложности, он принесет положительные результаты как в долгосрочной, так и в краткосрочной перспективе – за счет влияния на всю систему управления информационным пространством предприятия «Выборжец».

Библиографический список

1. Александров Б. Ю. Современные подходы к анализу эффективности функционирования предприятий в условиях неопределенности / Б. Ю. Александров // Экономика и управление в машиностроении. – 2012. – № 1. – С. 6–14.
2. Бардин А. К. Механизм прогнозных экономических оценок основных производственных процессов сада с использованием экспертных систем / А. К. Бардин // Труды Кубанского аграрного университета. – 2009. – № 16. – С. 15–22.
3. Белая Т. И. Проблема формирования совокупной стоимости владения информационно-телекоммуникационной инфраструктурой образовательного учреждения / Т. И. Белая, А. С. Васильев, Д. И. Казанцев // Приволжский научный вестник. – 2015. – № 7 (47). – С. 27–30.
4. Вахрушева М. Ю. Разнообразие подходов и методов оценки эффективности информационных систем / М. Ю. Вахрушева, А. М. Патрусова, М. В. Сыgotина // Труды Братского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2016. – Т. 1. – С. 114–123.
5. Вдович С. А. Интегральный подход к оценке эффективности корпоративных информационных систем / С. А. Вдович // Промышленность: перспективы развития. – 2017. – № 2. – С. 122–127.
6. Заугольников М. В. Описание архитектуры предприятия на основе модели Gartner / М. В. Заугольников, В. И. Буров, А. Б. Кригер // Экономика и менеджмент информационных технологий. – 2017. – № 2 (65). – С. 37–43.
7. Иванов С. А. Автономная система полного цикла поддержки роста и развития растений в тепличных условиях / С. А. Иванов, Э. Р. Чишиев // Международный электронный журнал. Устойчивое развитие: наука и практика. – 2014. – Вып. 2 (13). – С. 158–163.
8. Иванов С. А. Функциональная схема управления комбинированным отоплением в условиях минимизации ресурсов / С. А. Иванов, Э. Р. Чишиев, И. Ю. Квятковская // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 20. – С. 137–140.
9. Колос Н. В. Исследование методических подходов к оценке эффективности ИТ-проектов / Н. В. Колос, С. В. Ожог, О. В. Ивлева // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2017. – № 6 (67). – С. 70–80.
10. Куликова Л. Л. Особенности оценки эффективности ИТ-проектов / Л. Л. Куликова, В. Ю. Швакин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2010. – № 3 (43). – С. 153–159.
11. Тамбиева Д. А. Система поддержки принятия решений в структуре управления сложной социально-экономической системой / Д. А. Тамбиева, Ш. Х. Салпагарова // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2014. – № 12 (72). – С. 100–110.
12. Чернов В. Г. Методы учета неопределенности в инвестиционном анализе / В. Г. Чернов, Е. М. Ремезова // Финансы и кредит. – 2013. – № 15 (543). – С. 12–24.
13. Чуркин В. В. Программная реализация метода многокритериального ранжирования альтернатив на основе экспертных оценок / В. В. Чуркин, Юрьев В. Н. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2012. – № 21 (44). – С. 114–120.
14. Электронные данные портала Выборжец. – Режим доступа: <http://vyborgec.ru/about/history/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. Рус. (дата обращения 12.03.2019).

References

1. Aleksandrov B. Yu. Sovremennyye podkhody k analizu effektivnosti funktsionirovaniya predpriyatiy v usloviyakh neopredelennosti [Modern approaches to the analysis of the efficiency of enterprises in conditions of uncertainty]. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroyeni* [Economics and Management in Mechanical Engineering], 2012, no. 1, pp. 6–14.
2. Bardin A. K. Mekhanizm prognoznnykh ekonomicheskikh otsenok osnovnykh proizvodstvennykh protsessov sada s ispolzovaniem ekspertnykh sistem [The mechanism of predictive economic assessments of the main production processes of the garden using expert systems]. *Trudy Kubanskogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban Agrarian University], 2009, no. 16, pp. 15–22.
3. Belaya T. I., Vasilev A. S., Kazantsev D. I. Problema formirovaniya sovokupnoy stoimosti vladeniya informatsionno-telekommunikatsionnoy infrastrukturoy obrazovatel'nogo uchrezhdeniya [The problem of formation of the total cost of ownership of information and telecommunications infrastructure of an educational institution]. *Privolzhskiy nauchnyy vestnik* [Volga Scientific Herald], 2015, no. 7 (47), pp. 27–30.
4. Vakhrusheva M. Yu., Patrusova A. M., Sygotina M. V. Raznoobrazie podkhodov i metodov otsenki effektivnosti informatsionnykh sistem [A variety of approaches and methods for evaluating the effectiveness of information systems]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie* [Proceedings of the Bratsk State University. Series: Economics and management], 2016, no. 1, pp. 114–123.
5. Vdovich S. A. Integralnyy podkhod k otsenke effektivnosti korporativnykh informatsionnykh sistem [An integrated approach to evaluating the effectiveness of corporate information systems]. *Promyshlennost: perspektivy razvitiya* [Industry: development prospects], 2017, no. 2, pp. 122–127.
6. Zagolonikov M. V., Burov V. I., Kriger A. B. Opisanie arkhitektury predpriyatiya na osnove modeli Gartner [Description of the enterprise architecture based on the Gartner]. *Ekonomika i menedzhment informatsionnykh tekhnologiy* [Economics and Management of Information Technologies], 2017, no. 2 (65), pp. 37–43.
7. Ivanov S. A., Chishiev E. R. Avtonomnaya sistema polnogo tsikla podderzhki rosta i razvitiya rasteniy v teplichnykh usloviyakh [Autonomous system of a full cycle of supporting the growth and development of plants in greenhouse con-

ditions]. *Mezhdunarodnyy elektronnyy zhurnal. Ustoychivoe razvitiye: nauka i praktika* [International Electronic Journal. Sustainable Development: Science and Practice], 2014, no. 2 (13), pp. 158–163.

8. Ivanov S. A., Chishiev E. R., Kvyatkovskaya I. Yu. Funktsionalnaya skhema upravleniya kombinirovannym otopleniem v usloviyakh minimizatsii resursov [Functional control scheme of combined heating in conditions of resource minimization]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2016, no. 19 (20), pp. 137–140.

9. Kolos N. V., Ozhog S. V., Iovleva O. V. Issledovanie metodicheskikh podkhodov k otsenke effektivnosti IT-proektov [Study of methodological approaches to assessing the effectiveness of IT projects]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperatsii, ekonomiki i prava* [Bulletin of Belgorod University of Cooperation, Economics and Law], 2017, no. 6 (67), pp. 70–80.

10. Kulikova L. L., Shvakin V. Yu. Osobennosti otsenki effektivnosti IT-proektov [Features evaluation of the effectiveness of IT projects]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2010, no. 3 (43), pp. 153–159.

11. Tambiyeva D. A., Salpagarova Sh. Kh. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy v strukture upravleniya slozhnoy sotsialno-ekonomicheskoy sistemoy [Decision support system in the management structure of a complex socio-economic system]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami : elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Economic Systems Management : electronic scientific journal], 2014, no. 12 (72), pp. 100–110.

12. Chernov V. G., Remezova Ye. M. Metody ucheta neopredelennosti v investitsionnom analize [Methods of accounting for uncertainty in investment analysis]. *Finansy i kredit* [Finance and credit], 2013, no. 15 (543), pp. 12–24.

13. Churkin V. V., Yurev V. N. Programmnaya realizatsiya metoda mnogokriterialnogo ranzhirovaniya alternativ na osnove ekspertnykh otsenok [Software implementation of the method of multi-criteria ranking of alternatives based on expert assessments]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki* [Scientific and Technical Statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. Economics], 2012, no. 21 (44), pp. 114–120.

14. *Elektronnye dannye portala Vyborzhets* [Electronic data portal Vyborgec]. Available at: <http://vyborgec.ru/about/history/> (accessed 12.03.2019).

УДК 004.02:[331.52+339+656]

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ПЕРЕВОЗОК В КАСПИЙСКОМ БАССЕЙНЕ: АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ВЛИЯНИЯ НА ИТ-КОМПЕТЕНТНОСТЬ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИЙ И НАСЕЛЕНИЯ В ПРИКАСПИЙСКИХ РЕГИОНАХ РОССИИ

Статья поступила в редакцию 27.02.2019, в окончательном варианте – 17.04.2019.

Маркелов Константин Алексеевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

кандидат экономических наук, доцент, и.о. ректора университета, e-mail: aspu@aspu.edu.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-8218-4496>

Дана общая характеристика направлений и объемов трансграничных перевозок грузов и пассажиров в Каспийском бассейне, включая формирование и обеспечение деятельности «транспортных коридоров», портов, железнодорожных станций, аэропортов и пр. Рассмотрены основные направления развития информационно-телекоммуникационных технологий (ИТКТ). Для прикаспийских регионов России и других стран оценено влияние развития ИТКТ и трансграничных перевозок на особенности жизнедеятельности населения; условия бизнес-деятельности, в том числе в сфере транспорта; на квалификацию и роль профильных ИТКТ-специалистов; на принципы подбора и управления персоналом в организациях различных типов, подходы к обеспечению ИТКТ-компетентности персонала. В качестве отдельной категории персонала выделены ИТКТ-специалисты, которые могут работать в организациях различных типов. Для этой категории рассмотрены следующие подкатегории специалистов: системные администраторы (специалисты общего профиля); по разработке программного обеспечения, включая информационные системы; по установке, настройке, сопровождению программных средств; по разработке сайтов; по сопровождению сайтов; по контент-менеджменту сайтов, информационной безопасности. Показано, что влияние трансграничных перевозок пассажиров (включая туристов) на ИТКТ-компетентность населения рассматриваемых регионов связано в основном с необходимостью обеспечения понимания речи и текстов на иностранных языках, с оговорками – общения на таких языках. Предложена классификация организаций в отношении их участия в выполнении или обеспечении трансграничных перевозок на Каспии. Для каждого из классов (типов) организаций рассмотрены необходимые виды ИТКТ-компетентности персонала, включая владение программными средствами общего назначения и специализированными, базовые навыки обеспечения информационной безопасности, а также роли ИТКТ-специалистов в обеспечении деятельности этих организаций. Подробно рассмотрена тематика, связанная с влиянием деятельности образовательных учреждений на ИТКТ-компетентность населения и организаций прикаспийских регионов с учетом маршрутов и объемов трансграничных перевозок.

Ключевые слова: Каспийский бассейн, трансграничные перевозки, мультимодальные перевозки, оптимизация перевозок, средства транспорта, портовое хозяйство, классификация организаций, информационно-телекоммуникационные технологии, ИТ-специалисты, квалификация персонала, уровни требований, информационная безопасность

Графическая аннотация (Graphical annotation)



**INFORMATIZATION OF CROSS-BORDER TRANSPORTATIONS
IN THE CASPIAN BASIN: ANALYSIS OF THE DIRECTIONS OF INFLUENCE
ON THE IT-COMPETENCE OF POPULATION AND ORGANIZATIONS PERSONEL
IN RUSSIAN CASPIAN REGIONS**

The article was received by editorial board on 27.02.2019, in the final version – 17.04.2019.

Markelov Konstantin A., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Economics), Associate Professor, Acting Rector of the University, e-mail: aspu@aspu.edu.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-8218-4496>

The author reviews the general characteristic of the directions and volumes of cross-border transportation of goods and passengers in the Caspian basin, including formation and ensuring activity of "transport corridors", ports, railway stations, the airports and so forth. The main directions of information and communication technologies (ICT) development are considered. For Caspian regions of Russia and other countries are estimated: the impact of ICT development and cross-border transportations on features of the population activity; on business activity conditions, including in the sphere of transport; on qualification and a role of profile ICT-specialists; on the principles of selection and human resource management in the organizations of various types; on the approaches to ensuring personnel ICT-competence. As separate category of personnel ICT-specialists, who can work in the organizations of various types, are allocated. For this category the following subcategories of experts are considered: system administrators (experts of the general profile); on the software development, including information systems; on software installation, its control, support; on development of the websites and their maintenance; on websites content management; on information security. It is shown that influence of cross-border transportations of passengers (including tourists) on ICT-competence of the population of the considered regions, generally need ensuring of speech and texts in foreign languages understanding, with reservations – communication in such languages. Classification of the organizations concerning their participation in performance or ensuring cross-border transportations on the Caspian Sea is offered. For each of classes (types) of the organizations the author considers necessary types of personnel ICT-competence, including possession of general purpose and specialized software; basic skills of ensuring information security; a role of ICT-specialists in ensuring activity of these organizations. The subject, connected with the impact of activity of educational institutions on ICT-competence of the population and the organizations of Caspian regions, taking into account routes and volumes of cross-border transportations, is analyzed in detail.

Key words: Caspian basin, cross-border transportation, multimodal transportations, optimization of transportations, automobiles, port economy, classification of the organizations, information and communication technologies, IT specialists, qualification of personnel, levels of requirements, information security

Введение. Одним из важных направлений развития международных связей России является использование Каспийского моря в качестве крупного транспортно-логистического узла, обеспечивающего перевозки в интересах прикаспийских и иных стран, в том числе в рамках формирования и использования «транспортных коридоров» [41]. При этом «транзитный потенциал Каспийского водного бассейна» [26, 42] в значительной степени зависит от развития «береговой инфраструктуры», включая порты, железнодорожные пути, трубопроводы [27], склады и пр. Также необходимо учитывать некоторые объективно существующие «инфраструктурные ограничения» [29] в отношении развития таких объектов.

В целях обеспечения международного сотрудничества в отношении перевозок было заключено специальное многостороннее соглашение между правительствами прикаспийских государств [35]. В рамках реализации данного соглашения предусматривается следующее: 1) дальнейшее развитие морских, автомобильных, железнодорожных, воздушных и мультимодальных перевозок между государствами; 2) развитие пассажирских перевозок, прежде всего регулярных, а также международного круизного судоходства; 3) обеспечение безопасности на транспорте при осуществлении перевозок пассажиров и грузов между прикаспийскими государствами и транзитом через их территории; 4) налаживание контактов между транспортными компаниями-перевозчиками и грузовладельцами; 5) сотрудничество в подготовке и повышении квалификации специалистов в области транспорта; 6) применение и актуализация процедур предварительного информирования о грузах, ввозимых в двустороннем сообщении либо транзитом; 7) содействие в создании транспортно-логистических центров на ключевых направлениях перевозок пассажиров и грузов; 8) содействие развитию международных транспортных коридоров, проходящих по территориям государств; 9) выработка и принятие мер по обеспечению сохранности инфраструктуры международных транспортных коридоров на территориях своих государств; 10) взаимодействие в области проведения научных исследований, использования научных достижений и передовых технологий на транспорте, развития интеллектуальных транспортных систем.

Подчеркнем, что «развитие международного сотрудничества России со странами Каспийского бассейна в туристско-рекреационной сфере и морском пассажирском сообщении» [32] важно прежде всего для приморских регионов прикаспийских стран. При этом для расширения туристической привлекательности круизных рейсов (и, как следствие, увеличение спроса потребителей) могут быть организованы автомобильные экскурсии на объекты, расположенные не слишком далеко от берега моря.

Отметим также «Стратегию развития российских морских портов в Каспийском бассейне, железнодорожных и автомобильных подходов к ним в период до 2030 года» [36]. При этом необходимо учитывать невозможность (или затрудненность) использования некоторых портов в зимнее время [1, 14].

Непосредственно в [35, 36] вопросы привлечения трансграничных инвестиций [12] не отражены. Однако такие инвестиции в ряде случаев могут играть важную роль для обеспечения строительства и эксплуатации объектов, в которых заинтересованы различные страны (в том числе и не прикаспийские), транснациональные корпорации.

Для решения большинства приведенных выше задач важное (а иногда и ключевое) значение имеет компетентность персонала организаций, связанных с осуществлением перевозок, в отношении использования информационно-телекоммуникационных технологий (ИТКТ). В определенной степени важна также ИТКТ-компетентность населения тех регионов России, через которые осуществляются указанные перевозки.

Однако в существующих публикациях проблематика, связанная с влиянием трансграничных перевозок на Каспии, на ИТКТ-компетентность населения и персонала регионов практически не рассматривается. Попытка устранения этого недочета является целью настоящей статьи.

Общая характеристика направлений трансграничных перевозок в Каспийском бассейне.

Важнейшими задачами транспортной политики государства являются планомерная работа по формированию коммуникационного каркаса, обеспечивающего потоки материальных и людских ресурсов на региональном и межрегиональном уровнях, и реализация национальных программ, направленных на создание и развитие международных транспортных коридоров, которые формируют основу для успешной мирохозяйственной интеграции, позволяют эффективно конвертировать транзитные функции государства [41]. При этом вопросы информационно-коммуникационного обеспечения деятельности таких коридоров [16] имеют особую важность.

В общем случае «международная перевозка – это такая перевозка грузов, пассажиров и багажа, которая осуществляется, по крайней мере, между двумя государствами в соответствии с условиями, предусмотренными межгосударственными соглашениями» [3].

Многообразие видов трансграничных перевозок грузов железнодорожным, автодорожным, морским, речным, трубопроводным, авиатранспортом привело к заключению различных конвенций и других

документов международного характера. Конкретные разновидности таких перевозок определяются множеством факторов: статусом международного транспортного коридора, классификацией грузов, перевозками отдельными видами транспорта или «смешанным» транспортом; перевозками без «перегрузок» в промежуточных пунктах или при наличии таких «перегрузок» и др.

Так, например, Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением (Базель, 22 марта 1989 г., с поправками по состоянию на 8 октября 2005 г.) [5] определяет как объект трансграничной перевозки, так и их виды.

Трансграничные перемещения людей и грузов в Каспийском бассейне осуществляются с использованием следующих видов транспорта: трубопроводного, водного (суда различных типов, в т.ч. класса «река-море»), железнодорожного; автомобильного [37], воздушного. При этом в Каспийском бассейне воздушный транспорт применяется главным образом для перевозки пассажиров и почты. Специальные рейсы по перевозке грузов используются достаточно редко.

Каждый из перечисленных видов транспорта имеет определенные особенности (инженерные, технико-экономические, информационно-коммуникационные [38], санитарно-гигиенические и пр.).

Объектами инфраструктуры, обеспечивающими такие перевозки, являются следующие: трубопроводы; морские порты; речные порты; железные дороги; железнодорожные станции; автомобильные дороги; автомобильные станции; аэропорты; линии электропередач и пр.

Объектами инфраструктуры, обеспечивающими необходимые коммуникации, являются следующие: средства спутниковой связи и навигации; средства радиосвязи, включая радиорелейную; оптоволоконные кабели; высокочастотные «медные» кабели; сотовая связь и пр.

Российский транспортный узел Каспийского бассейна представлен обширной структурой, включающей портовое хозяйство трех основных морских портов: Астрахань, Оля и Махачкала. Динамика их грузооборота представлена в таблице.

Таблица – Динамика грузооборота российских морских портов Каспийского бассейна за 2007–2017 гг.

Показатели	Год						2017/ 2007, %
	2007	2009	2011	2013	2015	2017	
Всего по РФ, млн т	451,0	496,4	535,6	589,0	676,7	786,4	174,4
Грузооборот морских портов Каспийского бассейна, млн т							
Итого	12,7	10,0	10,6	7,8	6,7	4,0	30,1
в том числе							
– наливные грузы	5,2	4,1	5,0	4,8	3,6	1,1	21,2
– сухие грузы	7,5	5,9	5,6	3,0	3,1	2,9	38,7
Структура грузооборота морских портов Каспийского бассейна, %							
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	–
в том числе							
– наливные грузы	40,9	41,0	47,2	61,5	53,7	28,2	68,9
– сухие грузы	59,1	59,0	52,8	38,5	46,3	71,8	133,3
Грузооборот Каспийского бассейна в разрезе морских портов, млн т							
Астрахань	5,8	3,9	4,6	2,4	2,6	2,3	39,7
Оля	0,6	0,8	0,6	0,2	0,3	0,3	50,0
Махачкала	6,3	5,3	5,4	5,2	3,8	1,4	22,2
Итого	12,7	10,0	10,6	7,8	6,7	4,0	31,5
Структура грузооборота морских портов Каспийского бассейна, %							
Астрахань	45,7	39,0	43,4	30,8	38,8	57,5	125,8
Оля	4,7	8,0	5,7	2,5	4,5	7,5	159,6
Махачкала	49,6	53,0	50,9	66,7	56,7	35,0	70,6
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	–
Доля грузооборота морских портов Каспийского бассейна в Российской Федерации							
В процентах	2,8	2,0	2,0	1,3	1,0	0,5	17,9

Примечание. Составлено и рассчитано по данным [2, 34].

В настоящее время деятельность портов Каспийского транспортного узла, составляющая в структуре грузооборота российских портов лишь 0,5 %, характеризуется устойчивой тенденцией регрессивного развития [24]:

- общий грузооборот морских портов сократился в 3,2 раза, а в Махачкалинском порту – в 4,5 раза, главным образом за счет снижения перевалки наливных грузов в 4,7 раза;
- порт Оля, несмотря на привлечение значительных инвестиционных вложений, не оправдал ожиданий в своем развитии, начиная с 2009 г. допущено снижение грузооборота в 2,7 раза, который в настоящее время является незначительным;
- порт Астрахань также снизил объемные показатели в 2,5 раза;

- изменилась структура его грузооборота, 71,8 % стало приходиться на сухие грузы.

Соответственно, более чем втрое ухудшились показатели загрузки перегрузочных мощностей морских портов – с 62,3 % в 2007 г. до 19,6 % по итогам 2017 г.

Очевидно, что преодоление указанных негативных тенденций должно быть связано не только с принятием/реализацией некоторых инвестиционных, инженерно-технических и управленческих решений (рассматриваемых далее), но и использованием информационно-телекоммуникационных технологий (ИКТ) для поддержки развития перевозок, в том числе трансграничных перевозок людей и грузов.

Дальнейшее развитие портовой инфраструктуры, ликвидация географических диспропорций спроса и предложения портовых мощностей является одной из важнейших стратегических задач развития интегрированной транспортной системы, обеспечивающей связь страны с внешними рынками. Развитие МТК «Север – Юг» тесно увязано со стратегией развития портов в Каспийском бассейне и строительством автомобильных и железнодорожных подходов к ним, которые обеспечивают выход от портов Каспия до магистральной инфраструктуры европейской части России. Регионы, на территории которых должны реконструироваться и строиться эти объекты, – Астраханская, Волгоградская области, Ставропольский край и Республика Дагестан. Функцию транспортной интеграции Каспийского бассейна может в значительной степени выполнить скоростная автомобильная дорога «Кавказская рокада» [15, с. 175].

Активное развитие транспортной инфраструктуры предусмотрено в сфере строительства и реконструкции портов Астраханской области, создания сети региональных распределительных транспортно-логистических центров. Развитие таких центров должно быть увязано со стратегией пространственного развития страны, проект которой предусматривает комплекс основных мероприятий создания современной портовой инфраструктуры Астраханского транспортного узла [30]:

1) строительство (развитие) морского торгового порта Оля Астраханской области и реконструкция морского порта г. Астрахань;

2) развитие речного порта Астрахань (строительство и реконструкция).

Важнейшими инвестиционными проектами являются создание мультимодальных центров (на базе морских и речных портов) как главных драйверов контейнеризации и оптимального распределения потоков между видами транспорта, являющихся ключевым узлом опорного транспортного каркаса, включая интеграцию различных видов транспортной инфраструктуры [15].

Кроме того, Президент Российской Федерации дополнительно утвердил 11.12.2018 г. перечень основных поручений по вопросам экономического развития территории Астраханской области, в том числе международного транспортного коридора «Север – Юг». Данный документ включает следующее: модернизацию инфраструктуры морского порта Оля; проектирование и строительство паромов; организацию паромных переправ в Каспийском бассейне; увеличение пропускной способности автомобильных подходов к морским портам Астраханской области. Также поручено проработать вопрос о создании портовой особой экономической зоны на территории, прилегающей к морскому порту Оля.

Проектом Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года также предусмотрено строительство морского порта в г. Лагань Республики Калмыкия [30].

На V Каспийском саммите глав прикаспийских государств президент России В.В. Путин анонсировал строительство к 2025 г. глубоководного морского порта в районе города Каспийска в Дагестане. В результате созданный порт будет способен принимать большегрузные суда с полезной нагрузкой от 15 до 25 тыс. тонн. Это повысит конкурентоспособность грузовых и пассажирских перевозок; позволит интегрировать российские портовые мощности в глобальные и евразийские транспортно-логистические цепочки;кратно увеличит объемы обрабатываемых грузов [13].

Важно также отметить, что Республики Азербайджан, Казахстан, Туркменистан и их приморские территории располагают транспортной системой, которая создавалась в основном в советский период и представлена как «фрагментарная инновационная инфраструктура без широкого промышленного основания» [23].

В связи с прогнозируемым нарастанием объемов грузопотоков и реализацией комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры России Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» предусмотрено развитие транспортных коридоров «Север – Юг» и «Запад – Восток» для перевозки грузов за счёт увеличения мощностей морских портов, включая порты Волго-Каспийского и Азово-Черноморского бассейнов [13].

По другим оценкам, перспективный грузопоток по МТК «Север – Юг» оценивается от 25 до 35–40 млн т в год или от 1,5–2,0 до 5,0–6,0 млрд US\$ возможных российских доходов в год [4].

При таких условиях главные российские водные артерии Волга и Дон, порты Волго-Каспийского и Азово-Черноморского бассейнов будут формировать основные транспортные речные коридоры и морские транзитные грузопотоки прикаспийских государств. Именно поэтому формирование схемы территориального планирования должно осуществляться на комплексной основе – в первую очередь с учетом перспектив функционирования Единой глубоководной системы европейской части Российской Федерации [24].

В транспортной составляющей Каспийского региона для России ожидаются наиболее перспективные проекты, которые призваны объединить потенциалы торгово-морских сообщений российских портов с зарубежными портами с целью максимально эффективного управления транспортными потоками. Одним из таких проектов является Каспийский транспортно-логистический комплекс, который должен объединить морские порты Астрахани (Оля) и Дагестана (в Махачкале, Дербенте и Каспийске). Суть проектов заключается в расширении портов, увеличении их пропускной способности, а также адаптации под международные торговые пути, в том числе транспортный корридор «Север – Юг» [33,40]. Для решения этих задач необходимы существенные организационно-управленческие преобразования транспортных систем регионов на основе использования «цифровизации» [25], т.е. комплексного развития аппаратно-программных средств ИКТ; обеспечения необходимой ИКТ-компетентности работников организаций, связанных с предоставлением услуг трансграничных перевозок.

В целях повышения эффективности интеграционных процессов и экономического сотрудничества прикаспийских государств предлагались стратегические проекты развития макрорегиона, которые находятся в разной стадии проработанности:

- строительство судоходного канала «Евразия» между Каспийским и Чёрным морями [24];
- создание «Каспийской зоны свободной торговли»;
- строительство железнодорожного кольца вокруг Каспия. Оно позволит сократить общее время перевозок на 48 ч; повысить долю железнодорожного транспорта в грузовых перевозках между странами Каспия с 25 до 35–40 %; увеличить объём транзита на 600–750 млн долл. [6].

Основные направления развития информационно-телекоммуникационных технологий и их влияние на информатизацию трансграничных перевозок. Основными направлениями развития ИКТ в настоящее время целесообразно считать следующие.

➤ Совершенствование программного обеспечения различного назначения: а) расширение функциональных возможностей программных средств (ПС), специально предназначенных для поддержки принятия и реализации решений; б) создание и использование различных информационных, информационно-справочных и информационно-аналитических систем; в) увеличение функциональности средства поиска информации в интернете, информационных системах и пр.

➤ Общее увеличение объемов информации в электронной форме, накопленной в базах данных, репозиториях научной и иной информации. Это относится, в частности, к странам, расположенным в Каспийском регионе; к самому Каспийскому морю; его биоте; добыче и транспортировке углеводородного сырья в акватории Каспия и пр.

➤ Расширение функциональных возможностей аппаратных средств, включая ПЭВМ, сервера, компьютерную периферию, технические средства телекоммуникаций.

➤ Развитие локальных компьютерных сетей организаций.

➤ Расширение функциональных возможностей телекоммуникационных средств, включая развитие различных каналов связи, доступа к Интернету (включая беспроводной доступ).

➤ Широкое использование средств электронной почты, IP-телефонии, средств видеоконференцсвязи для организации коммуникаций между физическими лицами и организациями, связанными с непосредственной организацией трансграничных перевозок, ресурсным обеспечением этих перевозок, информационной поддержкой таких перевозок.

Как ясно из приведенного перечня, для эффективного использования возможностей ИКТ необходима достаточно высокая ИКТ-компетентность специалистов различных организаций, а в некоторых случаях также широких масс населения.

При этом в условиях интернационализации информационного пространства, а также развития международных экономических и иных видов связей (включая прикаспийские государства в целом и их приморские регионы) роль ИКТ-компетентности будет продолжать возрастать. Отметим, что вопросам обеспечения ИТК-компетентности населения и специалистов уделяется серьезное внимание не только в России, но и в других странах [17], включая страны Каспийского бассейна.

Трансграничные перевозки людей и грузов в Каспийском бассейне (морские, сухопутные, воздушным путем) являются одним из компонентов развития международных связей России в целом и важнейшим направлением экономического развития для ее приморских регионов.

Ключевыми направлениями поддержки развития трансграничных перевозок в Каспийском бассейне (включая использование средств ИКТ) можно считать следующие.

✓ Объективная оценка существующих величин грузо- и пассажиропотоков в Каспийском бассейне, включая их объемы по направлениям. Такая оценка опирается на сбор информации из различных источников с использованием компьютерных технологий; накопление и структуризацию этой информации; обеспечение возможностей селективного доступа к ней. При этом от аналитиков требуется владение ПС, позволяющими выявить «единицы» необходимой информации; методами оценки ее актуальности и достоверности.

✓ Прогнозирование формирования грузопотоков и направлений. Оно может опираться на использование экспертных методов; анализа временных рядов, включая одномерные и многомерные временные ряды [11]. Использование этих методов в настоящее время полностью компьютеризованно и требует достаточно высокой ИКТ-компетентности от тех лиц, которые эти методы используют в своей работе.

✓ На основе этих оценок и прогнозов осуществляется стратегическое планирование развития инфраструктуры, обеспечивающей трансграничные перевозки в Каспийском бассейне. Это направление включает в себя, в частности, планирование строительства и расширения портов [36], подъездных путей к ним для железнодорожного и автомобильного транспорта, необходимых складских помещений; планирование строительства и расширение железнодорожных станций и подъездных путей к ним; расширение автостанций и станций технического обслуживания автомобилей. Согласованное планирование развития различных средств транспорта и инфраструктуры для их использования в прикаспийских регионах России является важным средством обеспечения мультимодальных перевозок.

В рамках стратегического планирования могут применяться традиционные экономические методы (включая «балансовые»); экономико-математические, основанные на использовании возможностей ИКТ; различного рода «многослойные» геоинформационные системы, позволяющие удобно представлять разнородную информацию путем «наложения» различных слоев и пр. В свою очередь использование соответствующих компьютеризованных методов требует определенной ИКТ-компетентности персонала, который, как предполагается, должен эти методы использовать в своей работе.

✓ Проектирование и строительство различных транспортных объектов, в том числе портов, грузовых терминалов, складских помещений в портах и терминалах, открытых площадок для размещения грузов и пр., железнодорожных путей, мостов и пр. При этом в настоящее время процессы проектирования в строительстве практически полностью компьютеризованы, осуществляются на основе систем автоматизированного проектирования, представляющих собой развитые ПС. Для их эксплуатации нужна специальная ИТКТ-подготовка проектировщиков, которая приобретается в вузах, а также в процессе практической работы.

Сейчас в странах Каспийского бассейна «экспорт услуг проектирования» практически не используется, так как в каждой из стран действуют собственные правила проектирования; утверждения проектов; их практической реализации. Однако, например, в России и Казахстане такие правила достаточно близки по своему содержанию, используются аналогичные нормативные документы.

✓ Проектирование и строительство объектов обеспечения деятельности участников транспортного процесса, включая «тыловые инфраструктуры» морских портов; генерирующие мощности для производства электроэнергии; линии электропередач для портов и иных объектов; заправочные станции для автомобильного транспорта; линии телекоммуникаций и пр.

✓ Оперативное планирование процессов перевозок, особенно мультимодальных. В рамках мультимодальных перевозок необходимо согласовывать деятельность (работу) различных видов перевозчиков (транспортных организаций); средств перегрузки транспортируемых объектов с одних видов транспорта на другие (в том числе с учетом обеспечения необходимой партионности грузов); в необходимых случаях – работу складов, используемых для накопления партий грузов. По этому направлению ИКТ-компетентность требуется, в основном, в отношении владения персоналом специализированными информационными системами, средствами телекоммуникаций.

✓ Непосредственная реализация трансграничных перевозок людей и грузов опирается на использование различных средств связи. При этом коммуникации между физическими лицами и организациями облегчаются тем, что в большинстве зарубежных прикаспийских государств (за исключением Исламской Республики Иран) значительная часть населения в достаточной степени владеет русским языком – по крайней мере, на уровне разговорной речи. Как следствие, облегчается их общение с русскоязычным персоналом, осуществляющим управление транспортными средствами; с бригадами, обеспечивающими движение пассажирских железнодорожных составов; с лицами, регулирующими движение транспорта или осуществляющими информационную поддержку такого движения – в том числе на автомобильных дорогах России и пр.

Деятельность по данному направлению облегчается также следующими факторами:

- унифицированными международными правилами судоходства, принципами использования судами портов (включая гавани и портовые сооружения) и пр.;
- единообразными международными правилами регулирования движения автомобильного транспорта, включая дорожные знаки;
- возможностями использования прав управления транспортными средствами (автомобилями) за пределами тех стран, в которых они выданы.

Общие принципы категорирования населения и персонала организаций в прикаспийских регионах России и других стран для решения задач, рассматриваемых в данной статье. С учетом вышесказанного, а также тематики статьи, целесообразно выделить следующие макрогруппы физических лиц в прикаспийских регионах России и других стран.

А. Работающее население, которое в той или иной степени связано с выполнением трансграничных перевозок в Каспийском бассейне, в частности выполняет функции «обеспечивающего» характера. При этом особая роль принадлежит руководителям бизнес-структур, органов государственного и муниципального управления, органов охраны правопорядка и пр.

Б. Дети дошкольного возраста, проживающие в прикаспийских регионах России и других стран.

В. Учащиеся школ в этих же регионах.

Г. Учащиеся вузов и средних специальных учебных заведений (колледжей), направления подготовки которых в той или иной степени связаны с обеспечением трансграничных перевозок, рассматриваемых в данной статье.

Д. Нетрудоспособное население, проживающее в тех же регионах (включая неработающих пенсионеров, инвалидов и пр.).

В отношении темы настоящей статьи наибольший интерес представляет группа «А» и, с некоторыми оговорками, группа «Г».

В дальнейшем тексте персонал категории «А», связанный с трансграничными перевозками на Каспии, разделен на ряд групп, которые отличаются в отношении выполняемых функций. При этом автор настоящей статьи руководствовался следующими соображениями:

- количество таких групп персонала должно быть относительно небольшим;
- в каждой из групп должно присутствовать достаточно много «единиц персонала», т.е. физических лиц;
- выделяемые группы должны «покрывать» все направления деятельности, связанные с трансграничными перевозками в Каспийском бассейне (условие «необходимости и достаточности» выделения групп);
- по каждой из групп персонала могут быть сформулированы определенные требования в отношении ИКТ-компетентности, в том числе в отношении номенклатуры программно-аппаратных средств, которыми персонал должен владеть; уровней владения этими средствами.

Основными направлениями ИКТ-компетентности персонала, связанного с трансграничными перевозками на Каспии, будем считать следующие:

- владение узкоспециализированными ПС и программно-аппаратными комплексами, функциональность которых определяется выполняемыми трудовыми функциями;
- знание и умение использовать прикладные ПС общего назначения, включая «офисные пакеты» (в России наиболее распространен Microsoft Office);
- владение телекоммуникационными ПС, включая интернет-браузеры, средства электронной почты, средства организации видеоконференцсвязи, IP-телефонии и пр.;
- владение функциональными возможностями мобильных устройств, включая смартфоны, компьютерные планшеты, диктофоны и пр. (в отношении обеспечения «персональной» голосовой связи, отправки коротких сообщений и пр.);
- умение использовать общесистемные ПС на ЭВМ, включая операционные системы;
- умение применять средства обеспечения информационной безопасности при работе с компьютерным оборудованием, установленным на нем программным обеспечением;
- навыки использования банковских терминалов и аналогичных им других устройств для выполнения платежей, связанных с производственной и бытовой деятельностью, включая выдачу/прием наличных денег, оплаты по квитанциям со штрих-кодами и пр.;
- навыки применения информационных систем «общего пользования», включая терминалы общего доступа, установленные в общественных местах.

Переходим к характеристике выделенных нами групп персонала. При этом мы обращаем особое внимание именно на его ИКТ-компетентность, в том числе в связи с рассматриваемой в статье тематикой (трансграничные перевозки в Каспийском бассейне).

Руководящий персонал. Эту группу лиц целесообразно разделить на ряд подгрупп.

1. Руководители отдельных стран прикаспийского региона, а также тех стран, в интересах которых могут осуществляться перевозки через этот регион.
2. Руководители и высшее управленческое звено различных международных организаций, деятельность которых связана с Каспийским бассейном.
3. Руководители государственных министерств и ведомств, деятельность которых связана с Каспийским регионом.
4. Высшие руководители регионов, а также профильных (в отношении темы данной статьи) министерств.
5. Руководители правоохранительных органов в регионах.
6. Руководители органов муниципального управления в регионах.
7. Руководители коммерческих (включая транснациональные корпорации) структур, в том чис-

ле и с государственным участием.

Для деятельности руководителей важно следующее.

- умение применять средства электронных коммуникаций, включая использование соответствующих ПС;
- умение выполнять публичные доклады с использованием средств презентационной графики, аудиовидеороликов;
- навыки анализа информации, представленной на ЭВМ в наглядном виде – в виде диаграмм, графиков и пр.;
- в некоторых случаях может быть также полезно владение «экспертными системами» соответствующего типа (но только как один из вариантов поддержки принятия решений);
- умение использовать юридические информационно-справочные системы для знакомства с документами-первоисточниками (для руководителей органов государственного управления, международных организаций и пр.).

В то же время использование ПС «тайм-менеджмента», «подготовки презентаций» для докладов, видеороликов и пр. осуществляют обычно их помощники и иные специалисты.

Специалисты в сфере информационно-коммуникационных технологий. Персонал, относящийся к этой группе, может работать как в автономных специализированных организациях ИКТ-направления, так и в организациях других типов.

К автономным специализированным организациям ИКТ-направления мы относим следующие:

- фирмы по разработке специализированного программного обеспечения, в частности предназначенного для поддержки транспортировки людей и грузов;
- организации, занимающиеся продажей ПС общего назначения, включая общесистемные и прикладные ПС;
- организации, занимающиеся внедрением программного обеспечения, в том числе и на основе использования типовых разработок (например, в России это могут быть «типовые конфигурации» разработок фирмы «1С» и ее франчайзинговых организаций в регионах);
- фирмы, занимающиеся продажей и сервисным обслуживанием аппаратных и программно-аппаратных средств, связанных с использованием ИКТ.

К организациям «других типов» будем относить все организации, которые в той или иной степени связаны с выполнением трансграничных перевозок или их обеспечением: органы таможенного и пограничного контроля; морские и речные порты; судостроительные и судоремонтные предприятия; железнодорожные станции; транспортные фирмы; проектные организации, в том числе для сферы транспорта; страховые фирмы; банковские структуры; образовательные организации – вузы, средние специальные учебные заведения, центры профессиональной подготовки специалистов для транспорта и пр.

В общем случае профильные ИКТ-специалисты могут работать как в «автономных организациях ИКТ-направления», так и в организациях «других типов». В последнем случае если такие организации небольшие, то, по крайней мере, в России ИКТ-специалисты могут работать в качестве совместителей. Если «другие организации» достаточно крупные, то в них могут выделяться не только отдельные должности ИКТ-специалистов, но даже и профильные ИКТ-подразделения. Концентрация ИКТ-специалистов в таких подразделениях способствует их более глубокой профессиональной специализации и, как следствие, повышению ИКТ квалификации. Перечислим типичные для России должности ИКТ-специалистов.

❖ Системные администраторы. Специалисты такого направления работают в организациях различных профилей деятельности, но обычно только если эти организации достаточно крупные. Спектр служебных обязанностей таких специалистов может быть достаточно широким – вплоть до несложного ремонта средств вычислительной техники, создания и поддержания работы сайтов организаций. Для этих специалистов необходимо знание общесистемных ПС; навыки инсталлирования операционных систем, прикладных программ на сервера и ПЭВМ конечных пользователей; знание основных функциональных возможностей наиболее широко используемых ПС; обладание необходимыми навыками обеспечения информационной безопасности эксплуатации ПЭВМ; умение использовать основные приемы (и ПС) для диагностики ПЭВМ; умение осуществлять текущее техническое обслуживание ПЭВМ и пр.

❖ Специалисты по локальным вычислительным сетям организаций. Создание и эксплуатация таких сетей требует специальных навыков, которыми не всегда обладают «системные администраторы» общего профиля. Это особенно касается ввода в строй и эксплуатации серверного оборудования. Какой-либо особой специфики, связанной с трансграничными перевозками для специалистов этого профиля, обычно нет. Однако она может возникать, если осуществляется «информационная интеграция» баз данных в вычислительных сетях различных транспортных организаций, в том числе и зарубежных.

❖ Разработчики прикладного программного обеспечения типа «информационных систем», «информационно-аналитических систем», «систем управления базами данных» и т.п. Помимо общих знаний ИКТ-тематики такие специалисты должны представлять себе специфику работы соответствующих транспортных

организаций; источники информации, сведения из которых предполагаются для ввода в такие системы; характер возможных запросов пользователей к таким системам и пр.

❖ Лица, осуществляющие текущую эксплуатацию информационных систем и аналогичных им программных разработок (включая системы, предназначенные для оперативного планирования и контроля перевозок). При этом ввод данных в информационные и информационно-аналитические системы обычно требует от персонала лишь хорошей аккуратности, но невысокой ИКТ-компетентности. Однако применительно к тематике статьи от персонала могут требоваться определенные знания о перевозках в Каспийском бассейне – для выделения нужной информации из потоков сообщений; для исключения ввода в информационные системы сообщений, содержащих с грубые ошибки и пр.

❖ Разработчики сайтов. Такие специалисты сейчас достаточно востребованы, так как даже небольшие организации имеют собственные сайты. При этом создание сайтов требует владения несколько иными ПС по сравнению с созданием информационных и информационно-аналитических систем. В последнее время для специалистов по созданию сайтов также происходит «расщепление» на отдельные специализации: веб-мастера (непосредственно используют ПС); веб-дизайнеры и пр.

❖ Специалисты по эксплуатации сайтов. Они осуществляют главным образом операции, связанные с контент-менеджментом сайтов, могут проводить некоторый анализ востребованности размещенных на сайтах ресурсов. Требуемый уровень ИКТ-компетентности обычно ниже, чем для разработчиков-сайтов. Однако необходимо понимание специфики деятельности транспортных организаций, в том числе для отбора «новостной» информации, размещаемой на сайтах.

Отметим, что в настоящее время многие «информационные системы» специально разрабатываются с возможностями их использования «мобильными пользователями» – с применением сайтов как средства «поддержки» взаимодействия с пользователями.

❖ Специалисты по информационной безопасности. Для этой категории лиц важно прежде всего хорошее владение антивирусными и антиспамовыми ПС, устанавливаемыми на ПЭВМ пользователей и сервера организаций. Для специалистов, обеспечивающих безопасность эксплуатации серверов, необходимо также умение анализировать входящий и исходящий трафик, в том числе для выявления фактов «атак» на сервера путем анализа «протоколов» доступа (логов); «зомбирования» отдельных ПЭВМ для рассылки с них спама и пр. Особые требования предъявляются в отношении обеспечения информационной безопасности сайтов, в т.ч. уровнями владения средствами анализа защищенности сайтов от «атак» извне организации.

Для вузов (и иных образовательных организаций) специально отметим вопросы обеспечения информационной безопасности для систем, обеспечивающих поддержку дистанционного образования, включая использование контрольно-тестовых материалов по учебным курсам.

❖ Специалисты по эксплуатации и ремонту средств вычислительной техники, их модернизации в процессе эксплуатации. Это направление деятельности в транспортных организациях какой-то особой специфики обычно не имеет. Исключением могут быть средства автоматизации деятельности портов, других транспортных организаций.

Приведенная в данном разделе информация в отношении «профилей» ИКТ-специалистов учитывается в рамках учебной деятельности российских вузов. В частности, осуществляется раздельная подготовка специалистов по «Информационным системам и технологиям», «Информатике и вычислительной технике», «Информационной безопасности», «Средствам связи». В дальнейшем это позволяет выпускникам вузов быстрее адаптироваться на рынке труда, найти места работы, соответствующие их знаниям и квалификации.

Кроме того, эти данные учитываются при закупках вузами ПС для использования в учебном процессе, а также получения ПС для использования на основе «академических лицензий».

Дополнительно отметим, что развитие трансграничных перевозок приводит к повышению требований к уровню владения специалистами иностранными языками, прежде всего английским. Это также учитывается в деятельности российских вузов; организаций, осуществляющих прием специалистов на работу.

Персонал организаций, контролирующих трансграничные перемещения средств транспорта, грузов и людей, а также правоохранительных органов. В этой группе целесообразно выделить следующие подгруппы.

А. Персонал пограничных служб, в том числе работающих в морских портах, пунктах пропуска железнодорожного и автомобильного транспорта.

Б. Персонал таможенных служб.

В организациях, соответствующих пунктам «А» и «Б», обычно используются специализированные ПС, в том числе «защищенные информационные системы». Характерным является применение «централизованных» баз данных соответствующих ведомств на основе дистанционного доступа к ним. При этом от лиц, использующих такие базы, требуется не только определенная ИТК-квалификация, но и строгое соблюдение мер информационной безопасности.

При этом для некоторых категорий сотрудников перечисленных типов организаций ограничивается (или исключается) использование в личных целях аккаунтов в социальных сетях, почтовых ящиков в общедоступных системах электронной почты и пр.

В. Структуры, относящиеся к территориальным органам Министерства внутренних дел и Федеральной службы безопасности.

Г. Территориальные органы следственного комитета и прокуратуры.

Д. Судебные органы.

Для тех лиц, которые работают на ПЭВМ в организациях по пунктам «В–Д», также характерно использование специализированных информационных систем «ведомственного характера», необходимость строгого соблюдения мер информационной безопасности. Кроме того, частью персонала рассматриваемых организаций широко используются общераспространенные в России юридические информационно-справочные системы (Консультант Плюс, Гарант, Кодекс и пр.) для доступа к базам данных нормативных документов как федерального характера, так и регионального.

Персонал, связанный со стратегическим планированием трансграничных перевозок в Каспийском бассейне. Выделим следующие подгруппы.

А. Лица, осуществляющие бизнес-планирование. Эта категория лиц, помимо владения ПС общего назначения, должна уметь пользоваться также (в зависимости от конкретной должности) ПС «бизнес-планирования» типа «Бизнес-прогноз», «Бизнес-план Про», «Project Expert», «Project Risk», «Meta Stock», «Deductor Studio». Отметим, что для приведенных русскоязычных программ существуют их многочисленные англоязычные зарубежные аналоги.

Б. Лица, осуществляющие «управление проектами» (главным образом инфраструктурными), в том числе проектами, непосредственно связанными с развитием (обеспечением) трансграничных перевозок в Каспийском бассейне. Для этой категории лиц важное значение имеет умение использовать ПС поддержки методологии «управления проектами». В России наиболее популярным ПС этого направления является Microsoft Project, который осуществляется в вузах. Однако помимо него существуют и иные средства, не устанавливаемые на ПЭВМ или сервера, а используемые по модели SaaS [9], т.е. на внешних ресурсах, размещенных в интернете. Однако в последнем случае приходится учитывать и потенциальные возможности «утечек» информации о планируемых или фактически реализуемых «проектах» через интернет – это может быть важным с позиций информационной безопасности.

В. Специалисты, осуществляющие анализ (изучение) информации, связанной с планированием и выполнением перевозок в Каспийском бассейне, в том числе для консультирования (обеспечения тех лиц, которые принимают решения). В этом случае важное значение имеет владение следующими типами программных средств:

- поддерживающими использование методов DataMining, в том числе применительно к «большим данным», транспортировке грузов и пр.;
- статистического анализа данных;
- прогнозирования, в частности на основе анализа временных рядов;
- в некоторых случаях ПС имитационного моделирования.

Также для специалистов этой группы (а также руководителей) важным может быть владение ПС поддержки принятия решений, в том числе экспертными системами с «корректируемыми базами знаний».

Персонал, обеспечивающий оперативное планирование и управление трансграничными перевозками в Каспийском бассейне. Для персонала этой категории важно владение специализированными ПС, которые часто индивидуальны в каждой крупной компании (корпорации). При этом если в прикаспийских регионах России работают филиалы общероссийских или транснациональных компаний, то они обычно пользуются унифицированными ПС. Для защиты информации, передаваемой между центральными офисами ПС и их филиалами, применяется шифрование данных в той или иной форме.

Ранее для накопления и использования данных персоналом этой категории широко использовались «электронные таблицы», иногда в сочетании с различными программными надстройками. Однако функциональные возможности таких решений обычно являются достаточно ограниченными.

Поэтому в настоящее время используются в основном информационные или информационно-аналитические системы, в том числе представляющие собой результаты выполнения «заказных разработок». В некоторых случаях используются и разработки, построенные на основе «систем управления базами данных», в сочетании с дополнительными программными модулями. Однако приходится отметить, что СУБД MsAccess (которая изучается во многих вузах) сейчас мало используется для построения корпоративных информационных систем.

Персонал портов, автомобильных и железнодорожных станций, грузовых терминалов и аналогичных инфраструктурных объектов. Для лиц этой категории, работающих с ПЭВМ, необходимо владение преимущественно специализированными программными средствами. В то же время в бухгалтериях указанных организаций обычно применяются унифицированные программные решения,

иногда с некоторой доработкой, учитывающей специфику деятельности организаций. Отметим также использование «офисных пакетов» для подготовки текстовых документов, справок, отчетов и пр. К сожалению, несмотря на наличие «систем электронного документооборота», в большинстве российских организаций документооборот носит пока преимущественно «бумажный» характер (включая непосредственное выполнение погрузочно-разгрузочных операций).

Отметим также деятельность стивидорских фирм, отвечающих за размещение грузов на судах. В рамках их деятельности также приходится оформлять достаточно много документов, связанных с загрузкой судов, прохождением таможенных процедур и пр. Однако в настоящее время в большинстве случаев такие документы подготавливаются в рамках использования специализированных информационных систем.

Еще одной категорией «обеспечивающих» организаций являются шипчандлерные фирмы, осуществляющие материально-техническое обеспечение работы судов. Поскольку часть работы их сотрудников осуществляется вне офисов, то для таких лиц важно умение использовать средства связи, мобильные приложения, предназначенные для обеспечения к различным базам данных.

Отметим также персонал сервейорных фирм, осуществляющих контроль состава транспортируемых грузов. Ими используются обычно специализированные ПС, а также программы для оперативной пересылки изображений грузов.

Персонал, непосредственно управляющий различными средствами транспорта, которые выполняют трансграничные перевозки. Эту группу лиц целесообразно разбить на подгруппы – соответственно видам транспорта.

А. Перевозки водным транспортом. Управление морскими судами в настоящее время в значительной степени автоматизировано, используются программно-аппаратные средства типа «авторулевой», позволяющие поддерживать заданный курс (траекторию движения) при различных внешних условиях. Кроме того, использование средств спутниковой навигации (в автоматическом режиме) обеспечивает удобство решения «штурманских задач». Управление работой двигательных установок, систем поддержки температурного режима в трюмах также автоматизировано. Таким образом, для персонала, управляющего судами, важно владение специализированными программными средствами, иногда индивидуальными для каждого из типов судов.

Определенные сложности управление судами может представлять в основном в следующих случаях:

- при движении в портах, и особенно при швартовке судов;
- при прохождении Волго-Каспийского канала в межень (в случае большой осадки судов);
- при движении по рекам, особенно при большом количестве других судов;
- при прохождении шлюзовых камер на Волго-Донском канале.

В этих случаях судоводителями могут использоваться специальные средства наблюдения и сигнализации, причем они основываются на использовании датчиков, видеокамер, компьютерного оборудования и пр.

Б. Перевозки железнодорожным транспортом. Управление движением железнодорожных составов имеет высокий уровень автоматизации и включает в себя оборудование, размещенное как непосредственно на транспортных средствах, так и вне их. Применяются ПС, работающие в «реальном масштабе времени», интегрированные с системами управления светофорами, железнодорожными стрелками и пр.

Для оптимизации управления грузоперевозками используются специализированные ПС формирования грузовых составов, учета вагонов и контейнеров. Отметим также автоматизированный учет вагонов, проходящих через контрольные пункты. В настоящее время он обычно осуществляется на основе использования RFID-меток, однако возможны и иные варианты.

Для продажи билетов пассажирам используются централизованные системы бронирования мест, в том числе и при наличии пересадок в промежуточных пунктах. Это относится и к железнодорожным пассажирским составам, осуществляющим трансграничные перевозки. Такие составы проходят, в частности, через территорию Астраханской области, Республики Дагестан.

От персонала, непосредственно управляющего транспортными средствами, обычно требуется только достаточная концентрация внимания и умение использовать специализированные программные средства, установленные на этих средствах транспорта.

В. Автомобильный транспорт. В настоящее время бортовыми ПЭВМ оснащены не только грузовые автомобили, но даже легковые. Несмотря на высокий «уровень контроля» над единицами автотранспорта со стороны бортовых компьютеров, деятельность водителей большегрузного транспорта является достаточно напряженной – особенно в черте городов и вблизи них. Подчеркнем важность использования «электронных средств навигации», в которые внесена информация о дорогах, развилках, правилах поворота, местах стоянки и пр. Использование таких систем может быть особенно полезным в незнакомых (или малознакомых) для водителей местностях, при пониженной видимости, в ночное время. Также полезной возможностью для водителей является получение через интернет оперативной информации о за-

торах на дорогах, разрушениях автомобильного полотна и пр. Обычно большинство водителей соответствующими ПС пользоваться умеют, так как высокой ИКТ-квалификации это не требует.

Транспортные организации могут осуществлять дистанционный контроль за перемещением своих автотранспортных средств, соблюдением водителями режимов «движения и отдыха».

Г. Воздушный транспорт. Количество авиарейсов между центрами прикаспийских регионов России и других прикаспийских стран в настоящее время относительно невелико. Посадки самолетов из зарубежных стран могут осуществляться только в аэропортах, имеющих «международный» статус, таможенные службы, пограничный контроль и пр.

Управление движением воздушного транспорта автоматизировано. Кроме того, и сами воздушные суда имеют средства автоматизированного управления, в том числе обеспечивающие возможности посадки при неблагоприятных погодных условиях.

От летчиков, управляющих пассажирскими воздушными судами, требуется весьма высокий уровень профессиональной квалификации, причем умение пользоваться автоматизированными системами управления является важной составной частью такой квалификации.

Отметим также развитые автоматизированные системы продажи билетов на самолеты, в том числе с пересадками в промежуточных пунктах. В техническом плане это обеспечивается «информационной интеграцией» систем продажи билетов в различных странах, а также «агентских организаций», работающих с такими системами и осуществляющих непосредственную продажу билетов пассажирам.

Персонал, обеспечивающий необходимые условия эксплуатации средств транспорта. Эту группу целесообразно разбить на подгруппы соответственно видам транспорта.

Для водного транспорта: лица, устанавливающие средства навигации и сигнализации на водных транспортных путях; персонал судов, осуществляющих дноуглубительные работы, в том числе на Волго-Каспийском канале; лоцманы; персонал, работающий на судоремонтных предприятиях.

Для железнодорожного транспорта: лица, обеспечивающие поддержание железнодорожных путей в работоспособном состоянии, включая ремонт путей, обслуживание средств сигнализации и пр.; персонал по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава (тепловозов, электровозов, вагонов).

Для автомобильного транспорта: лица, работающие в службах контроля и управления использованием автомобильных дорог, мостов и пр.; сотрудники станций автосервиса, топливозаправочных станций и пр.

Для воздушного транспорта: сотрудники аэропортов, служб управления воздушным движением и пр.

В большинстве случаев от лиц «рабочих профессий», тех подгрупп, которые рассматриваются в данном разделе, особенно высокая ИКТ-квалификация не требуется. Кроме того, многие лица вообще не используют в своей производственной деятельности ПЭВМ.

Однако от сотрудников служб управления движением (особенно воздушным) требуются навыки работы с информационными системами в реальном масштабе времени, быстрого принятия и реализации решений.

На территориях рассматриваемых в статье трех российских регионов действуют в основном филиалы внерегиональных банков (количество региональных банков невелико, и они небольшие по объемам деятельности). В банках и их филиалах уровень информатизации деятельности традиционно высокий. При этом во всех крупных территориальных подразделениях банков действуют службы, обеспечивающие информационную безопасность деятельности. Отметим также, что использование банками многочисленных «терминалов» для выдачи и приема наличных средств, обслуживания банковских карточек выдвигает повышенные требования не только к уровням ИТК-компетентности персонала, но и к соблюдению норм информационной безопасности. Существенно, что обслуживание банками трансграничных перевозок в Каспийском бассейне требует расширения взаимосвязей с зарубежными партнерами, в том числе с использованием специальных межбанковских компьютерных сетей. Для таких сетей вопросы обеспечения информационной безопасности имеют первостепенную важность – как следствие выдвигаются и соответствующие требования к персоналу, осуществляющему (и контролирующему) такие межбанковские платежи.

Страховые фирмы также участвуют в обеспечении трансграничных перевозок путем страхования рисков, связанных с перемещением грузов. Отметим, что широкое использование в деятельности таких фирм «перестрахования» рисков многочисленными партнерами по страховому бизнесу фактически является методом «распределения рисков». При этом ключевое значение имеет владение персоналом ИКТ в отношении обеспечения оперативных коммуникаций, заключения договоров и пр.

В рассматриваемых регионах организации, осуществляющие «юридическую деятельность», привлекаются для обеспечения трансграничных перевозок лишь в относительно небольших объемах. Большинство персонала таких фирм работают на ПЭВМ, в том числе с офисными ПС, юридическими информационно-справочными системами и пр. Кроме того, может быть существенным умение работать с ПС, обеспечивающим переводы с русского на иностранные языки и наоборот.

Отметим также деятельность «торгово-промышленных палат» в регионах, которые интенсивно используют «электронные коммуникации», компьютерные базы данных.

Физические лица, осуществляющие проектную деятельность, инженерные изыскания для целей строительства. В настоящее время практически все виды проектных работ компьютеризированы. При этом используются различные ПС автоматизированного проектирования – так называемые САД (Computer Aided Design) средства. При этом для различных направлений проектирования характерно применение специализированных САД-систем, библиотек элементов и пр. Существенно, что большинство САД-систем профессионального назначения являются достаточно сложными, требуют высокого уровня ИТК-компетентности пользователей; стоимости их приобретения и периодического обновления также достаточно высокие.

Укажем основные направления проектирования, связанные с развитием трансграничных перевозок в Каспийском бассейне: разработка проектов объектов строительного характера, включая предназначенные для портов, железнодорожных станций и пр.; транспортных магистралей; средств транспорта. На территориях рассматриваемых регионов строительное проектирование осуществляется почти исключительно в отношении тех объектов, которые будут строиться (реконструироваться) на территориях тех же регионов. Проектирование транспортных средств выполняется главным образом в отношении судов, барж, нефтедобывающих платформ и т.п., но не средств автомобильного, железнодорожного или воздушного транспорта.

При этом проектируются и строятся не только суда «морского класса», но и класса «река-море», специально рассчитанные на прохождение Волго-Донского канала, шлюзов на каскаде волжских водохранилищ, Волго-Балтийского канала [40].

Отметим также «программы для составления смет» на объекты строительного характера, включая ПС «Гранд-смета». Использование таких средств обычно осуществляется отдельными специалистами, которые с САД-системами не работают; требует ИТК-квалификации, необходимой для уверенной работы с указанными ПС и их базами данных (федерального характера и региональными).

Владение САД-программами (а также «сметными программами») обычно требует специального обучения. Хотя оно и осуществляется в вузах, но одновременно действуют и некоторые автономные учебные организации, осуществляющие такое обучение заинтересованных лиц на коммерческой основе.

Лица, занимающиеся проектной деятельностью, работают в различных типах организаций: проектных; проектно-строительных; конструкторских бюро и пр. Кроме того, собственные проектные отделы могут быть на машиностроительных предприятиях.

От персонала организаций, занимающихся топографо-геодезическими работами, помимо навыков проведения полевых работ с использованием спутниковых систем позиционирования требуется также умение проводить камеральную обработку результатов на ЭВМ. В свою очередь это требует достаточно высокого уровня ИКТ-компетентности.

При накоплении результатов проведения инженерных изысканий для строительства (например, в трестах инженерно-строительных изысканий) широко используются компьютерные базы данных, средства математической обработки полученных результатов. Поэтому от персонала, работающего на ПЭВМ, требуется достаточно высокий уровень знаний в сфере ИТК.

Персонал строительных организаций, включая дорожно-строительные. В рассматриваемых регионах эта категория лиц достаточно многочисленна, они выполняют строительство новых зданий и сооружений, включая транспортные магистрали, мосты, трубопроводы и пр.; ремонт существующих объектов. Доля лиц в таких организациях, которые непосредственно работают на ПЭВМ, относительно невелика – в основном это офисный персонал.

Персонал машиностроительных организаций. С учетом специфики рассматриваемых в статье регионов для темы статьи наиболее важны судостроительные и судоремонтные предприятия, в том числе изготавливающие платформы для добычи углеводородов на Каспии. На крупных предприятиях может использоваться достаточно сложное станочное оборудование, в том числе основанное на использовании «встроенных» ПС. Офисный персонал, бухгалтерия используют обычный набор программ, предназначенных для решения повседневных задач.

Однако в целом требования к уровню ИТК-компетентности сотрудников рассматриваемой группы организаций (в отношении выполнения ими производственных функций) невысокие.

Лица, осуществляющие выполнение научных исследований, связанных с обеспечением трансграничных перевозок, а также контроль за состоянием природной среды. Для лиц, отнесенных нами к этой группе, необходимые направления ИКТ-компетентности зависят от характера выполняемых ими работ. Во многих случаях может требоваться владение различными ПС статистического анализа данных (сейчас их часто относят к категории Data Mining); прогнозирования параметров процессов и состояния систем; выполнения различных математических расчетов; использования средств имитационного моделирования.

В последнее время все большее значение приобретает использование ПС, поддерживающих методы Visual Mining, в том числе применительно к анализу результатов спутниковых съемок акватории Каспия и прилегающих территорий.

От лиц, занимающихся проведением научных исследований, требуются также следующие умения, связанные с использованием ИКТ: работы с различными базами данных, в том числе в отношении

извлечения из них информации; работы с электронными репозиториями научной и научно-технической информации; подготовки демонстрационных презентаций для выступлений на научных мероприятиях; работы с электронными переводчиками, в частности при подготовке статей для публикации в зарубежных изданиях и пр.

Таким образом, в целом от лиц, занимающихся научной деятельностью, требуется не только достаточно высокий уровень ИТК-компетентности, но и значительное разнообразие таких компетенций, что менее характерно для других направлений деятельности.

В репозитории научной и научно-технической информации попадают обычно лишь вторичные результаты научных исследований [7], в том числе экологического характера. В то же время первичные результаты могут храниться в базах данных научных организаций, в личных компьютерных архивах исследователей.

Актуальными научными задачами, связанными с использованием ИКТ, являются также следующие: разработка специализированных «баз данных» по Каспийскому региону [31]; специализированных информационных систем, в том числе предназначенных для решения задач прогнозного характера – в частности в отношении изменений уровня Каспийского моря [39].

В целом в научном интернет-пространстве региональная тематика, относящаяся к Каспию, в большей степени представлена исследованиями эколого-биологического и рыбохозяйственного характера [7]. При этом часть таких исследований осуществляется в рамках поддержки усилий, направленных на выполнение межгосударственного сотрудничества в области охраны бассейна Каспийского моря [18]. Это касается не только процессов добычи углеводородного сырья в акватории Каспия, но и обеспечения экологической безопасности трансграничных перевозок водным транспортом [28], включая непреднамеренную интродукцию биообъектов, которые ранее в водоеме отсутствовали.

Вопросы «приграничного сотрудничества» регионов, прилежащих к Каспию, в литературе рассматриваются пока в основном на уровне «анализа возможностей» [19]. Между тем эти вопросы являются достаточно актуальными, в том числе в связи с развитием трансграничных перевозок [20, 21].

В рассматриваемых регионах действуют институты и некоторые иные подразделения Российской академии наук. Однако эти подразделения вне прикаспийских стран мало известны [10].

Кроме того, часть исследований на Каспии и в прикаспийских регионах осуществляется академическими институтами России, расположенными вне этих регионов, в форме «экспедиций». Используются также результаты спутниковых съемок, радиоволнового зондирования.

Роль учебных заведений в обеспечении необходимых знаний и умений персонала в области ИТК. Как видно из представленного выше материала, для различных направлений обеспечения трансграничных перевозок в Каспийском бассейне от персонала организаций для выполнения производственных функций требуется владение различными ИТК-компетенциями.

Соответствующие знания и умения могут приобретаться в учебных заведениях (в том числе и в рамках получения «второго» высшего образования); в автономных образовательных центрах, использующих дистанционные формы подготовки; непосредственно на производстве; в порядке самоподготовки на дому. В отношении навыков, связанных с использованием мобильных устройств, отметим также обмен опытом между персоналом при личных контактах, обучение в семьях, самообучение и пр.

Поддержка использования в учебных заведениях различных ПС обеспечивается за счет достаточно значительных расходов (особенно в вузах) на приобретение компьютерной техники и ее эксплуатации; закупку ПС; создание и эксплуатацию локальных вычислительных сетей; разработку и эксплуатацию сайтов; оплату труда ИТК-специалистов. При этом в крупных вузах ИТК-специалисты «сгруппированы» в нескольких подразделениях, имеющих различные профили деятельности.

Таким образом, в отношении оценки ИКТ-компетентности вуза [8] важен ряд факторов: его оснащенность техническими и программными средствами; компетентность профильных специалистов; полнота и качество материалов, используемых для обучения студентов навыкам использования ИКТ в практической деятельности.

Использование учебными заведениями ПС стимулируется тем, что они могут получать такие средства от правообладателей на бесплатной основе или с минимальной оплатой – в том числе за счет использования так называемых «академических лицензий».

В то же время использование в вузах (особенно региональных) дорогостоящих специализированных программно-аппаратных тренажеров по управлению транспортными средствами (и их совокупностями), рыбодобывающими судами в целом не характерно. Такое оборудование используется обычно в специализированных корпоративных учебных центрах.

В рамках двусторонних межвузовских соглашений (а также деятельности ассоциаций/консорциумов вузов, в том числе таких, в которых участвуют вузы различных государств) могут предусматриваться меры взаимной поддержки использования ИКТ; подготовки и повышения квалификации соответствующих специалистов; ознакомления их с особенностями условий деятельности в сфере ИТК в различных странах. В связи с этим отметим, что «глобализация» мировой экономики во многом

определяется и унификацией к использованию ИКТ в различных странах; применением аналогичных программных средств или ПС с близкой функциональностью.

Также полезной для развития трансграничных перевозок является поддержка межвузовской мобильности студентов, прежде всего обучающихся по специальностям, связанным с развитием трансграничных перевозок [43], применением ИТК для поддержки таких перевозок.

Отметим, в частности, что 12 декабря 2018 г. был создан Консорциум высших учебных заведений прикаспийского региона в транспортно-логистической сфере. Этот консорциум может рассматриваться как новая форма сетевого сотрудничества и межрегиональной интеграции научных и образовательных организаций с целью развития кадрового и научно-технического потенциала, инновационного и кадрового обеспечения в сфере логистики и управления транспортно-логистическими комплексами.

Создание таких консорциумов может рассматриваться как важное средство расширения сетевого взаимодействия вузов [22]. При этом существенно, что ИТК позволяют успешно обеспечивать сетевое взаимодействие в дистанционном режиме.

Выводы.

1. Развитие трансграничных перевозок в Каспийском бассейне требует наличия достаточного количества персонала с различными специализациями профессиональной деятельности. При этом уровень ИКТ-компетентности является важной компонентой квалификации работников, использующих по роду своей деятельности ПЭВМ или устройства мобильного доступа к информационным системам, базам данных и пр.

2. В настоящее время ИКТ-компетентность является также важным фактором развития профессиональных коммуникаций между специалистами. Это в ряде случаев является критичным для обеспечения эффективности трансграничных перевозок, принятия и реализации оперативных решений.

3. На государственном уровне поддержка приобретения и углубления ИКТ-компетенций населением стран Каспийского бассейна осуществляется в основном косвенным образом – через финансирование деятельности образовательных организаций, обеспечивающих формирование необходимых навыков в сфере ИКТ. Это характерно не только для России, но и других прикаспийских стран.

4. С позиций отдельных организаций (компаний, фирм) эффективность затрат на развитие ИКТ-инфраструктуры, обеспечение ИКТ-компетентности персонала определяется повышением качества и своевременности принятия/реализации решений, снижением долей неоптимальных или ошибочных решений/действий, в том числе относящихся к обеспечению трансграничных перевозок людей и грузов.

5. С позиций отдельных физических лиц денежные затраты (а также трудозатраты) на обеспечение (повышение) ИКТ-компетентности, а также актуализацию имеющихся умений и навыков, оправдываются за счет повышения конкурентоспособности на рынке труда, расширения возможностей «служебного продвижения» и пр.

6. В настоящее время на интернет-ресурсах в бесплатном доступе находится достаточно большой объем материалов, которые могут быть использованы для повышения ИКТ-компетентности персонала организаций, связанных с развитием трансграничных перевозок в Каспийском бассейне.

7. Обеспечение компетентности персонала и организаций в сфере информационной безопасности является важным фактором обеспечения эффективности выполнения трансграничных перевозок в Каспийском бассейне.

Библиографический список

1. Абдулатипов М. А. Роль и проблемы зимней навигации в Волго-Каспийском бассейне / М. А. Абдулатипов, В. К. Калачев, И. К. Кузьмичев // Морской вестник. – 2015. – № 3 (55). – С. 107–108.
2. Администрация морских портов Каспийского моря – сайт Федерального государственного бюджетного учреждения. – Режим доступа: <http://special.ampastra.ru/statistika/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.01.2019).
3. Ануфриева Л. П. Международное частное право : в 3 т. / Л. П. Ануфриева. – Москва : БЕК, 2002. – Т. 2. Особенная часть. – 656 с.
4. Баженов Ю. Международные транспортные коридоры как фактор интеграции пространства Евразии / Ю. Баженов // Русская народная линия. – 2012, 15 мая. – Режим доступа: http://ruskline.ru/analitika/2012/05/31/mezhdunarodnye_transportnye_koridory_kak_faktor_integracii_prostranstva_evrazii, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).
5. Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/10108585/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.04.2019).
6. Балиев А. Международный транспортный «коридор партнёрства»: из Индии через Иран и Кавказ – в Россию и Европу / А. Балиев. – Режим доступа: <http://vpoanalytics.com/2018/01/31/mezhdunarodnyj-transportnyj-koridor-partnyorstva-iz-indii-cherez-iran-i-kavkaz-v-rossiyu-i-evropu/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.04.2019).
7. Брумштейн Ю. М. Анализ влияния информационно-коммуникационных технологий на структуру создаваемой в России научно-технической информации / Ю. М. Брумштейн // Научно-техническая информация. Сер. 1. Организация и методика информационной работы. – 2016. – № 12. – С. 7–17.

8. Брумштейн Ю. М. ИКТ-компетентность регионального вуза: системный анализ влияющих факторов и подходов к оценкам / Ю. М. Брумштейн, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 3. – С. 153–162.
9. Брумштейн Ю. М. Сравнительный анализ функциональности программных средств управления проектами, распространяемых по модели SaaS / Ю. М. Брумштейн, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4. – С. 34–51.
10. Брумштейн Ю. М. Анализ структуры сайтов Академий Наук некоторых зарубежных стран / Ю. М. Брумштейн, Н. В. Васильев // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. – 2019. – № 1 – С. 9–24.
11. Брумштейн Ю. М. Одно- и многомерные временные ряды: анализ возможных методов оптимизации отсчетов и оценки характеристик / Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 4. – С. 35–44.
12. Винницкий Д. В. Правовой режим трансграничных инвестиций в государствах прикаспийского региона / Д. В. Винницкий // Российское право: образование, практика, наука. – 2017. – № 5 (101). – С. 70–78.
13. Выступление В. Путина на Пятом каспийском саммите. 12.08.2018. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/58296>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Глушков С. В. Планирование ледокольных проводок судов в Волго-Каспийском бассейне / С. В. Глушков // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 56. – С. 112–119.
15. Интегрированная транспортная система / под науч. рук. П. Чистякова. – Москва : Центр стратегических разработок, 2018. – 278 с.
16. Крошнев В. Единая система информационно-навигационного обеспечения транспортных коридоров / В. Крошнев // Логистика. – 2015. – № 4 (101). – С. 16–21.
17. Кузьмина А. Б. Анализ опыта управления ИТ-компетентностью юридических и физических лиц в некоторых зарубежных странах / А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 63–76.
18. Мамедова Я. М. Межгосударственное сотрудничество в области охраны бассейна Каспийского моря / Я. М. Мамедова // Наука сегодня: история и современность : материалы Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 53–54.
19. Мамешина Н. С. Возможности приграничного сотрудничества стран Каспийского бассейна / Н. С. Мамешина // Дневник АШПИ. – 2016. – № 32. – С. 310–311.
20. Маркелов К. А. Процессы интеграции прикаспийских государств и их приморских территорий: системный анализ источников и структуры информации / К. А. Маркелов, Ю. М. Брумштейн, В. Г. Головин // Вестник Евразийской науки. – 2018. – № 5. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/26ECVN518.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус., англ.
21. Маркелов К. А. Стратегические приоритеты развития российского транспортного узла Каспийского бассейна / К. А. Маркелов // Российский экономический интернет-журнал. – 2018. – № 3. – С. 44.
22. Маркелов К. А. Сетевое взаимодействие университетов как форма региональной интеграции прикаспийских государств / К. А. Маркелов // Вестник Атырауского университета нефти и газа. – 2018. – № 4 (48). – С. 12–19.
23. Маркелов К. А. Место и роль России и прикаспийских стран в энергетике и экономике мира / К. А. Маркелов, В. П. Зволинский. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2017. – 249 с.
24. Маркелов К. А. Стратегические приоритеты развития российского транспортного узла Каспийского бассейна / К. А. Маркелов // Российский экономический интернет-журнал. – 2018. – № 3. – Режим доступа: <http://www.e-rej.ru/Articles/2018/Markelov.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
25. Маркелов К. А. Черноморско-Каспийский регион: от геополитики к геоэкономике транспортных систем / К. А. Маркелов, Р. Х. Усманов, В. Г. Головин // Каспийский регион: политика, экономика, культура. – 2019. – № 1 (58). – С. 74–88.
26. Миротин Л. Б. Транзитный потенциал Каспийского водного бассейна / Л. Б. Миротин, С. М. Федосеенко, Е. А. Лебедев, Е. Е. Чеховская // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2016. – № 3. – С. 172–178.
27. Миротин Л. Б. Организация транспортного обеспечения транзитных грузопотоков юга России / Л. Б. Миротин, Е. А. Лебедев, С. М. Федосеенко, М. А. Тихомиров // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2016. – № 3. – С. 241–247.
28. Новиков В. К. Экологическая безопасность трансграничных перевозок водным транспортом / В. К. Новиков // Российское пограничье: социально-политические и инфраструктурные проблемы : материалы Всероссийской научно-практической конференции / Институт географии РАН. – 2016. – С. 154–165.
29. Патракеева О. Ю. Инфраструктурные ограничения и перспективы развития транспортных связей на юге России / О. Ю. Патракеева, Р. А. Ялмаев // Региональная экономика. Юг России. – 2018. – № 3. – С. 99–106.
30. Проект Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года : письмо Минэкономки РФ от 27.07.2018. – Режим доступа: https://www.spsss.ru/assets/files/2018/v-nts_strategiya-prostranstvennogo-razvitiya.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
31. Родкин М. В. Комплексная база данных по Каспийскому региону для геофизических и геоэкологических исследований : отчет о НИР № 95-07-19378 / М. В. Родкин ; Российский фонд фундаментальных исследований. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=220303>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
32. Садыкова Э. Ф. Развитие международного сотрудничества России со странами Каспийского бассейна в туристско-рекреационной сфере и морском пассажирском сообщении / Э. Ф. Садыкова // Региональная экономика и управление : электронный научный журнал. – 2016. – № 4 (48). – С. 521–529.

33. Садыков Э. А., Садыкова Э. Ф. Перспективы модернизации международного транспортного коридора «Север – Юг» в контексте реализации стратегии развития российских морских портов в Каспийском бассейне // Транспортное дело России. – 2018. – № 3. – С. 23–25.
34. Симонова Т. Обзор грузооборота морских портов России. Итоги 2017 года / Т. Симонова. – Режим доступа: <https://aftershock.news/?q=node/611093&full>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.04.2019).
35. Соглашение между Правительствами прикаспийских государств о сотрудничестве в области транспорта (г. Актау, 12 августа 2018 года) : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 июля 2018 г. – № 1585-р.
36. Стратегия развития российских морских портов в Каспийском бассейне, железнодорожных и автомобильных подходов к ним в период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 ноября 2017 г. – № 2469-р.
37. Тебекин А. В. Проблемы развития внешнеэкономической деятельности, определяемые условиями осуществления трансграничных автомобильных перевозок / А. В. Тебекин // Транспортное дело России. – 2016. – № 3. – С. 127–130.
38. Тучков Э. В., Ульяницкий Е. М., Филоненков А. И. Телекоммуникационные и информационные технологии для повышения провозной способности системы «железнодорожная станция – порт» / Э. В. Тучков, Е. М. Ульяницкий, А. И. Филоненков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2003. – № 1. – С. 69–73.
39. Федоров В. М. Создание информационной системы для анализа и прогнозирования притока речных вод в Каспийское море : отчет о НИР № 96-07-89282 / В. М. Федоров, Г. Х. Исмаилов, Е. В. Лазарева, М. Ю. Лисицын, Г. Ф. Сурикова, М. К. Филимонова ; Российский фонд фундаментальных исследований. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_230350_89660165.htm, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
40. Фомин В. Г., Алянчикова Г. Ю. Суда «река-море» плавания для развития транспортных связей каспийских государств с бассейнами Балтийского, Черного и Средиземного морей / В. Г. Фомин, Г. Ю. Алянчикова // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2017 : труды X Международной конференции : в 2 т. / под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. – 2017. – С. 473–479.
41. Чижков Ю. В. Международные транспортные коридоры – коммуникационный каркас экономики / Ю. В. Чижков // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 5 (60). – С. 9–15.
42. Шодыраева Ш. К. Рынок морских грузовых перевозок на Каспийском море / Ш. К. Шодыраева // Актуальные вопросы экономических наук. – 2010. – № 12-1. – С. 213–216.
43. Knight J. Student Mobility and Internationalization: Trends and Tribulations / J. Knight // Research in Comparative and International Education. – 2012. – Vol. 7, № 1. – P. 20–33.
44. Togan S. The silk road: past and present / S. Togan // Проблемы востоковедения. – 2015. – № 3 (69). – С. 31–37.

References

1. Abdulatipov M. A., Kalachev V. K., Kuzmichev I. K. Rol i problemy zimney navigatsii v Volgo-Kaspiyskom bassejne [A role and problems of winter navigation in the Volga-Caspian Basin]. *Morskoy vestnik* [The Sea Bulletin], 2015, № 3 (55), pp. 107–108.
2. *Administratsiya morskikh portov Kaspiyskogo morya – sayt Federalnogo gosudarstvennogo byudzhnogo uchrezhdeniya* [Administration of seaports of the Caspian Sea – the website of Federal State Budgetary Institution]. Available at: <http://special.ampastra.ru/statistika/> (accessed 10.04.2019).
3. Anufrieva L. P. *Mezhdunarodnoe chastnoe pravo : v 3 t. T. 2. Osobennaya chast* [International private law : in 3 vol. Vol. 2. Special part]. Moscow, BEK Publ., 2002. 656 p.
4. Bazhenov Yu. Mezhdunarodnye transportnye koridory kak faktor integratsii prostranstva Yevrazii [International transport corridors as factor of integration of space of Eurasia]. *Russkaya narodnaya liniya* [Russian peoples line], 2012, 15 May. Available at: http://ruskline.ru/analitika/2012/05/31/mezhdunarodnye_transportnye_koridory_kak_faktor_integratsii_prostranstva_evrazii (accessed 20.03.2019).
5. *Bazelskaya konventsiya o kontrole za transgranichnoy perevozkoj opasnykh otkhodov i ikh udaleniem* [Basel convention on monitoring over cross-border transportation of hazardous waste and their deleting]. Available at: <https://base.garant.ru/10108585/> (accessed 10.04.2019).
6. Baliev A. Mezhdunarodnyy transportnyy «koridor partnerstva»: iz Indii cherez Iran i Kavkaz – v Rossiyu i Yevropu [International transport “corridor of partnership”: from India through Iran and the Caucasus – to Russia and Europe]. Available at: <http://vpoanalytics.com/2018/01/31/mezhdunarodnyj-transportnyj-koridor-partnyorstva-iz-indii-cherez-iran-i-kavkaz-v-rossiyu-i-evropu/> (accessed 10.04.2019).
7. Brumshteyn Yu. M. Analiz vliyaniya informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy na strukturu sozda-vaemoy v Rossii nauchno-tekhnicheskoy informatsii [The analysis of influence of information and communication technologies on structure of the scientific and technical information created in Russia]. *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 1. Organizatsiya i metodika informatsionnoy raboty* [Scientific and Technical Information. Series 1. Organization and technique of information work], 2016, no. 12, pp. 7–17.
8. Brumshteyn Yu. M., Kuzmina A. B. IKT-kompetentnost regionalnogo vuza: sistemnyy analiz vliyayushchikh faktorov i podkhodov k otsenkam [ICT competence of regional higher education institution: systems analysis of contributing factors and approaches to estimates]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies]. Astrakhan, 2012, no. 3, pp. 153–162.
9. Brumshteyn Yu. M., Dyudikov I. A. Sravnitelnyy analiz funktsionalnosti programmnykh sredstv upravleniya proektami, rasprostranyaemykh po modeli SaaS. [The comparative analysis of functionality of the control software projects

distributed on the SaaS model]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 4, pp. 34–51.

10. Brumshteyn Yu. M., Vasilev N. V. Analiz struktury saytov Akademiy Nauk nekotorykh zarubezhnykh stran [Analysis of structure of the websites of Academies of Sciences of some foreign countries]. *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2. Informatsionnye protsessy i sistemy* [Scientific and Technical Information. Series 2. Information processes and systems], 2019, no. 1, pp. 9–24.

11. Brumshteyn Yu. M., Ivanova M. V. Odno- i mnogomernye vremennyye ryady: analiz vozmozhnykh metodov optimizatsii otschetov i otsenki kharakteristik [One- and multivariate time series: analysis of possible methods of optimization of counting and assessment of characteristics]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2012, no. 4, pp. 35–44.

12. Vinnitskiy D. V. Pravovoy rezhim transgranichnykh investitsiy v gosudarstvakh prikaspiy-skogo regiona [A legal regime of cross-border investments in the states of the Caspian region]. *Rossiyskoe pravo: obrazovanie, praktika, nauka* [Russian Law: Education, Practice, Science], 2017, no. 5 (101), pp. 70–78.

13. Vystuplenie V. Putina na Pyatom kaspiyskom sammite. 12.08.2018 [V. Putin's performance at the Fifth Caspian summit. 12.08.2018]. Available at: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/58296> (accessed 10.04.2019).

14. Glushkov S. V. Planirovanie ledokolnykh provodok sudov v Volgo-Kaspiyskom bassejne [Planning of ice-breaker assistance to vessels in the Volga-Caspian Basin]. *Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta* [The Bulletin of the Volga State Academy of the Water Transport], 2018, no. 56, pp. 112–119.

15. *Integrirovannaya transportnaya sistema* [The integrated transport system]. Ed. by P. Chistyakov. Moscow, Tsentr strategicheskikh razrabotok Publ., 2018. 278 p.

16. Kroshnev V. Yedinaya sistema informatsionno-navigatsionnogo obespecheniya transportnykh koridorov [Single system of information and navigation transport corridors support]. *Logistika* [Logistics], 2015, no. 4 (101), pp. 16–21.

17. Kuzmina A. B. Analiz opyta upravleniya IT-kompetentnostyu yuridicheskikh i fizicheskikh lits v nekotorykh zarubezhnykh stranakh [Analysis of experience of control of IT competence of legal entities and individuals in some foreign countries]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 63–76.

18. Mamedova Ya. M. Mezhsosudarstvennoe sotrudnichestvo v oblasti okhrany basseyna Kaspiyskogo morya [Interstate cooperation in a protection of the basin of the Caspian Sea]. *Nauka segodnya: istoriya i sovremennost' : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science today: history and present : Materials of the International Scientific and Practical Conference], 2017, pp. 53–54.

19. Mameshina N. S. Vozmozhnosti prigranichnogo sotrudnichestva stran Kaspiyskogo basseyna [The Possibilities of border cooperation of the Caspian Basin countries]. *Dnevnik Altayskoy shkoly politicheskikh issledovaniy* [Diary of Altay School of Political Researches], 2016, no. 32, pp. 310–311.

20. Markelov K. A., Brumshteyn Yu. M., Golovin V. G. Protsessy integratsii prikaspiyskikh gosudarstv i ikh primorskikh territoriy: sistemnyy analiz istochnikov i struktury informatsii [Processes of integration of the Caspian states and their seaside territories: systems analysis of sources and structure of information]. *Vestnik Yevraziyskoy nauki* [Messenger of the Eurasian Science], 2018, no. 5. Available at: <https://esj.today/PDF/26ECVN518.pdf>.

21. Markelov K. A. Strategicheskie priority razvitiya rossiyskogo transportnogo uzla Kaspiyskogo basseyna [Strategic priorities of development of the Russian transport hub of the Caspian basin]. *Rossiyskiy ekonomicheskii internet-zhurnal* [Russian Economic Online Journal], 2018, no. 3, p. 44.

22. Markelov K. A. Setevoye vzaimodeystvie universitetov kak forma regionalnoy integratsii prikaspiyskikh gosudarstv [Network interaction of the universities as form of regional integration of the Caspian states]. *Vestnik Atyrauskogo universiteta nefii i gaza* [Bulletin of the Atyrau University of Oil and Gas], 2018, no. 4 (48), pp. 12–19.

23. Markelov K. A., Zvolinskiy V. P. *Mesto i rol Rossii i prikaspiyskikh stran v energetike i ekonomike mira* [The place and a role of Russia and the Caspian countries in power engineering and economy of the world]. Astrakhan, Publishing House "Astrakhan University", 2017. 249 p.

24. Markelov K. A. Strategicheskie priority razvitiya rossiyskogo transportnogo uzla Kaspiyskogo basseyna [Strategic priorities of development of the Russian transport hub of the Caspian Basin] [Electronic resource]. *Rossiyskiy ekonomicheskii internet-zhurnal* [Russian Economic Online Journal], 2018, no. 3. Rezhim dostupa: <http://www.e-rej.ru/Articles/2018/Markelov.pdf>. Date of access 10.04.2019

25. Markelov K. A., Usmanov R. Kh., Golovin V. G. Chernomorsko-kaspiyskiy region: ot geopoliti k geoeconomike transportnykh sistem [The Black Sea and Caspian region: from geopolitics to geo-economics of the transport systems]. *Kaspiyskiy region: politika, ekonomika, kultura* [The Caspian Region: Policy, Economy, Culture], 2019, no. 1 (58), pp. 74–88.

26. Mirotn L. B., Fedoseenko S. M., Lebedev Ye. A., Chekhovskaya Ye. Ye. Tranzitnyy potentsial Kaspiyskogo vodnogo basseyna [Transit capacity of the Caspian water basin]. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Scientific Works of the Kuban State Technological University], 2016, no. 3, pp. 172–178.

27. Mirotn L. B., Lebedev Ye. A., Fedoseenko S. M., Tikhomirov M. A. Organizatsiya transportnogo obespecheniya tranzitnykh gruzopotokov yuga Rossii [Organization of transport service of transit freight traffics of the South of Russia]. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Scientific Works of the Kuban State Technological University], 2016, no. 3, pp. 241–247.

28. Novikov V. K. Ekologicheskaya bezopasnost transgranichnykh perevozok vodnym transportom [Environmental safety of cross-border transportations by the water transport]. *Rossiyskoe pograniche: sotsialno-politicheskie i infrastrukturnye problemy : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Institut geografii RAN [Russian border zone: socio-political and infrastructure problems : Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Institute of geography of RAS], 2016, pp. 154–165.

29. Patrakeeva O. Yu., Yalmaev R. A. Infrastrukturnye ogranicheniya i perspektivy razvitiya transportnykh svyazey na yuge Rossii [Infrastructure restrictions and perspectives of development of transport communications in the south of Russia]. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii* [Regional economy. South of Russia], 2018, no. 3, pp. 99–106.
30. *Proekt Strategii prostranstvennogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda : pismo Minekonomiki RF ot 27.07.2018* [Project of Strategy of spatial development of the Russian Federation until 2025 : letter of the Ministry of Economics of the Russian Federation of 27.07.2018]. Available at: https://www.spss.ru/assets/files/2018/vnts_strategiya-prostranstvennogo-razvitiya.pdf
31. Rodkin M. V. *Kompleksnaya baza dannykh po Kaspiyskomu regionu dlya geofizicheskikh i geo-ekologicheskikh issledovaniy : otchet o NIR № 95-07-19378* [The complex database on the Caspian region for geophysical and geo-ecological surveys : the report on research no. 95-07-19378]. The Russian Fund of Fundamental Researches. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=220303> (accessed 10.04.2019).
32. Sadykova E. F. Razvitie mezhdunarodnogo sotrudnichestva Rossii so stranami Kaspiyskogo basseyna v turistsko-rekreatsionnoy sfere i morskom passazhirskom soobshchenii [Development of the international cooperation of Russia with the countries of the Caspian basin in the tourist and recreational sphere and sea passenger traffic]. *Regionalnaya ekonomika i upravlenie : elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Regional Economy and Control : online scientific journal], 2016, no. 4 (48), pp. 521–529.
33. Sadykov E. A., Sadykova E. F. Perspektivy modernizatsii mezhdunarodnogo transportnogo koridora “Sever – Yug” v kontekste realizatsii strategii razvitiya rossiyskikh morskikh portov v Kaspiyskom bassejne [Perspectives of upgrade of the international transport corridor “the North – the South” in the context of implementation of the development strategy of the Russian seaports in the Caspian Basin]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport Business of Russia], 2018, no. 3, pp. 23–25.
34. Simonova T. *Obzor gruzooborota morskikh portov Rossii. Itogi 2017 goda* [Review of goods turnover of sea-ports of Russia. Totals of 2017]. Available at: <https://aftershock.news/?q=node/611093&full> (accessed 10.04.2019).
35. *Soglasenie mezhdru Pravitelstvami prikaspiyskikh gosudarstv o sotrudnichestve v oblasti transporta (g. Aktau, 12 avgusta 2018 goda) : utverzhdeno rasporyazheniem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 31 iyulya 2018 g. № 1585-r* [The agreement between the Governments of the Caspian states on cooperation in transport (Aktau, August 12, 2018) : is approved by the instruction of the Government of the Russian Federation of July 31, 2018 no. 1585-r].
36. *Strategiya razvitiya rossiyskikh morskikh portov v Kaspiyskom bassejne, zheleznodorozhnykh i avtomobilnykh podkhodov k nim v period do 2030 goda (utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 8 noyabrya 2017 g. № 2469-r)* [The development strategy of the Russian seaports in the Caspian basin, railway and automobile approaches to them during the period till 2030 (it is approved by the instruction of the Government of the Russian Federation of November 8, 2017 no. 2469-r)].
37. Tebekin A. V. Problemy razvitiya vneshneekonomicheskoy deyatel'nosti, opredelyayemye usloviyami osushchestvleniya transgranichnykh avtomobilnykh perevozok [The problems of development of foreign economic activity determined by conditions of implementation of cross-border automobile transportations]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport Business of Russia], 2016, no. 3, pp. 127–130.
38. Tuchkov E. V., Ulyanitskiy Ye. M., Filonenkov A. I. Telekommunikatsionnye i informatsionnye tekhnologii dlya povysheniya provoznoy sposobnosti sistemy «zheleznodorozhnaya stantsiya-port» [Telecommunication and information technologies for increase in carrying ability of the “railway station-the port” system]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [The Bulletin of the Rostov State Transport University], 2003, no. 1, pp. 69–73.
39. Fedorov V. M., Ismaylov G. Kh., Lazareva Ye. V., Lisitsyn M. Yu., Surikova G. F., Filimonova M. K. *Sozdanie informatsionnoy sistemy dlya analiza i prognozirovaniya pritoka rechnykh vod v Kaspiyskoe more : otchet o NIR № 96-07-89282* [Creation of an information system for the analysis and prediction of inflow of river waters to the Caspian Sea : the report on research no. 96-07-89282]. Russian Federal Property Fund. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_230350_89660165.htm (accessed 10.04.2019).
40. Fomin V. G., Alyanchikova G. Yu. Cuda «reka-more» plavaniya dlya razvitiya transportnykh svyazey kaspiyskikh gosudarstv s basseynami Baltiyskogo, Chernogo i Sredizemnogo morey [The float vessels “river sea” for development of transport communications of the Caspian states with basins of the Baltic, Black and Mediterranean Seas]. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem MLSD'2017 : trudy X Mezhdunarodnoy konferentsii* [Control of development of large-scale systems MLSD'2017 : Proceedings of the X International Conference], in 2 vol., ed. by S. N. Vasilyev, A. D. Tsvirkun. 2017, pp. 473–479.
41. Chizhkov Yu. V. Mezhdunarodnye transportnye koridory – kommunikatsionnyy karkas ekonomiki [The international transport corridors - a communication frame of economy]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2015, no. 5 (60), pp. 9–15.
42. Shodyraeva Sh. K. Rynok morskikh gruzovykh perevozok na Kaspiyskom more [The market of sea freight transportation on the Caspian Sea]. *Aktualnye voprosy ekonomicheskikh nauk* [Relevant Problems of Economic Sciences], 2010, no. 12-1, pp. 213–216.
43. Knight J. Student Mobility and Internationalization: Trends and Tribulations [Student Mobility and Internationalization: Trends and Tribulations]. *Research in Comparative and International Education* [Research in Comparative and International Education], 2012, vol. 7, no. 1, pp. 20–33.
44. Togan S. The silk road: past and present [The silk road: past and present]. *Problemy vostokovedeniya* [Oriental Studies Problems], 2015, no. 3 (69), pp. 31–37.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 004.942

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЫБРОСОВ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ С УЧЕТОМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОГО ВОЗДУХА АВТОТРАНСПОРТОМ

Статья поступила в редакцию 13.02.2019, в окончательном варианте – 20.02.2019.

Цвиркун Анатолий Данилович, Институт проблем управления Российской академии наук, 117997, Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65,

доктор технических наук, профессор, e-mail: tsvirkun@ipu.ru

Кушелева Екатерина Вадимовна, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 410012, Российская Федерация, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, аспирант, e-mail: kushelvae@mail.ru

Резчиков Александр Федорович, Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, 410028, Российская Федерация, Саратов, ул. Рабочая, 24,

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, e-mail: iptmuran@san.ru

Кушникова Елена Вадимовна, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 410054, Российская Федерация, г. Саратов, ул. Политехническая, 77,

кандидат технических наук, e-mail: lkushnikova@gmail.com

Иващенко Владимир Андреевич, Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, 410028, Российская Федерация, Саратов, ул. Рабочая, 24,

доктор технических наук, профессор, e-mail: iptmuran@san.ru

Кушников Вадим Алексеевич, профессор, Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, 410028, Российская Федерация, Саратов, ул. Рабочая, 24,

доктор технических наук, e-mail: kushnikoff@yandex.ru

С ростом промышленного производства увеличивается вероятность техногенных аварий, связанных с неконтролируемыми выбросами химически опасных веществ в окружающую среду. Это обуславливает необходимость прогнозирования возможных последствий химического загрязнения среды, особенно воздуха. Поскольку значительное количество промышленных объектов находится в черте городов, то при оценке последствий таких выбросов необходимо учитывать уже существующий уровень загрязнения городских территорий вредными химическими веществами и соединениями. Они могут образовываться, например, в процессе функционирования автотранспорта. Все это делает актуальным разработку математического обеспечения для систем экологического контроля и мониторинга, позволяющего прогнозировать последствия выбросов химически опасных веществ в атмосферу с учетом регулярного загрязнения городского воздуха автотранспортом. Целью статьи является разработка математической модели, позволяющей на различных временных интервалах, с учетом параметров внешней среды и нелинейных взаимосвязей между прогнозируемыми переменными, количественно оценить последствия выбросов химически опасных веществ в атмосферу. Используемые методы: на основе математического аппарата системной динамики для описания исследуемого объекта построена система нелинейных дифференциальных уравнений, численное решение которой выполнено с помощью метода Рунге – Кутты 4-го порядка. Научная новизна статьи связана с разработкой комплексной математической модели для прогнозирования основных характеристик выбросов химически опасных веществ с учетом существующего загрязнения воздуха вблизи автомагистралей. Адекватность модели проверялась путем сравнения расчетных значений моделируемых характеристик с экспериментальными данными. Среднее значение относительных погрешностей в узлах моделирования для каждой характеристики не превышает 13 %, что подтверждает адекватность модели. Разработанное математическое обеспечение может быть использовано при модернизации информационных систем прогнозирования последствий выбросов химически опасных веществ, а также в тренажерных системах для обучения оперативно-диспетчерского персонала МЧС.

Ключевые слова: городская среда, химически опасные вещества, выбросы в атмосферу, распространение в атмосфере, последствия выбросов, загрязнение воздуха автотранспортом, здоровье населения, математическое моделирование, система дифференциальных уравнений

Графическая аннотация (Graphical annotation)



**MODEL FOR PREDICTING THE CONSEQUENCES OF AN ACCIDENT
WITH THE RELEASE OF CHEMICALLY HAZARDOUS SUBSTANCES INTO THE ATMOSPHERE,
TAKING INTO ACCOUNT REGULAR AIR POLLUTION BY AUTOTRANSPORT**

The article was received by editorial board on 13.02.2019, in the final version – 20.02.2019.

Tsvirkun Anatolij D., Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 65 Profsoyuznaya St., Moscow, 117997, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: tsvirkun@ipu.ru

Kusheleva Ekaterina V., Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov, 410012, Russian Federation,

post-graduate student, e-mail: kushelevae@mail.ru

Rezchikov Alexander F., Institute of Precision Mechanics and Control of Russian Academy of Sciences, 24 Rabochaya St., Saratov, 410028, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, e-mail: iptmuran@san.ru

Kushnikova Elena V., Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St., Saratov, Russian Federation, 410054,

Cand. Sci. (Engineering), e-mail: lkushnikova@gmail.com

Ivashhenko Vladimir A., Institute of Precision Mechanics and Control of Russian Academy of Sciences, 24 Rabochaya St., Saratov, 410028, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: iptmuran@san.ru

Kushnikov Vadim A., Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, 24 Rabochaya St., Saratov, 410028, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: kushnikoff@yandex.ru

With the growth of industrial production increases the likelihood of man-made accidents associated with uncontrolled emissions of chemically hazardous substances into the environment. This necessitates the prediction of the possible effects of chemical contamination. Since a significant number of industrial facilities are located within the city limits, when assessing the effects of such emissions, it is necessary to take into account the already existing level of contamination of urban areas with harmful chemicals and compounds. They can be formed, for example, during the operation of a vehicle. All this makes the development of mathematical software for environmental monitoring and monitoring systems relevant, which makes it possible to predict the effects of emissions of chemically hazardous substances into the atmosphere, taking into account the regular pollution of urban air by road transport. The purpose of the article is to develop a mathematical model that allows for various time intervals, taking into account the parameters of the environment and non-linear relationships between the predicted variables, to quantify the effects of emissions of chemically dangerous substances into the atmosphere. Methods used: on the basis of the mathematical apparatus of system dynamics, a system of nonlinear differential equations was constructed to describe the object under study, the numerical solution of which was performed using the 4th order Runge – Kutta

method. The scientific novelty of the article is connected with the development of an integrated mathematical model for predicting the main characteristics of emissions of chemically hazardous substances, taking into account the existing air pollution near highways. The adequacy of the model was tested by comparing the calculated values of the simulated characteristics with experimental data. The average value of the relative errors in the modeling nodes for each characteristic does not exceed 13 %, which confirms the adequacy of the model. The developed software can be used for upgrading information systems for predicting the effects of emissions of chemically hazardous substances, as well as in simulator systems for training the operational dispatching personnel of the Emergencies Ministry.

Key words: urban environment, chemically dangerous substances, bursts in the atmosphere, distribution in the atmosphere, consequences of bursts, air pollution by motor transport, health of the population, mathematical simulation, system of differential equations

Введение. В связи с ростом промышленного производства во всем мире увеличивается вероятность возникновения техногенных аварий, связанных с неконтролируемым выбросом химически опасных веществ в окружающую среду. Такие аварии являются одним из возможных видов опасных техногенных катастроф. В большинстве случаев они приводят к отравлению, а иногда и гибели людей, к тяжелым экологическим последствиям.

Для повышения эффективности ликвидации последствий выбросов в атмосферу химически опасных веществ необходимо иметь возможность прогнозирования характеристик выбросов, влияющих на величину ущерба. Осуществление прогнозирования позволяет подготовиться к чрезвычайным ситуациям (ЧС), разработать планы необходимых действий, дает возможность смягчить последствия химических аварий, снизить риск тяжелых экологических последствий и потерь среди населения [7–9].

Теоретическое обоснование принципов функционирования систем экологического мониторинга и управления было осуществлено в работах таких отечественных и зарубежных ученых, как Г.И. Марчук [10], Ю.Б. Гермейер [4], Н.Н. Моисеев [11], М.Е. Берлянд [2], F.Gifford [21], F. Pasquill [27], D. Haugen [24] и др. Тем не менее в настоящее время в специальной литературе отсутствуют методологические указания и разработки систем управления, осуществляющих поддержку принятия решений, на основании прогнозирования основных характеристик последствий аварийных выбросов на промышленных объектах, находящихся в черте города.

Программы серии «Эколог» [12], получившие значительное распространение (например, при проведении проектных работ в сфере строительства), также не позволяют оценить изменение во времени основных характеристик последствий выброса химически опасных веществ на промышленном объекте, определенных в соответствии с ГОСТ Р 22.1.10-2002 [1] с учетом большого количества положительных и отрицательных, линейных и нелинейных обратных связей, существующих между характеристиками загрязнения окружающей среды.

С учетом того, что большое количество промышленных объектов находится в черте городов, необходимо учитывать экологическую загрязненность их воздушных бассейнов. Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в городах являются автотранспортные магистрали, и особенно заторы на них. Поэтому при разработке моделей необходимо учитывать, что часть населения регулярно находится вблизи или на автомобильных магистралях (в том числе по пути на работу и с работы); вдыхает загрязненный воздух, в том числе связанный с заторами на автомагистралях. В свою очередь это негативно влияет на здоровье людей и приводит к увеличению их восприимчивости к негативным воздействиям других химических веществ; снижению иммунитета к инфекционным заболеваниям; общему увеличению заболеваемости, в том числе и неинфекционного характера.

Исходя из этого, в статье предложена математическая модель, основанная на системной динамике [18]. Она позволяет на различных временных интервалах и с учетом параметров внешней среды определять моделируемые характеристики воздушной среды.

Математическая модель. При разработке математической модели в соответствии с ГОСТ Р 22.1.10-2002 [1] в качестве основных характеристик последствий выброса химически опасных веществ на промышленном объекте были выбраны следующие параметры: X_1 – время испарения химически опасных веществ в районе аварии с поверхности земли; X_2 – время ликвидации последствий аварии на химически опасном объекте; X_3 – площадь заражения в результате аварии; X_4 – время подхода первичного и/или вторичного облака к населенным пунктам; X_5 – количество пораженных от первичного облака, чел.; X_6 – количество пораженных от вторичного облака, чел.; X_7 – количество получивших амбулаторную помощь, чел.; X_8 – количество размещенных в стационаре и реанимации, чел.; X_9 – количество пораженной техники, ед.; X_{10} – количество объемов растворов для обеззараживания местности; X_{11} – количество сил и средств, необходимых для проведения аварийно-спасательных работ; X_{12} – эффективность системы оповещения, %.

Факторы внешней среды, влияющие на скорость изменения значений основных характеристик модели: F_1 – общее количество выброшенных химически опасных веществ на объекте при аварии; F_2 – количество персонала на химически опасном объекте; F_3 – скорость ветра; F_4 – температура воздуха; F_5 – время до начала оповещения населения; F_6 – численность населения, проживающего на зараженной территории; F_7 – количество убежищ.

С учетом того, что большое количество промышленных объектов находится в черте города или в непосредственной близости от населенных пунктов, необходимо учитывать экологические условия жизни населения в городах. В крупных городах одним из основных источников атмосферных загрязнителей является автомобильный транспорт. В связи с увеличением количества автотранспорта (при невозможности во многих случаях увеличения пропускной способности дорог) все более усугубляется проблема автомобильных заторов; растет их количество; продолжительность и протяженность; количество остановившихся единиц автотранспорта, у которых продолжают работать двигатели. В результате длительных заторов происходит массированный выброс загрязнителей в атмосферу. При этом особую опасность представляют выбросы от грузового автотранспорта (в том числе тяжелых грузовиков) и многоместных автобусов междугородного сообщения.

Наиболее остро проблема загрязнения воздуха автотранспортом ощущается в жилых массивах, размещенных на прилегающих к автомагистралям территориях; вблизи перекрестков автомагистралей. При этом зеленые насаждения вдоль автодорог не могут осуществлять «очистку» воздуха в осенне-зимний период, по крайней мере, в средней полосе и на севере России.

Из-за постоянных заторов люди, живущие или работающие вблизи автодорог, регулярно дышат воздухом с большим содержанием вредных веществ, включая двуокись азота, тетраэтилсвинец, угарный газ и пр. Это негативно воздействует на их дыхательные пути и весь организм в целом.

Отметим, что сами люди в силу привычки к загрязненному воздуху могут чувствовать себя удовлетворительно и за медицинской помощью не обращаться. Однако указанная часть населения городов становится более восприимчивой к негативным воздействиям других химических веществ, причем последствия таких воздействий могут быть усугублены ослабленным состоянием людей.

Указанную часть населения необходимо учитывать при построении математической модели. Для этого вводится дополнительная характеристика X_{13} – количество людей, подвергавшихся регулярному воздействию выбросов от автомобильного транспорта, включая выбросы, связанные с заторами, и внешний фактор F_8 – размер территории, для которой в воздухе регулярно наблюдаются повышенные концентрации вредных веществ, попавших в атмосферу в результате работы моторов автомобилей, в том числе стоящих в заторах.

Расчетная схема данной модели основана на использовании системно-динамического подхода. Он получил значительное распространение при имитационном моделировании режимов функционирования сложных систем и анализе эффективности различных сценариев их развития [20, 22–23, 25–26, 28–32].

При использовании математического аппарата системной динамики для описания исследуемого объекта осуществляется построение системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = X_i^+(t) - X_i^-(t), i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $X_i^+(t)$, $X_i^-(t)$, $\overline{1, n}$ – непрерывные или кусочно-непрерывные функции, определяющие положительную и отрицательную скорость изменения значения характеристики $X_i(t)$, $X_i^-(t) = f_i^-(F_1, F_2, \dots, F_m)$, $X_i^+(t) = f_i^+(F_1, F_2, \dots, F_m)$; F_j , $j = \overline{1, m}$ – факторы, влияющие на скорость изменения значения характеристики [3].

На основе анализа взаимосвязей между исследуемыми характеристиками аварии на химически опасном объекте был построен ориентированный граф причинно-следственных связей (рис. 1).

При построении графа использовался набор знаков и правил, традиционно применяемых для графического описания моделей системной динамики, а сам рисунок был построен в среде программного обеспечения Anylogic 8.3.2, предназначенного для выполнения моделирования.

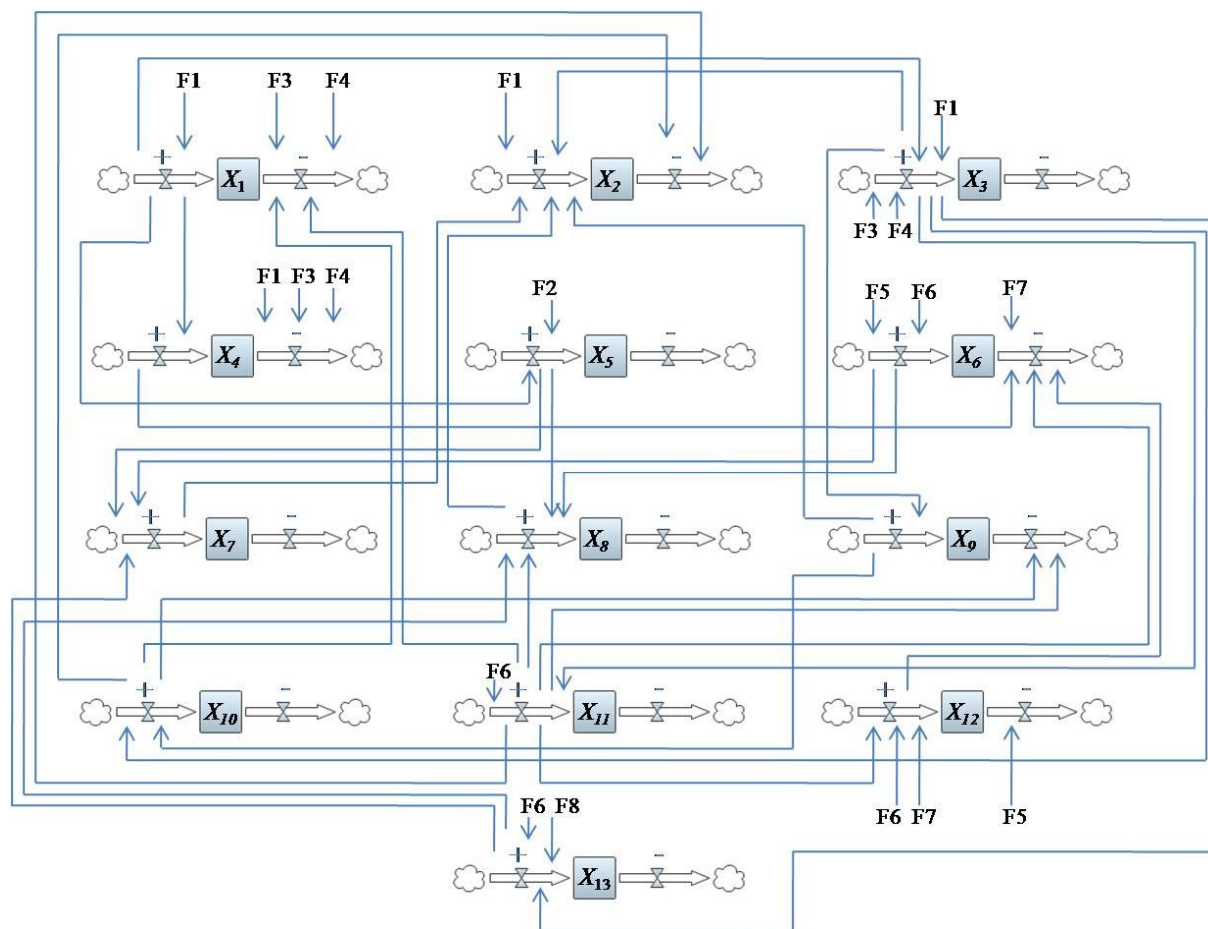


Рисунок 1 – Граф причинно-следственных связей между характеристиками аварии на химически опасном объекте

При разработке математической модели для каждой характеристики $X_i(t), i = \overline{1,13}$ необходимо построить уравнение вида (1). Например, для переменной X_3 дифференциальное уравнение (1) имеет вид:

$$\frac{dX_3(t)}{dt} = X_3^+(t) + X_3^-(t) = f_3^+(X_1(t), F_1, F_3, F_4),$$

где f_3^+ – функциональная зависимость площади заражения от времени испарения химически опасных веществ в районе аварии с поверхности земли; общего количества выброшенных химически опасных веществ на объекте; скорости ветра; температуры воздуха.

Аналогично составляются уравнения и для других переменных.

С учетом вышеизложенного общий вид математической модели, используемой для прогнозирования последствий аварий на химически опасных объектах, имеет следующий вид:

$$\begin{cases}
 \frac{dX_1(t)}{dt} = \frac{1}{X_1^{\max}} \left(f_1^+(F_1) - f_1^-(X_{10}(t), X_{11}(t), F_3, F_4) \right), \\
 \frac{dX_2(t)}{dt} = \frac{1}{X_2^{\max}} \left(f_2^+(X_3(t), X_7(t), X_8(t), X_9(t), F_1) - f_2^-(X_{10}(t), X_{11}(t)) \right), \\
 \frac{dX_3(t)}{dt} = \frac{1}{X_{31}^{\max}} \left(f_3^+(X_1(t), F_1, F_3, F_4) \right), \\
 \frac{dX_4(t)}{dt} = \frac{1}{X_4^{\max}} \left(f_4^+(X_1(t)) - f_4^-(F_1, F_3, F_4) \right), \\
 \frac{dX_5(t)}{dt} = \frac{1}{X_5^{\max}} \left(f_5^+(X_1(t), F_2) \right), \\
 \frac{dX_6(t)}{dt} = \frac{1}{X_6^{\max}} \left(f_6^+(F_5, F_6) - f_6^-(X_4(t), X_{11}(t), X_{12}(t), F_7) \right), \\
 \frac{dX_7(t)}{dt} = \frac{1}{X_7^{\max}} \left(f_7^+(X_5(t), X_6(t), X_{13}(t)) \right), \\
 \frac{dX_8(t)}{dt} = \frac{1}{X_8^{\max}} \left(f_8^+(X_5(t), X_6(t), X_{11}(t), X_{13}(t)) \right), \\
 \frac{dX_9(t)}{dt} = \frac{1}{X_9^{\max}} \left(f_9^+(X_3(t)) - f_9^-(X_{10}(t), X_{11}(t)) \right), \\
 \frac{dX_{10}(t)}{dt} = \frac{1}{X_{10}^{\max}} \left(f_{10}^+(X_3(t), X_9(t)) \right), \\
 \frac{dX_{11}(t)}{dt} = \frac{1}{X_{11}^{\max}} \left(f_{11}^+(X_3(t), F_6) \right), \\
 \frac{dX_{12}(t)}{dt} = \frac{1}{X_{12}^{\max}} \left(f_{12}^+(X_{11}(t), F_6, F_7) - f_{12}^-(F_5) \right), \\
 \frac{dX_{13}(t)}{dt} = \frac{1}{X_{13}^{\max}} \left(f_{13}^+(X_3(t), F_6, F_8) \right)
 \end{cases} \quad (2)$$

Система уравнений (2) решается при начальных условиях $t_0 = 0$, $X_i(t_0) = X_{i0}$, $i = \overline{1,13}$.

При проведении вычислительных экспериментов для решения (2) использовалась среда программного обеспечения Mathworks MATLAB R2017b, позволяющая реализовать расчетные схемы метода Рунге – Кутты четвертого порядка с автоматическим выбором шага. Это обеспечило требуемую точность определения моделируемых характеристик. Функциональные зависимости $f_i^{+/-}$, $i = \overline{1,13}$ определяются в процессе адаптации модели к конкретному процессу выбросов химических веществ и строятся на основе статистических данных. При отсутствии статистически значимой информации предлагается пользоваться соответствующими зависимостями, определенными исходя из анализа накопленного опыта специалистов и физического смысла решаемой задачи.

Модельный пример. На промышленном объекте одного из городов РФ произошёл разлив 27 т. хлора [14]. Газовое облако при температуре воздуха $t = -1^\circ\text{C}$ и скорости ветра 1 м/с проникло на глубину до 7,5 км в жилой район с плотностью населения 2500 чел/км².

Очаг фактического заражения подразделялся на следующие секторы (табл. 1).

Таблица 1 – Секторы очага фактического загрязнения.

Степень загрязнения	Величина сектора, км ²	Кол-во пострадавших чел.
Слабозагрязненная территория	3,2	7900
Сектор с умеренным загрязнением	1,1	2737
Сектор со средней плотностью загрязнения	0,6	1436
Сектор с сильным загрязнением	0,2	429

Площадь очага фактического загрязнения составила 5 км², на этой площади проживали 12 500 жителей.

На рисунке 2 изображена примерная схема распространения хлора в воздушной среде в результате выброса.

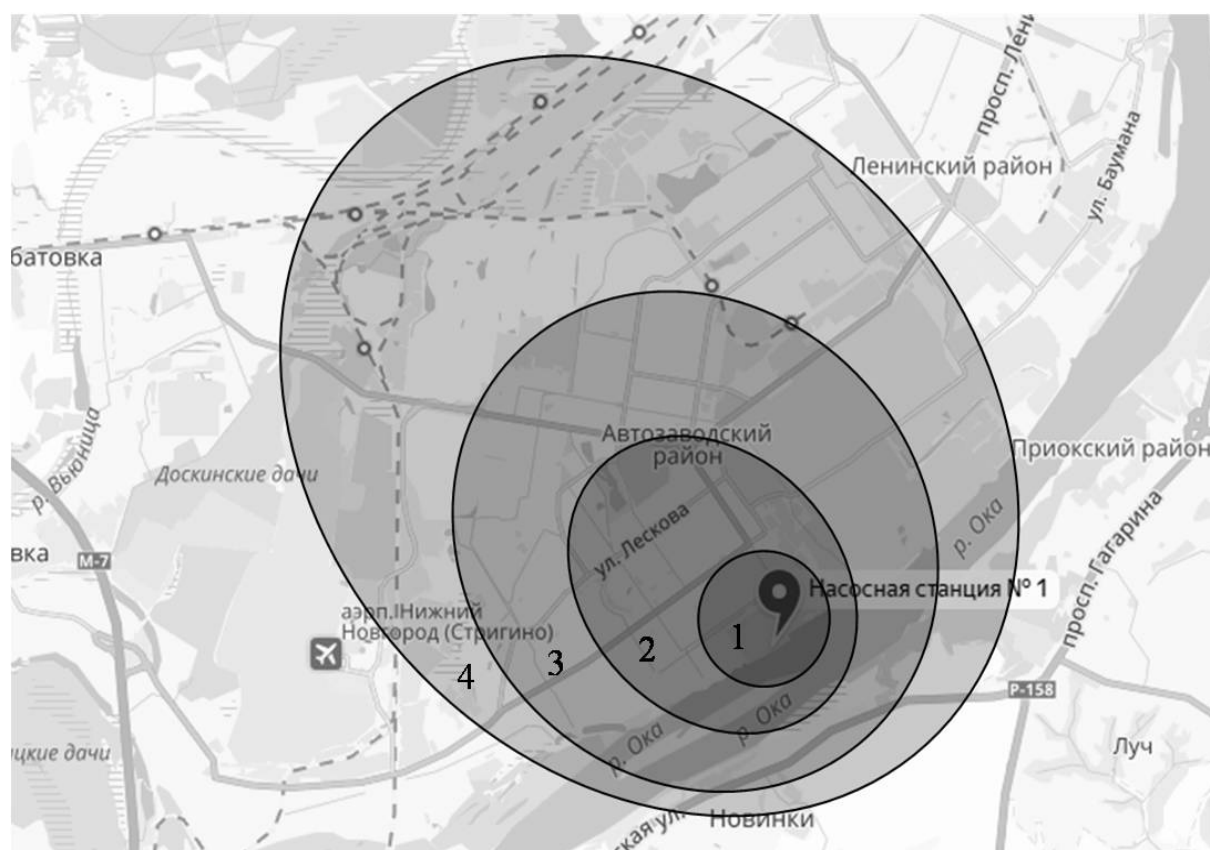


Рисунок 2 – Схема распространения хлора по территории города; 1, 2, 3, 4 – номера секторов очага загрязнения в соответствии с таблицей 1

Построение функций $f_i^{+/-}$, $i=1,13$. Функциональные зависимости $f_i^{+/-}$, $i=1,13$ строятся отдельно для каждого конкретного случая выброса в зависимости от специфики прогнозируемого объекта. В данной работе рассматривается построение указанных зависимостей для выбранного модельного примера.

В частности, функция $f_{10}^+(X_3(t), F_6)$, характеризующая скорость изменения переменной X_{10} , выбрана как прямо пропорциональная зависимости от площади зоны заражения $X_3(t)$ и численности населения в зоне заражения F_6 , что соответствует экспериментальным данным. Произведение факторов $X_3(t)$ и F_6 возводится в степень «0.5», что обеспечивает наиболее точное совпадение с реальными результатами. Таким образом, искомая зависимость имеет вид:

$$f_{10}^+ = k_{10}^+ \sqrt{X_3 F_6}.$$

Зависимости $f_i^{+/-}$, $i=1,13$ для предложенного примера выброса химически опасного вещества в атмосферу представлены в таблице 2.

Коэффициенты $k_i^{+/-}$, $i=1,13$ определяются на этапе адаптации модели к объекту исследования посредством вычислительного эксперимента.

Таблица 2 – Аналитический вид функций f_i^+ , f_i^- , используемых для расчета характеристик последствий выброса химически опасных веществ в атмосферу

f_1^+	$k_1^+ F_1^{0,8} k_1^+ = 0,03$	f_7^+	$k_7^+ (X_5(t) + X_6(t))^{0,6} X_{13}(t) k_7^+ = 0,7$
f_1^-	$k_1^- \frac{X_{10}(t)X_{11}(t)}{F_3 F_4} k_1^- = -0,05$	f_8^+	$k_8^+ (X_5(t) + X_6(t))^{0,7} X_{11}(t)X_{13}(t) k_8^+ = 0,25$
f_2^+	$k_2^+ X_3(t)(X_7(t) + X_8(t))X_9(t)F_1^{0,8} k_2^+ = 0,12$	f_9^+	$k_9^+ X_3(t) k_9^+ = 0,81$
f_2^-	$k_2^- X_{10}(t)X_{11}(t) k_2^- = -0,31$	f_9^-	$k_9^- X_{10}(t)X_{11}(t) k_9^- = 0,75$
f_3^+	$k_3^+ \frac{F_1^{0,8} F_3 F_4}{X_1(t)^{2,9}} k_3^+ = -2,2 \cdot 10^{-6}$	f_{10}^+	$k_{10}^+ (X_3(t)X_9(t))^{0,2} k_{10}^+ = 1,15$
f_4^+	$k_4^+ X_1(t) k_4^+ = 1,1$	f_{11}^+	$k_{11}^+ \sqrt{X_3(t)F_6} k_{11}^+ = 0,06$
f_4^-	$k_4^- F_1^{0,8} F_3 F_4 k_4^- = -0,07$	f_{12}^+	$k_{12}^+ \frac{X_{11}(t)F_7}{F_6} k_{12}^+ = 305,5$
f_5^+	$k_5^+ \frac{F_2}{X_1(t)^{2,1}} k_5^+ = 0,03$	f_{12}^-	$k_{12}^- \frac{1}{F_5} k_{12}^- = -0,003$
f_6^+	$k_6^+ F_3 F_6 k_6^+ = 0,05$	f_{13}^+	$k_{12}^- X_3(t)^{0,5} F_6 F_8 k_{13}^+ = 0,025$
f_6^-	$k_6^- \frac{X_4(t)}{X_{11}(t)X_{12}(t)F_7} k_6^- = 0,08$		

Расчет фактора F_8 . Для расчета фактора F_8 необходимо определить площадь территории, где регулярно наблюдаются повышенные концентрации вредных веществ, попавших в атмосферу в результате работы моторов автотранспортных средств. При этом мы акцент делаем на рассмотрении машин с работающими двигателями, которые стоят в заторах. Причина – именно в этом случае загрязнение воздуха оказывается наиболее сильным, в том числе из-за высокой концентрации «источников загрязнения». При этом далее предполагается учет только единиц автотранспорта с бензиновыми и дизельными двигателями. Двигателями на метане оснащено пока относительно мало единиц автотранспорта, а электромобили на российских дорогах пока практически не встречаются.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать математическую модель, представленную в [6].

Моделирование проводится в два этапа.

На первом этапе необходимо определить количество, местоположения и интенсивность источников эмиссии вредных веществ, т.е. автотранспортных средств, стоящих в заторе с работающими двигателями.

Выбирается исследуемый участок дороги с автомобильным затором, его длина и средняя загруженность. На основании этих данных рассчитывается количество автотранспортных средств.

Сначала определяется максимально возможное количество транспорта. Для этого исследуемый участок делится на блоки, состоящие из автомобилей и расстояний, необходимых для соблюдения необходимой дистанции между автотранспортными средствами (рис. 3).

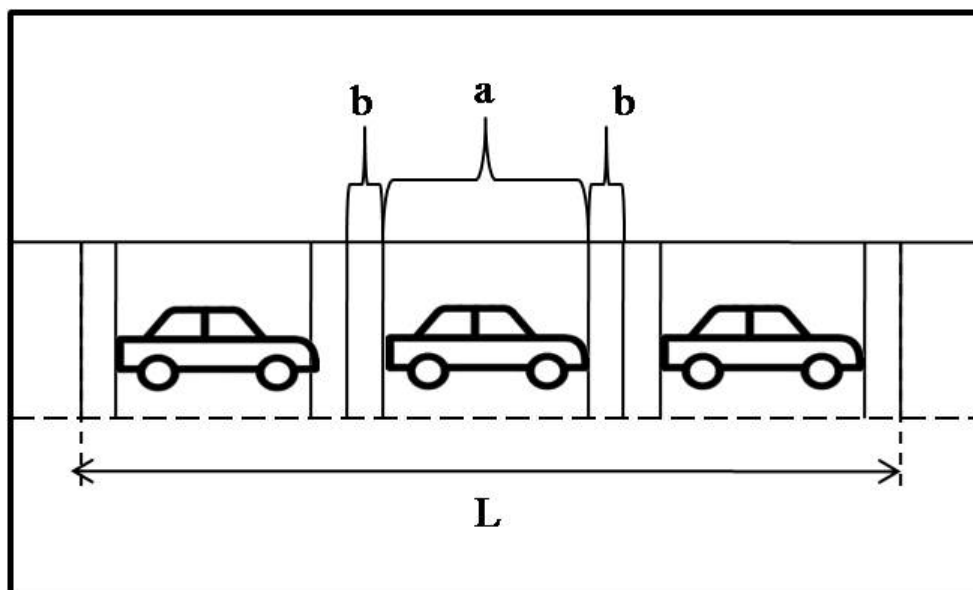


Рисунок 3 – Разделение участка дороги на блоки: L – длина выбранного участка дороги (м); a – средняя длина автотранспортного средства (м); b – половина необходимого интервала между автомобилями (м)

Максимальное количество автомобилей на исследуемом участке $K_{\max}$ можно рассчитать по формуле:

$$K_{\max} = L / (a + 2b).$$

Зная значение загруженности Z рассматриваемого участка дороги экологически вредным автотранспортом, можем определить количество машин-загрязнителей $K_{\text{авт}}$ по формуле:

$$K_{\text{авт}} = ZK_{\max} / 100.$$

Местонахождение загрязняющего атмосферу транспорта на дороге определяется распределением дискретной случайной величины. Так выявляется положение точечных статичных источников эмиссии загрязнений (рис. 4).

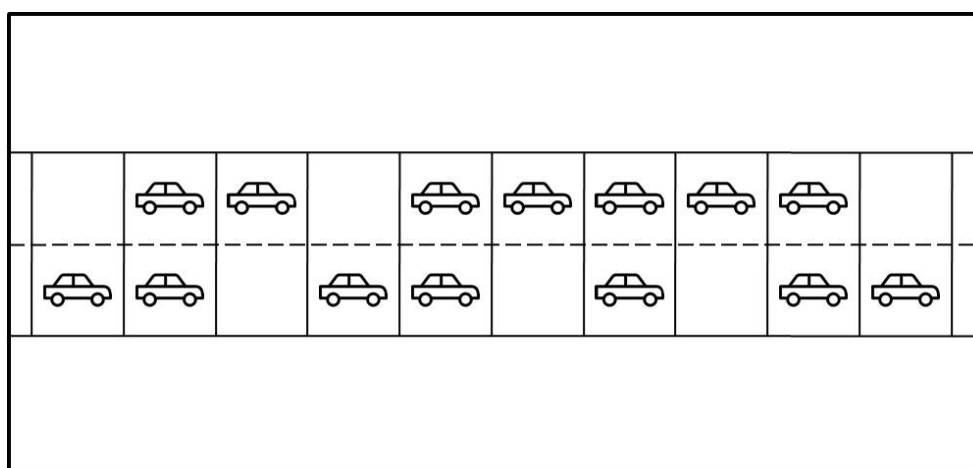


Рисунок 4 – Пример расположения автотранспорта, загрязняющего атмосферу, на участке дороги. $K_{\max} = 20$; $Z = 70\%$; $K_{\text{авт}} = 14$.

Доля единиц грузового транспорта и многоместных автобусов в потоке городского автотранспорта зависит от многих факторов: площади и величины населения города, степени его индустриального развития, туристической привлекательности, наличия развитой сети автобусного сообщения и многих других. Она может быть определена, например, в результате статистических исследований интенсивности движения различных видов городского автотранспорта, включая личные автомашины граждан. В этом случае при проведении расчетов можно использовать средневзвешенные значения мощностей выбросов легкового и грузового транспорта, а также многоместных автобусов.

Кроме того, зная интенсивности движения легковых, грузовых автомобилей, автобусов, автопоездов в физических единицах, можно привести грузовой транспорт к легковому через коэффициенты приведения, пользуясь следующей формулой:

$$N_{\text{тр.п}} = N_{\text{л}} + N_{\text{г}} \cdot K_{\text{пр.г}} + N_{\text{а}} \cdot K_{\text{пр.а}} + N_{\text{п}} \cdot K_{\text{пр.п}},$$

где $N_{\text{л}}$, $N_{\text{г}}$, $N_{\text{а}}$, $N_{\text{п}}$ – соответственно интенсивности движения легковых, грузовых автомобилей, автобусов, автопоездов в физических единицах; $K_{\text{пр.г}}$, $K_{\text{пр.а}}$, $K_{\text{пр.п}}$ – коэффициенты приведения для грузовых автомобилей, автобусов, автопоездов (легковой автомобиль – 1; грузовые до 2 т – 1,5; автопоезда до 12 т – 3,5; автобусы – 2,5; троллейбусы – 3,0 [16]).

Необходимо принимать во внимание наличие на дорогах электротранспорта, например, троллейбусов, которые, в отличие от автотранспорта, не загрязняют воздух, но способствуют возникновению заторов.

На втором этапе решения задачи определяется концентрация поллютантов от автотранспорта в контролируемых точках. В качестве моделирующего уравнения используем уравнение массопереноса [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial c}{\partial z} - \alpha c + \\ + Q_s(t) \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s), \end{aligned} \quad (3)$$

где c – искомая концентрация токсичного вещества; x , y , z – координаты точки расчета по осям абсцисс, ординат и аппликата соответственно; t – время; u , v , w – проекции вектора средней скорости перемещения вещества на оси абсцисс, ординат и аппликата соответственно; α – коэффициент изменения концентрации вещества из-за химических превращений; k_x , k_y , k_z – составляющие коэффициента обмена по осям x , y , z , соответственно; Q_s – интенсивность выброса токсичного вещества; $\delta(x - x_s)$ – дельта-функция Дирака; x_s , y_s , z_s – координаты источника эмиссии токсичного вещества.

Уравнение (3) должно быть дополнено начальным и тремя граничными условиями по каждой из пространственных координат:

$$\begin{aligned} c(t = 0, x, y, z) &= \theta(x, y, z), \\ c &\rightarrow 0 \text{ при } |x| \rightarrow \infty, \\ c &\rightarrow 0 \text{ при } |y| \rightarrow \infty, \\ c &\rightarrow 0 \text{ при } z \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Для численного решения уравнения (3) используется явная разностная схема 1-го порядка по времени [13, 15, 17], аппроксимирующая уравнение (3) в точке $c(t^n, x_i, y_j, z_k)$ в виде:

$$\begin{aligned} \frac{c_{i,j,k}^{n+1} - c_{i,j,k}^n}{\Delta t} + \frac{c_{i,j,k}^n - c_{i-1,j,k}^n}{\Delta x} \left(u_{i,j,k} - \frac{dk_x}{dx} \right) + \frac{c_{i,j,k}^n - c_{i,j-1,k}^n}{\Delta y} \left(v_{i,j,k} - \frac{dk_y}{dy} \right) + \\ + \frac{c_{i,j,k}^n - c_{i,j,k-1}^n}{\Delta z} \left(w_{i,j,k} - \frac{dk_z}{dz} \right) = k_x \frac{c_{i+1,j,k}^n - 2c_{i,j,k}^n + c_{i-1,j,k}^n}{\Delta x^2} + \\ + k_y \frac{c_{i,j+1,k}^n - 2c_{i,j,k}^n + c_{i,j-1,k}^n}{\Delta y^2} + k_z \frac{c_{i,j,k+1}^n - 2c_{i,j,k}^n + c_{i,j,k-1}^n}{\Delta z^2} - \alpha c_{i,j,k}^n + \\ + Q_s(n) \delta(x_i - x_s) \delta(y_j - y_s) \delta(z_k - z_s). \end{aligned} \quad (4)$$

Это дает расчетное соотношение для $c_{i,j,k}^{n+1}$ в виде:

$$\begin{aligned} c_{i,j,k}^{n+1} = (k_x \frac{c_{i+1,j,k}^n - 2c_{i,j,k}^n + c_{i-1,j,k}^n}{\Delta x^2} + k_y \frac{c_{i,j+1,k}^n - 2c_{i,j,k}^n + c_{i,j-1,k}^n}{\Delta y^2} + \\ + k_z \frac{c_{i,j,k+1}^n - 2c_{i,j,k}^n + c_{i,j,k-1}^n}{\Delta z^2} - \alpha c_{i,j,k}^n + Q_s(n) \delta(x_i - x_s) \delta(y_j - y_s) \delta(z_k - z_s) - \\ - \frac{c_{i,j,k}^n - c_{i-1,j,k}^n}{\Delta x} \left(u_{i,j,k} - \frac{dk_x}{dx} \right) - \frac{c_{i,j,k}^n - c_{i,j-1,k}^n}{\Delta y} \left(v_{i,j,k} - \frac{dk_y}{dy} \right) - \\ - \frac{c_{i,j,k}^n - c_{i,j,k-1}^n}{\Delta z} \left(w_{i,j,k} - \frac{dk_z}{dz} \right) \Delta t + c_{i,j,k}^n. \end{aligned}$$

Явная конечно-разностная схема (4) является условно устойчивой в отношении шага по времени. Условие ее устойчивости приведено в [5]. При проведении вычислительных экспериментов реализация разностной схемы, как и на первом этапе решения задачи, была осуществлена в среде программного обеспечения Mathworks MATLAB R2017b.

Для определения направления ветра используются данные о «розе ветров» соответствующей местности.

Например, при регулярном автомобильном заторе протяженностью 0,3 км и «розе ветров», изображенной на рисунке 5, прогнозируемая территория, на которой наблюдаются регулярные повышения концентрации NO_2 , представлена на рисунке 6.

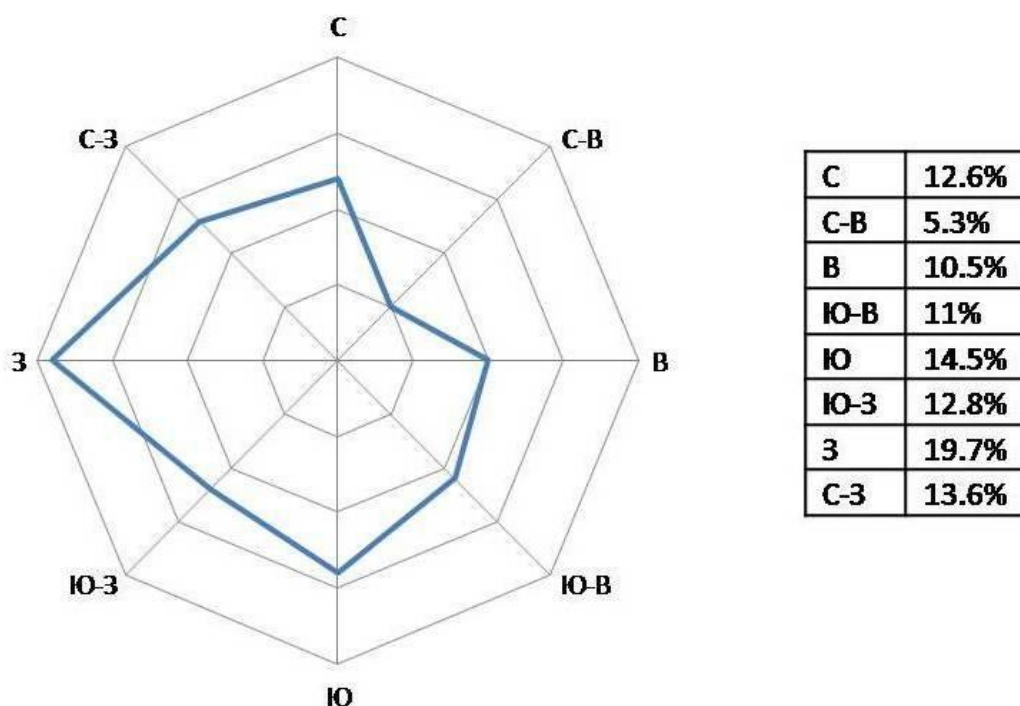


Рисунок 5 – Роза ветров по месту возникновения аварийной ситуации

На основании предложенной модели можно спрогнозировать площадь территории, где регулярно наблюдается повышение концентрации вредных веществ в воздухе.

С учетом проведенных расчетов, для представленного модельного примера размер территории, пораженной в результате выброса вредных веществ на промышленном объекте, где вследствие автомобильных заторов наблюдаются регулярные повышения концентрации атмосферных поллютантов, составляет примерно 1 км^2 , а значит, величина $F_8 \approx 1 \text{ км}^2$.

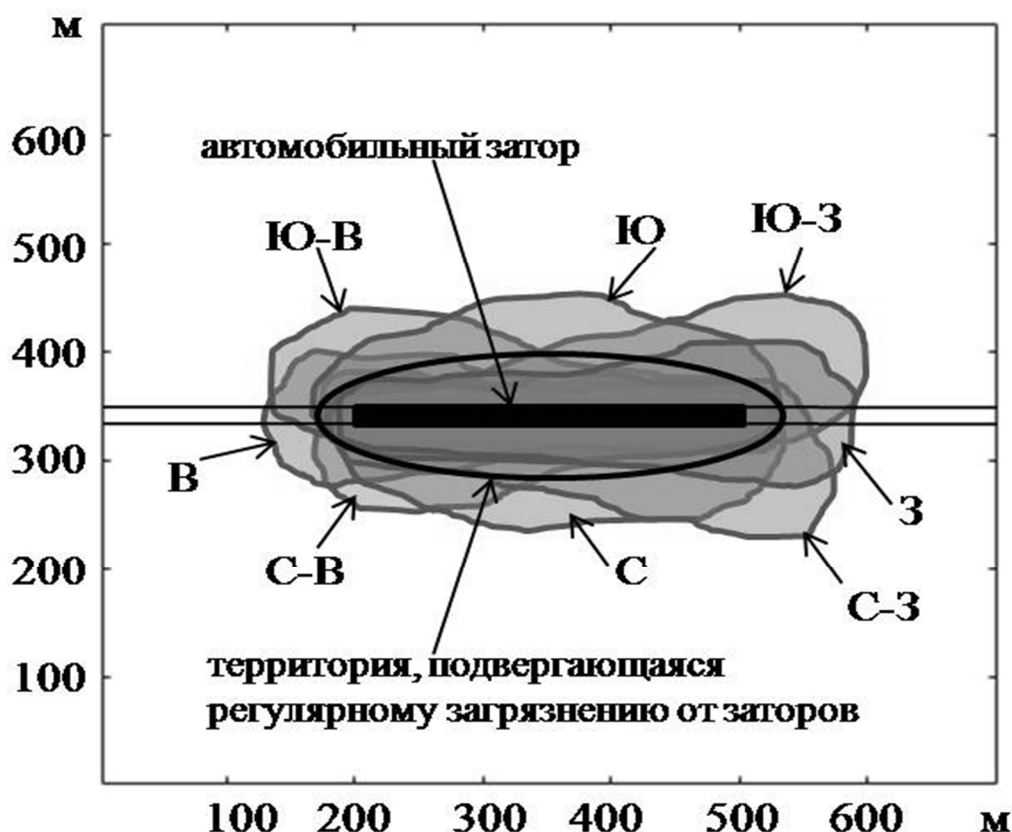


Рисунок 6 – Территория, на которой наблюдаются регулярные повышения концентрации NO_2 (модельный пример)

Расчет основных прогнозируемых характеристик. Значения основных прогнозируемых характеристик $X_i(t), i = \overline{1,13}$ выброса химически опасного вещества в результате аварийной ситуации на промышленном объекте определяются путем численного решения системы уравнений (2).

На рисунке 7 представлены графики с результатами численного решения системы (2), нормированными относительно максимальных значений моделируемых характеристик по формулам:

$$X_i^N(t) = \frac{X_i(t)}{X_i^{\max}}.$$

В частности, анализ зависимости $X_3^N(t)$ позволяет сделать вывод, что существенный рост территории загрязнения наблюдается в первый час после аварии, что подтверждается данными модельного примера.

Проверка адекватности модели. Проверка адекватности модели осуществлялась посредством сравнения значений прогнозируемых характеристик, полученных в результате решения системы (2), с реальными данными выброса химически опасного вещества в атмосферу, произошедшего на промышленном объекте одного из городов РФ.

На рисунке 8 выполнено сравнение характеристик $X_3^N(t)$, $X_6^N(t)$ и $X_8^N(t)$, определенных по модели (2), с реальными статистическими данными модельного примера, интерполированными многочленами Лагранжа $Y_3(t)$, $Y_6(t)$ и $Y_8(t)$.

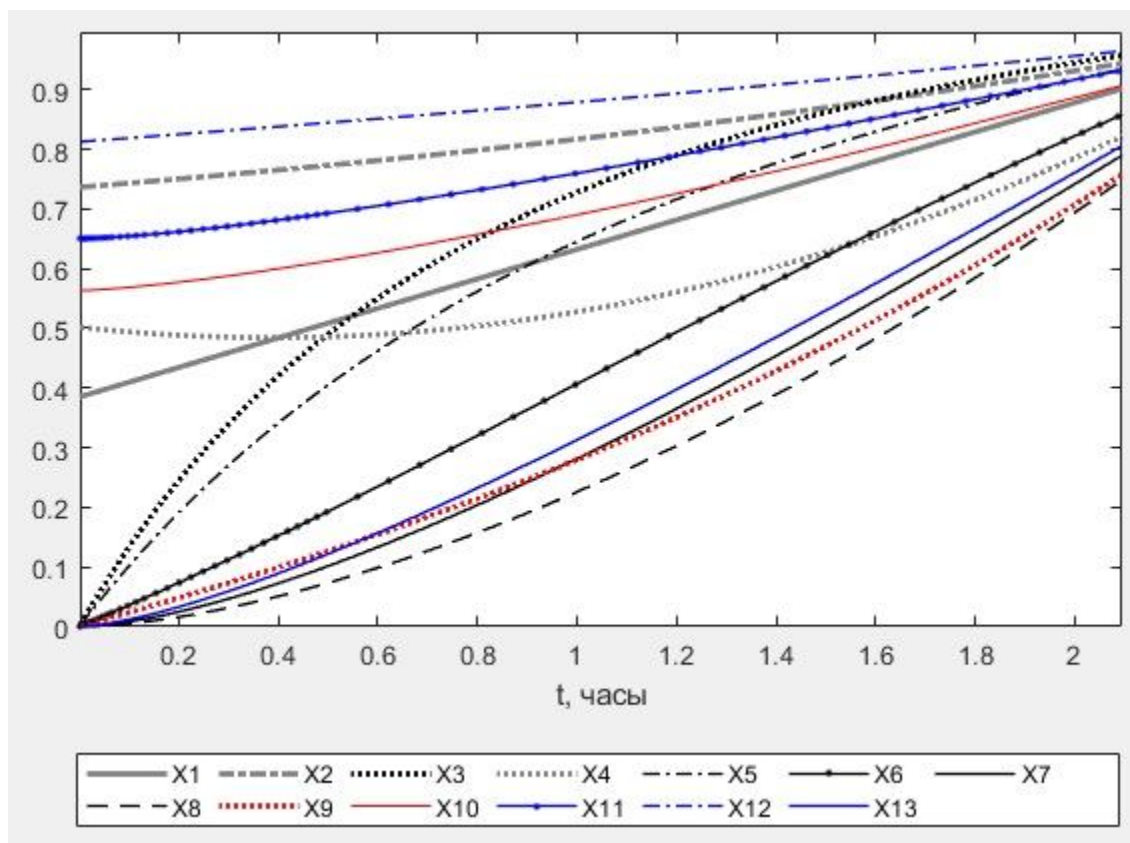


Рис. 7. Основные характеристики последствий аварийного выброса химически опасного вещества на промышленном объекте (расшифровки обозначений характеристик приведены в том разделе, где описана математическая модель)

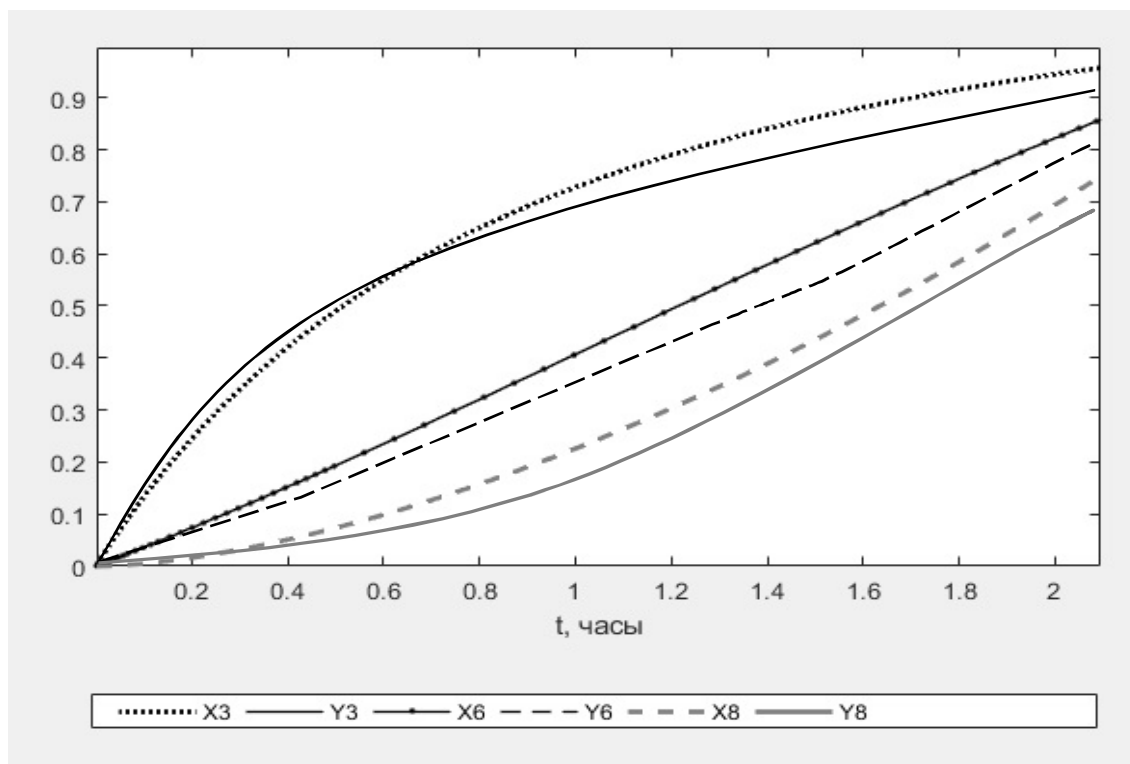


Рис. 8. Сравнение расчетных значений $X_3^N(t)$, $X_6^N(t)$ и $X_8^N(t)$ с реальными данными аварийной ситуации

Анализ значений, полученных для $X_i^N(t)$, $i = \overline{1,13}$, показывает, что характеристики, рассчитанные в результате применения разработанной модели (2), незначительно отличаются от их реальных значений.

Среднее значение относительных погрешностей в узлах моделирования для каждой характеристики не превышает 13 %. Это позволяет утверждать, что разработанная математическая модель является адекватной.

Для проведения вычислительных экспериментов с использованием математической модели для прогнозирования последствий выбросов химически опасных веществ в атмосферу с учетом загрязнения городского воздуха автотранспортом на языке C# был разработан комплекс прикладных программ, включающий следующие основные модули:

- ввод информации;
- решение уравнений системной динамики с использованием построения аналитических функций

$f_i^{+/-}$, $i = \overline{1,13}$;

- определение загрязненности атмосферы автомобильным транспортом;
- визуализация полученных результатов и др.

Использование данного программного продукта позволило значительно уменьшить время проведения вычислительных экспериментов за счет удобного графического интерфейса пользователя и применения современных технологий программирования.

Процедура использования разработанного математического обеспечения при решении задачи уменьшения ущерба от атмосферных выбросов химического предприятия пояснена ниже с помощью информационно-логической схемы.

Информационно-логическая схема решения задачи.

Химическое предприятие. Процедура решения данной задачи на временных интервалах [минимально возможный; дни] представлена на рисунке 9 в виде информационно-логической схемы (ИЛС).

Схема характеризует основные этапы автоматизированного решения задачи сокращения ущерба от атмосферных выбросов химического предприятия, производственный процесс которого предусматривает получение, хранение и переработку ядовитых и потенциально опасных веществ.

На рисунке 9 приняты следующие обозначения: 1, 2, ..., 10 – технологическое оборудование первой, второй, ..., десятой группы [7]; 11 – сбор информации о производственных процессах, поступающей от датчиков и устройств локальной автоматики; 12 – запись информации в базу данных и базу знаний; 13 – экспертная оценка потенциальной опасности ситуации, связанной с выбросом атмосферных загрязнителей; 14 – идентификация степени опасности производственной ситуации, связанной с выбросом загрязнителей; 15 – ситуация является аварийной?; 16 – сообщение о возникновении штатной производственной ситуации, требующей вмешательства диспетчера; 17 – занесение информации о штатной производственной ситуации в журнал сменного диспетчера на электронном носителе; 18 – произошел ли атмосферный выброс высокоопасных и чрезвычайно опасных ядовитых веществ?; 19 – определение максимального размера зоны поражения и концентрации ядовитых веществ (проводится с использованием заранее полученных результатов моделирования процесса подъема и распространения ядовитых веществ от различного технологического оборудования); 20 – определение и реализация мероприятий по ограничению зоны поражения и эвакуации персонала; 21 – информирование службы МЧС; 22 – сообщение руководству предприятия о выбросе ядовитых веществ; 23 – запись информации о происшедшем в журнал сменного диспетчера на электронном носителе; 24 – произошел выброс в атмосферу потенциально опасных веществ?; 25 – определение максимального размера зоны поражения по результатам математического моделирования процесса подъема и распространения атмосферных загрязнителей; 26 – определение концентрации потенциально опасных веществ в зоне поражения с учетом уже существующего загрязнения этой территории; 27 – информирование руководства предприятия об атмосферном выбросе потенциально опасных веществ; 28 – запись информации о происшедшем выбросе потенциально опасных веществ в журнал сменного диспетчера на электронном носителе; 29, 30 – руководство процессом ликвидации последствий атмосферного выброса потенциально опасных и ядовитых веществ, соответственно; 31 – запись информации о происшедшем выбросе ядовитых веществ в базу данных; 32, 35 – экспертная оценка степени тяжести возникшей ситуации, связанной с атмосферным выбросом ядовитых или потенциально опасных веществ соответственно; 33 – информация о метеоусловиях в момент возникновения выброса и существующего загрязнения контролируемой территории; 34 – сведения об аналогичных происшествиях, хранимых в базе данных предприятия; 35 – выбор из базы данных предприятия информации о происшедшем выбросе ядовитых веществ; 36 – определение массы ядовитого вещества, поступившего в атмосферу; 37 – определение концентрации ядовитого вещества в зоне поражения с учетом существующего загрязнения контролируемой территории; 38 – определение высоты подъема загрязнителя; 39 – определение зоны распространения загрязнителя; 40 – определение продолжительности атмосферного выброса; 41 – определение ущерба от повышения заболеваемости населения по критерию Cf_1 ; 42 – определение потерь сельского хозяйства по критерию Cf_2 ; 43 – определение ущерба от изменения окружающей природной среды по критерию Cf_3 ; 44 – определение ущерба из-за ухудшения качества жизни по критерию Cf_4 ; 45 – определение

ущерба предприятия по критерию Cf_5 ; 46 – выбор коэффициентов свертки $\mu_i \geq 0, i = \overline{1,5}$, $\sum_{i=1}^5 \mu_i = 1$ вектор-

ной целевой функции решаемой задачи; 47 – формирование скалярной целевой функции $Cf_S = \sum_{i=1}^5 \mu_i Cf_i$, после

свертки скалярных критериев; 48 – оценка эффективности деятельности персонала; 49, 51 – информирование руководства предприятия и службы МЧС объектового уровня о расчетной оценке величины ущерба и эффективности деятельности персонала, соответственно; 52 – занесение информации о величине ущерба, причиненного в результате атмосферного выброса ядовитого вещества, в базу данных предприятия. Блоки 52–67 информационно-логической схемы характеризуют процедуру определения ущерба от выброса в атмосферу потенциально опасных веществ, они аналогичны блокам 36–51, характеризующим процедуру определения ущерба от выброса ядовитых веществ. Выполнение блоков 41–47 осуществляется с использованием математического обеспечения, позволяющего уменьшить ущерб от атмосферных выбросов промышленных предприятий в условиях неопределенности состояния окружающей среды [9, 13–15]. При этом делается допущение, что уменьшение ущерба приведет к улучшению основных статистических показателей, характеризующих загрязнение атмосферы и рассчитанных для различного осреднения по времени и пространству, таких как: максимальные концентрации примесей: разовых, измеренных за 20 минут, среднесуточных или среднемесячных (мг/м^3 или мкг/м^3 ; доли ПДК); средние концентрации примесей (мг/м^3 или мкг/м^3 ; доли ПДК); повторяемость концентраций примеси выше 1 ПДК, %; повторяемость концентраций примеси выше 5 ПДК, %, и др. [19].

Из рисунка 9 следует, что задача сокращения ущерба от атмосферных выбросов химического предприятия решается на временных интервалах «минимально возможный» и «несколько дней».

На первом из этих интервалов осуществляется идентификация степени опасности возникшей производственной ситуации, связанной с атмосферным выбросом загрязнителей. Определяется максимальный размер зоны загрязнения ядовитыми или потенциально опасными веществами, проводятся мероприятия по ее ограничению и эвакуации персонала. Информация о происшедшем доводится до руководства предприятия и службы МЧС объектового уровня, а также заносится в журнал сменного диспетчера на электронном носителе.

На втором временном интервале производится оценка ущерба от атмосферного выброса загрязнителей, соответствующая информация заносится в базу данных информационной системы, поступает руководству предприятия и, по согласованию с ним, доводится до сведения всех заинтересованных сторонних организаций.

Все это обеспечивает повышение оперативности и качества управленческих решений, принимаемых оперативно-диспетчерским персоналом предприятий при оценке эффективности различных сценариев ликвидации последствий аварийных атмосферных выбросов и уменьшения ущерба от их возникновения.

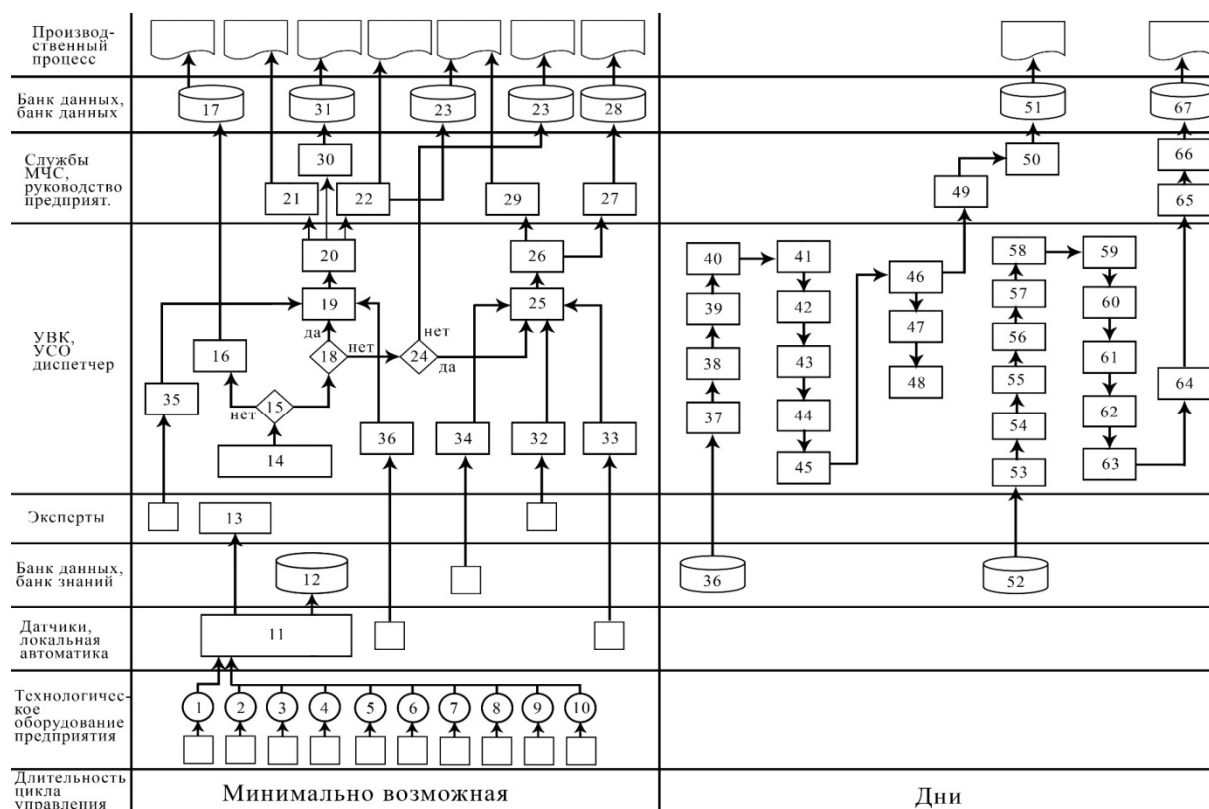


Рисунок 9 – Информационно-логическая схема решения задачи минимизации ущерба от атмосферных выбросов химического предприятия на временном интервале [минимально возможный; дни]

Заключение. На основе аппарата системной динамики и уравнений массопереноса разработана математическая модель для прогнозирования основных характеристик аварийных выбросов в атмосферу химически опасных веществ с учетом регулярного загрязнения воздуха от автотранспортных заторов.

Проведено сравнение прогнозируемых характеристик с реальными данными выброса, произошедшего в одной из областей РФ, подтвердившее адекватность предложенной модели.

Разработанное математическое обеспечение может быть использовано при модернизации существующих информационных систем экологического контроля и управления, а также в тренажерных системах, применяемых для обучения оперативно-диспетчерского персонала МЧС.

Библиографический список

1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг химически опасных объектов. Общие требования ГОСТ Р 22.1.10-2002 : принят постановлением Госстандарта РФ от 25.10.2002 № 394. – Режим доступа: <http://internet-law.ru/gosts/gost/6399>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.07.2018).
2. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнений атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 272 с.
3. Бродский Ю. И. Лекции по математическому и имитационному моделированию / Ю. И. Бродский. – Москва – Берлин : Директ-Медиа, 2015. – С. 240.
4. Гермейер Ю. Б. Игры с непротивоположными интересами / Ю. Б. Гермейер. – М. : Наука, 1976. – 327 с.
5. Кушелева Е. В. Математическое моделирование определения степени загрязнения атмосферы при выбросах химических веществ / Е. В. Кушелева, А. Ф. Резчиков, В. А. Кушников, В. А. Иващенко, А. С. Богомолов, Е. В. Кушникова, Л. Ю. Филимонюк, М. А. Барулина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 2. – С. 17–25.
6. Кушелева Е. В. Модель для прогнозирования распространения атмосферных поллютантов при автотранспортных заторах / Е. В. Кушелева, А. Ф. Резчиков, В. А. Кушников, В. А. Иващенко, Л. Ю. Филимонюк, А. С. Богомолов, Е. В. Кушникова, А. А. Самарцев, М. В. Хамутова // Системы управления и информационные технологии. – 2018. – № 2. – С. 55–60.
7. Кушникова Е. В. Модели и алгоритмы минимизации ущерба от атмосферных выбросов промышленных предприятий / Е. В. Кушникова, А. Ф. Резчиков, В. А. Иващенко, Л. Ю. Филимонюк // Управление большими системами. – Москва : ИПУ РАН, 2015. – Вып. 57. – С. 158–190.
8. Кушникова Е. В. Имитационное моделирование загрязнения территорий выбросами промышленных предприятий / Е. В. Кушникова, О. А. Торопова // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах : материалы Всероссийской научной конференции. – Саратов, 2012. – С. 20–23.
9. Кушникова Е. В. Модели и алгоритмы определения ущерба от воздействия атмосферных поллютантов на здоровье населения / Е. В. Кушникова // Компьютерные науки и информационные технологии : материалы Международной научной конференции. – Саратов, 2016. – С. 225–227.
10. Марчук Г. И. Введение в методы вычислительной математики : курс лекций / Г. И. Марчук. – Новосибирск, 1971. – 238 с.
11. Моисеев Н. Н. Человек и биосфера: Опыт системного анализа и эксперименты с моделями / Н. Н. Моисеев, В. В. Александров, А. М. Тарко. – Москва : Наука, 1985. – 271 с.
12. Обзорная статья по программам серии «Эколог». – Режим доступа: <https://integral.ru/program.html>. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 19.12.2018).
13. Пененко В. В. Модели и методы для задач охраны окружающей среды / В. В. Пененко, А. Е. Алоян. – Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1985. – 256 с.
14. Портал медицинских лекций. – Режим доступа: <https://medlec.org/lek4-32130.html>. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 17.08.2018).
15. Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1971.
16. Сафронов Э. А. Транспортные системы городов и регионов / Э. А. Сафронов. – Москва : АСВ, 2005. – 272 с.
17. Скорер Р. Аэрогидродинамика окружающей среды / Р. Скорер. – Москва : Мир, 1980. – 560 с.
18. Форрестер Д. Мировая динамика / Д. Форрестер ; пер. с англ. А. Ворошука. – Москва : АСТ ; Санкт-Петербург : Terra fantastica, 2003. – 379 с.
19. Экология. – Режим доступа: <https://ru-ecology.info/term/27303/>. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 21.12.2018).
20. Ghaffarzadegan N. Dell's SupportAssist customer adoption model: enhancing the next generation of data-intensive support services / N. Ghaffarzadegan, A. A. Rad, R. Xu, S. E. Middlebrooks, S. Mostafavi, M. Shepherd, L. Chambers, T. Boyum // System Dynamics Review. – 2017. – № 33 (3–4). – P. 219–253.
21. Gifford F. Modeling urban air Pollution / F. Gifford, S. Hanna // Atm. Env. – 1973. – № 1. – P. 131–136.
22. de Gooyert V., Größler A. On the differences between theoretical and applied system dynamics modeling / V. de Gooyert, A. Größler // System Dynamics Review. – 2019. – Vol. 34. – P. 575–583.
23. Gryning S. Sort-range experiments in unstable conditions over inhomogeneous terrain / S. Gryning. – Tellus, 1978. – Vol. 30. – P. 392–404.
24. Haugen D. Lectures on air pollution and environmental impact analysis / D. Haugen. – Boston : AMS, 1975. – 296 p.
25. Jalali M. S. Cybersecurity in hospitals: a systematic, organizational perspective / M. S. Jalali, J. P. Kaiser // Journal of Medical Internet Research. – 2018. – № 20 (5). – P. 10059.
26. Kusheleva E. Mathematical Model for Prediction of the Main Characteristics of Emissions of Chemically Hazardous Substances into the Atmosphere / E. Kusheleva, A. Rezchikov, V. Kushnikov, V. Ivaschenko, E. Kushnikova, A. Samartsev // Recent Research in Control Engineering and Decision Making. – 2019. – Vol. 199. – P. 594–607.
27. Pasquill F. Atmospheric diffusion / F. Pasquill. – London : Van Nostr. Co. Ltd., 1962. – 298 p.
28. Ragland K. W. Forecast ambient air concentration from point sources using the Gaussian plume model / K. W. Ragland // Atm. Env. – 1976. – Vol. 10, № 5. – P. 371–374.
29. Rahmandad H. Connecting strategy and system dynamics: an example and lessons learned / H. Rahmandad //

System Dynamics Review. – 2015. – № 31 (3). – P. 149–172.

30. Rahmandad H. Capability erosion dynamics / H. Rahmandad, N. P. Repenning // Strategic Management Journal. – 2016. – № 37 (4). – P. 649–672.

31. Sekaran U. Research methods for business: a skill-building approach / U. Sekaran, R. Bougie. – Chichester : Wiley, 2016. – 7th ed.

32. Shavelson R. J. An approach to testing and modeling competence / R. J. Shavelson // Modeling and Measuring Competencies in Higher Education: Tasks and Challenges. – Frankfurt : Springer, 2013. – P. 29–43.

References

1. State Standard 22.1.10-2002. Safety in emergency situations. Monitoring of chemically dangerous objects. General requirements. Available at: <http://internet-law.ru/gosts/gost/6399> (accessed 10.07.2018).

2. Berland M. E. Prognoz i regulirovanie zagryazneniy atmosfery [Prediction and regulation of air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985.

3. Brodskiy Yu. I. *Leksii po matematicheskomu i imitatsionnomu modelirovaniyu* [Lectures on mathematical and simulation modeling]. Moscow – Berlin, Direkt-Media, 2015. 240 p.

4. Germeier Yu. B. *Igry s neprotivopolozhnyimi interesami* [Games with opposing interests]. Moscow, Science, 1976. 327 p.

5. Kuseheleva E. V., Rezhnikov A. F., Kushnikov V. A., Ivashchenko V. A., Bogomolov A. S., Kushnikova E. V., Filimonuk L. Yu., Barulina M. A. Matematicheskoe modelirovanie opredeleniya stepeni zagryazneniya atmosfery pri vybrosakh khimicheskikh veshchestv [Mathematical modeling of the determination of the degree of atmosphere pollution during emissions of chemical substances]. *Vestnik Astrakanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Engineering, and Informatics], 2018, no. 2, pp. 17–25.

6. Kuseheleva E. V., Rezhnikov A. F., Kushnikov V. A., Ivashchenko V. A., Filimonuk L. Yu., Bogomolov A. S., Kushnikova E. V., Samarcev A. A., Xamutova M. V. Model dlya prognozirovaniya rasprostraneniya atmosferykh pollyutantov pri avtotransportnykh zatorakh [Model for predicting the distribution of atmospheric pollutants at motor transport batteries]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management Systems and Information Technology], 2018, no. 2, pp. 55–60.

7. Kushnikova E. V., Rezhnikov A. F., Ivashchenko V. A., Filimonuk L. Yu. Modeli i algoritmy minimizatsii ushcherba ot atmosferykh vybrosov promyshlennykh predpriyatiy [Models and algorithms for minimizing damage from atmospheric emissions of industrial enterprises]. *Upravlenie bolshimi sistemami* [Large System Management], 2015, vol. 57, pp. 158–190.

8. Kushnikova E. V., Toropova O. A. Imitatsionnoe modelirovanie zagryazneniya territoriy vybrosami promyshlennykh predpriyatiy [Imitation modeling of territory pollution by emissions of industrial enterprises]. *Problemy upravleniya v sotsialno-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh sistemakh : materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Management problems in socio-economic and technical systems : Materials of the All-Russian Scientific Conference]. Saratov, 2012, pp. 20–23.

9. Kushnikova E. V. Modeli i algoritmy opredeleniya ushcherba ot vozdeystviya atmosferykh pollyutantov na zdorove naseleniya [Models and algorithms for determining damage from the impact of atmospheric pollutants on population health]. *Kompyuternye nauki i informatsionnye tekhnologii : materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Computer Science and Information Technologies : Proceedings of the International Scientific Conference]. Saratov, 2016. pp. 225–227.

10. Marchuk G. I. *Vvedeniye v metody vychislitel'noy matematiki: kurs lektsiy* [Introduction to the methods of computational mathematics: a course of lectures]. Novosibirsk, 1971. 238 p.

11. Moiseev N. N., Aleksandrov V. V., Tarko A. M. *Chelovek i biosfera: Opyt sistemnogo analiza i eksperimenty s modelyami* [Man and the Biosphere: Experience of Systems. analysis and experiments with models]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 271 p.

12. Obzornaya statya po programmam serii “Ekolog” [Review article on the program series “Ecologist”]. Available at: <https://integral.ru/program.html> (accessed 19.12.2018).

13. Penenko V. V., Aloyan A. E. Modeli i metody dlya zadach okhrany okruzhayushchey sredy [Models and methods for environmental protection tasks]. Moscow, Nauka Publ., 1985.

14. Portal meditsinskikh lektsiy [Portal of medical lectures]. Available at: <https://medlec.org/lek4-32130.html> (accessed 17.08.2018).

15. Samarskiy A. A. *Vvedenie v teoriyu raznostnykh skhem* [Introduction to the theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1971.

16. Safronov E. A. *Transportnye sistemy gorodov i regionov* [Transport systems of cities and regions]. Moscow, ASV Publ., 2005. 272 p.

17. Skorer R. *Aerogidrodinamika okruzhayushchey sredy* [Aerohydrodynamics of the environment]. Moscow, Mir, 1980.

18. Forrester D. *Mirovaya dinamika* [World Dynamics], Moscow, AST Publ. ; Saint Petersburg, Terra fantastica, 2003. 379 p.

19. *Ekologiya* [Ecology]. Available at: <https://ru-ecology.info/term/27303/> (accessed 21.12.2018).

20. Ghaffarzadegan N., Rad A. A., Xu R., Middlebrooks S. E., Mostafavi S., Shepherd M., Chambers L., Boyum T. Dell's Support Assist customer adoption model: enhancing the next generation of data-intensive support services. *System Dynamics Review*, 2017, no. 33 (3–4), pp. 219–253.

21. Gifford F., Hanna S. Modeling urban air pollution. *Atm. Env.*, 1973, no. 1, p. 131–136.

22. de Gooyert V., Größler A. On the differences between theoretical and applied system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, 2019, vol. 34, p. 575–583.

23. Gryning S. Sort-range experiments in unstable conditions over inhomogeneous terrain. *Tellus*, 1978, vol. 30, pp. 392–404.

24. Haugen D. *Lectures on air pollution and environmental impact analysis*. Boston, AMS, 1975. 296 p.
25. Jalali M. S., Kaiser J. P. Cybersecurity in hospitals: a systematic, organizational perspective. *Journal of Medical Internet Research*, 2018, no. 20 (5), p. 10059.
26. Kusheleva E., Rezhikov A., Kushnikov V., Ivaschenko V., Kushnikova E., Samartsev A. Mathematical Model for Prediction of the Main Characteristics of Emissions of Chemically Hazardous Substances into the Atmosphere. *Recent Research in Control Engineering and Decision Making*, 2019, vol. 199, pp. 594–607.
27. Pasquill F. *Atmospheric diffusion*. London, Van Nostr. Co. Ltd., 1962. 298 p.
28. Ragland K. W. Forecast ambient air concentration from point sources using the Gaussian plume model. *Atm. Env.*, 1976, vol. 10, no. 5, pp. 371–374.
29. Rahmandad H. Connecting strategy and system dynamics: an example and les-sons learned. *System Dynamics Review*, 2015, no. 31 (3), pp. 149–172.
30. Rahmandad H., Repenning N. P. Capability erosion dynamics. *Strategic Management Journal*, 2016, no. 37 (4), pp. 649–672.
31. Sekaran U., Bougie R. *Research methods for business: a skill-building approach*. 7th ed. Chichester, Wiley, 2016.
32. Shavelson R. J. An approach to testing and modeling competence. *Modeling and Measuring Competencies in Higher Education: Tasks and Challenges*. Frankfurt, Springer, 2013, pp. 29–43.

УДК 004.42, 004. 021

КЭШ-ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫЧИСЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ¹

Статья поступила в редакцию 10.03.2019, в окончательной версии 07.04.2019.

Егунов Виталий Алексеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, кандидат технических наук, доцент, e-mail: vegunov@mail.ru

Рассматривается вопрос приведения матрицы к Хессенберговой форме в рамках задачи вычисления собственных значений на параллельных вычислительных системах с общей памятью, являющихся наиболее распространенным и доступным типом параллельных вычислительных систем. В качестве базового преобразования используется преобразование отражения Хаусхолдера. В статье анализируется решение задачи приведения матрицы к Хессенберговой форме на целевых вычислительных архитектурах. При этом особое внимание уделяется оптимизации алгоритмов с точки зрения эффективного использования кэш-памяти. Приводятся авторские алгоритмы решения поставленной задачи, представляющие собой оптимизированные варианты классического преобразования Хаусхолдера. Использование данных алгоритмов позволяет существенно снизить время выполнения программы. Сделанные выводы подтверждаются результатами проведенных вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: собственные числа, собственные значения, собственное разложение, преобразование отражения, преобразование Хаусхолдера, многоядерные процессоры, многопроцессорные системы, неоднородные параллельные вычислительные системы, эффективность программ, ускорение работы программ, кэш-память, системы с общей памятью

CACHE-OPTIMIZATION OF SOLVING EIGENVALUES PROBLEM FOR PARALLEL COMPUTING SYSTEMS

The article was received by editorial board on 10.03.2019, in the final version – 07.04.2019.

Egunov Vitaly A., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

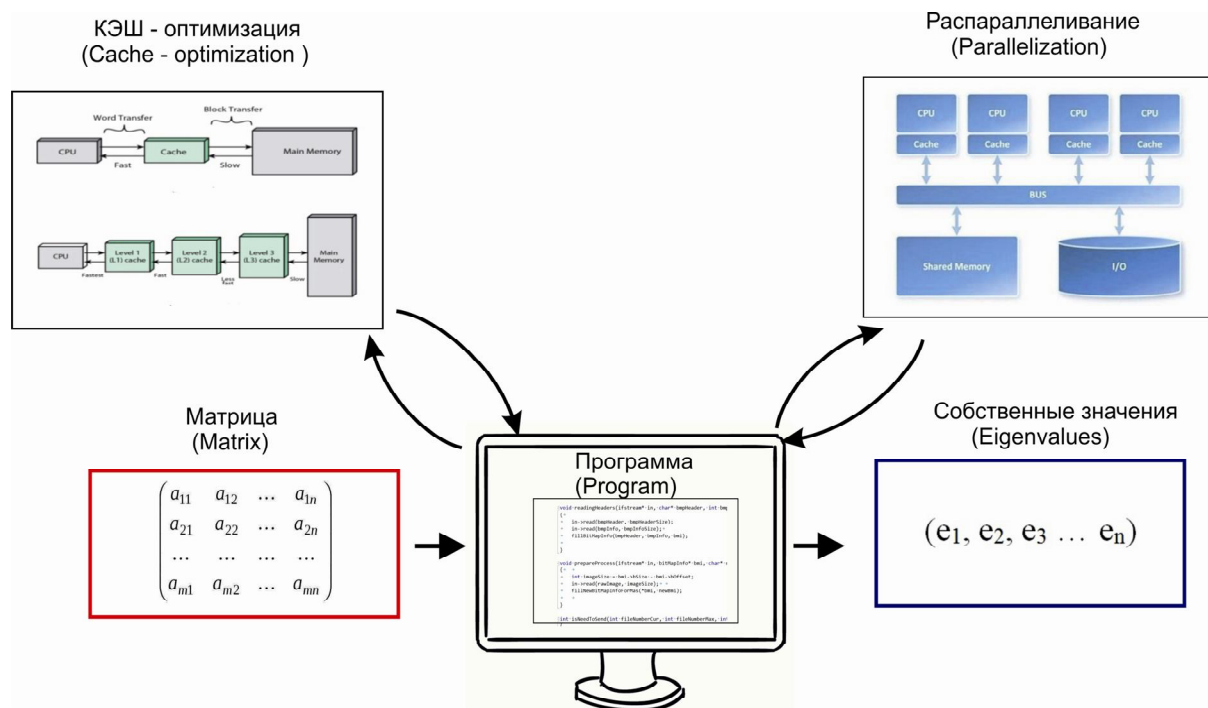
Cand. Sci. (Engineering), e-mail: vegunov@mail.ru

The reduction of the matrix to Hessenberg form in the framework of the problem of calculating eigenvalues on parallel computing systems with shared memory is considered. Parallel computing systems with shared memory are the most common and affordable type of parallel computing systems. As the base conversion use the conversion reflections of Householder. The article analyzes the solution of the problem of reducing the matrix to Hessenberg form on the target computing architectures, with special attention paid to the optimization of algorithms in terms of efficient use of cache memory. The author's algorithms for solving the problem, which are optimized versions of the classical householder transformation, are presented. The use of these algorithms can significantly reduce the execution time of the program. The conclusions are confirmed by the results of computational experiments.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 18-47-340010 p_a.

Key words: eigenvalues, solution eigenvalues problem, reflection transformations, Householder transformations, multi-core processors, multiprocessor systems, heterogeneous parallel computing systems, program efficiency, program acceleration, cache memory, shared memory systems, linear algebra, linear algebra operations, vector operations

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Задачи линейной алгебры играют огромную роль в современных научных исследованиях и при решении большого числа прикладных проблем. Причем часто именно на матричные преобразования, такие как решение систем линейных алгебраических уравнений, поиск собственных значений и системы собственных векторов, поиск сингулярного разложения, обращение матриц и т.д., приходится основная часть операционной сложности решения. Одной из ключевых задач линейной алгебры является выполнение собственного разложения. Данная статья посвящена разработке модификаций известных алгоритмов выполнения собственного разложения с целью их эффективной программной реализации на параллельных вычислительных системах с общей памятью. Данная работа продолжает исследования, отраженные в работе [2], и в некоторой степени опирается на полученные в ней выводы.

Постановка задачи. Высокая вычислительная сложность задачи поиска собственных чисел и системы собственных векторов матриц большой размерности делает данную задачу объектом исследований математиков и специалистов в области разработки программного обеспечения. Сама задача хорошо известна и описана, например, в [6, 7, 11] – она заключается в поиске векторов и чисел, удовлетворяющих условию (1):

$$Av = \lambda v, \quad (1)$$

Вектор v в данном случае называется собственным вектором линейного оператора A , число λ – собственным значением. В общем случае и λ и v могут быть комплексными – даже в случае вещественного A . Алгоритмы решения задачи (1) можно разделить на алгоритмы поиска всех собственных значений (и, возможно, системы собственных векторов) и алгоритмы поиска нескольких собственных чисел, возможно одного. Данные алгоритмы широко описаны в литературе, например, в [5]. Наибольшее распространение получили итеративные алгоритмы, заключающиеся в построении последовательности преобразований, сходящейся к собственным значениям, а также в построении последовательности векторов, сходящихся к собственным векторам линейного оператора. Не существует относительно простых прямых алгоритмов поиска собственных чисел и системы собственных векторов. Однако такие алгоритмы известны для матриц специального вида. В качестве примера можно привести треугольные матрицы, у которых собственные числа располагаются на главной диагонали.

Используемые методы. Одним из приемов ускорения процесса вычисления собственных чисел является приведение исходной матрицы общего вида к «почти треугольной» форме, в которой кроме элементов треугольной матрицы сохраняется диагональ под или над главной диагональю. Матрицы такого

вида называются верхней или нижней матрицей Хессенберга соответственно. Существует конечная последовательность преобразований, приводящая матрицу произвольного вида к Хессенберговой форме [9, 11, 13] с сохранением ее собственных значений. Подобные матрицы, наряду с трехдиагональными матрицами, являются исходными для многих алгоритмов поиска собственных чисел, таких как, например, QR-алгоритм [4, 6] или метод Якоби, усиливающих главную диагональ, т.е. выполняющих приближение матрицы к диагональному или треугольному виду, а элементов главной диагонали – к собственным значениям матрицы. Соответственно, можно сделать вывод, что приведение матрицы произвольного вида к Хессенберговой, а симметричной матрицы – к трехдиагональной форме, является неотъемлемой частью большого числа алгоритмов поиска собственных чисел линейного оператора. Повышение эффективности методов решения данной задачи приводит к уменьшению времени поиска собственных чисел в целом.

В данной работе будет рассмотрена задача приведения матрицы общего вида к Хессенберговой форме с целью дальнейшего получения ее собственных значений. В качестве базового метода будем использовать метод отражения Хаусхолдера [3, 9, 10, 13]:

$$A = QRQ^T, \quad (2)$$

где A – исходная матрица; R – Хессенбергова матрица; Q – ортогональная матрица, представляющая собой произведение матриц отражения Хаусхолдера, каждая из которых однозначно определяется вектором отражения. В работе [10] анализируется выполнение QR-разложения методом Хаусхолдера на параллельных вычислительных системах с общей памятью. В частности, рассматривается умножение на матрицу отражения справа (QR-разложение) и слева (LQ-разложение). В первом случае вектор отражения определяется столбцами исходной матрицы, обнуляются также столбцы, во втором случае вектор отражения определяется строками исходной матрицы, обнуляются строки. Вариант LQ-разложения в данном случае оказывается более предпочтительным из-за меньшей вероятности кэш-промахов. Кэш-промах происходит в том случае, когда микропроцессор пытается обратиться к данным, которые отсутствуют в кэш-памяти. В этом случае их необходимо подгружать из основной памяти. Если необходимые данные находятся в кэш-памяти, они быстро извлекаются. Такое событие называется кэш-попаданием. Повышение быстродействия вычислительной системы достигается в том случае, когда кэш-попадания реализуются намного чаще, чем кэш-промахи. Данный эффект подробно рассмотрен в работе [2].

В случае приведения матрицы к Хессенберговой форме ситуация не столь однозначна, так как необходимо выполнять умножение на матрицу Хаусхолдера с двух сторон для сохранения собственных значений (2). Для приведения матрицы размерности « $n \times n$ » к верхней Хессенберговой форме необходимо выполнить « $n-2$ » шага. В рамках каждого шага необходимо:

- вычислить элементы вектора отражения по элементам очередного столбца исходной матрицы;
- умножить исходную матрицу на матрицу отражения справа;
- умножить исходную матрицу на матрицу отражения слева.

Алгоритм выполнения k -го шага преобразования можно записать следующим образом:

$$s_k = -\text{sign}(a_{k+1,k}) \left(\sum_{i=k+1}^n a_{ik}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varphi_k = (s_k^2 - s_k a_{k+1,k})^{-1}$$

$$\mathbf{u}_k^T = (0, \dots, 0, a_{k+1,k} - s_k, a_{k+2,k}, \dots, a_{nk})$$

Для $j = k$ до n

$$\lambda_j = \varphi_k \mathbf{u}_k^T \mathbf{a}_j$$

$$\mathbf{a}_j = \mathbf{a}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k$$

Для $j = k$ до n

$$\lambda_j = \varphi_k \mathbf{b}_j \mathbf{u}_k$$

$$\mathbf{b}_j = \mathbf{b}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k^T$$

Здесь $\mathbf{a}$ – столбцы исходной матрицы, $\mathbf{b}$ – ее строки. Процесс выполнения преобразования проиллюстрирован на рисунке 1.

На рисунке 1 представлены два шага преобразования. На первом шаге, имеющем в (3) номер $k = 0$, обнуляется первый столбец матрицы. Для этого:

- определяется вектор отражения из значений элементов первого столбца матрицы, находящихся под главной диагональю;
- осуществляется умножение на матрицу умножения справа, в результате которого обнуляются элементы первого столбца (рис. 1б), изменяются $(n-1)$ элементов всех остальных столбцов, начиная с первого;
- осуществляется умножение на матрицу умножения слева, в результате чего изменяются $(n-1)$ элементов всех строк матрицы.

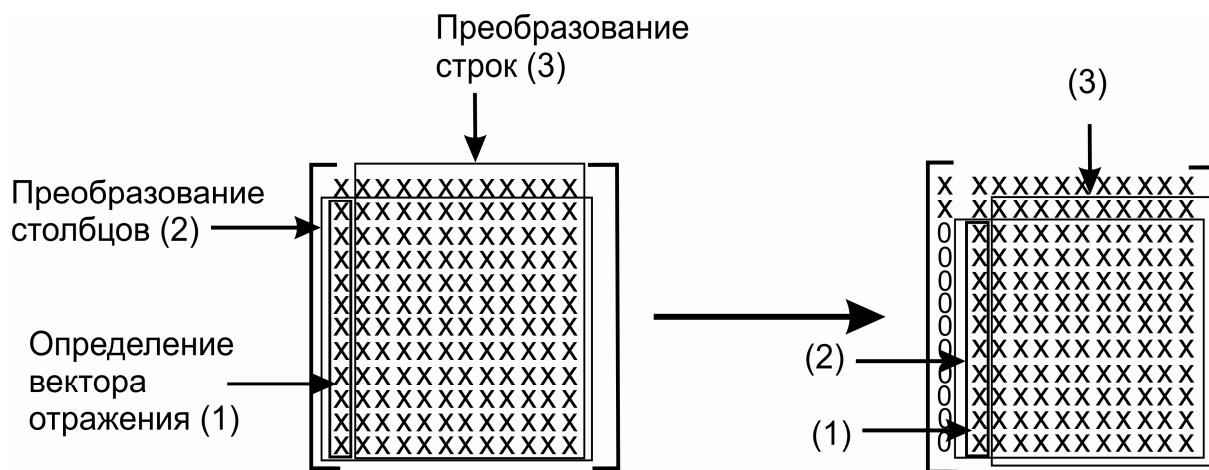


Рисунок 1 – Процесс приведения матрицы к верхней Хессенберговой форме

После выполнения $(n-2)$ шагов матрица будет приведена к верхней Хессенберговой форме.

В соответствии с законом Амдала ускорение программы с параллельной реализацией любого алгоритма ограничено частью программы, не подлежащей распараллеливанию. Для рассматриваемого алгоритма очевидно, что, во-первых, три этапа преобразования на каждом его шаге (рис. 1) выполняются строго последовательно. Кроме того, первый этап (определение вектора отражения) выполняется последовательно, так как его распараллеливание не даст ощутимого ускорения из-за невысокой вычислительной сложности. Во-вторых, из рисунка 2 видно, что первые два этапа выполняются как операции со столбцами матрицы, в то время как матрицы хранятся по строкам, из-за этого генерируется большое число кэш-промахов [2]. Эти два обстоятельства существенно снижают эффективность программ, основанных на распараллеливании алгоритма (3).

Для приведения матрицы к нижней Хессенберговой форме на каждом шаге преобразования необходимо выполнить следующие действия:

$$s_k = -\text{sign}(a_{k,k+1}) \left(\sum_{i=k+1}^n a_{ki}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varphi_k = (s_k^2 - s_k a_{k,k+1})^{-1}$$

$$\mathbf{u}_k^T = (0, \dots, 0, a_{k,k+1} - s_k, a_{k,k+2}, \dots, a_{kn})$$

Для $j = k$ до n

$$\lambda_j = \varphi_k \mathbf{b}_j^T \mathbf{u}_k$$

$$\mathbf{b}_j = \mathbf{b}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k^T$$

Для $j = k$ до n

$$\lambda_j = \varphi_k \mathbf{u}_k^T \mathbf{a}_j$$

$$\mathbf{a}_j = \mathbf{a}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k$$
(4)

На рисунке 2 представлен процесс приведения матрицы к нижней Хессенберговой форме.

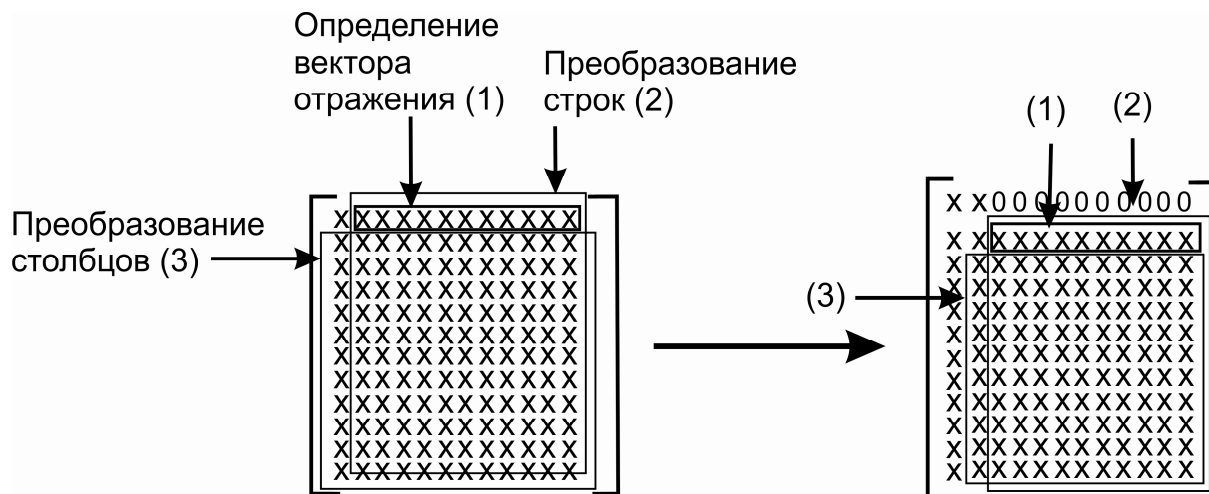


Рисунок 2 – Процесс приведения матрицы к нижней Хессенберговой форме.

В целом выполняются те же действия с учетом следующих замечаний:

- вектора отражения формируются на базе элементов строк матриц;
- сначала преобразуются строки, затем столбцы матриц.

Предлагаемые решения. В обоих алгоритмах, представленных на рисунках 1 и 2, осуществляются одни и те же преобразования над столбцами и строками матрицы, меняется только порядок выполнения действий. Поэтому данные этапы на параллельных вычислительных системах будут выполняться за одно и то же время. Существенным отличием этих алгоритмов является схема формирования вектора отражения. И с этой точки зрения более предпочтительным оказывается алгоритм приведения матрицы к нижней Хессенберговой форме, представленный на рисунке 2. Это связано с тем, что формирование вектора отражения осуществляется на основе элементов строк матрицы, в отличие от алгоритма, представленного на рисунке 1, где вектор отражения формируется на основе элементов столбцов. Дело в том, что при использовании элементов столбцов матрицы на параллельных вычислительных системах с общей памятью будет генерироваться большее число промахов. Однако, в силу того, что доля определения элементов вектора отражения в общем объеме вычислений достаточно мала, оба алгоритма будут иметь схожую вычислительную эффективность.

Рассмотрим данные алгоритмы с точки зрения увеличения их эффективности на параллельных системах с общей памятью. Можно выделить несколько узких мест.

1. В данных алгоритмах присутствуют три последовательных этапа на каждом шаге преобразования. Одним из этапов является вычисление элементов вектора отражения. Однако существуют реализации, в которых осуществляется предварительное вычисление элементов вектора отражения для следующего шага преобразования, описанные, например, в [10].

2. При умножении на матрицу отражения справа осуществляется обработка столбцов матрицы. Это существенно снижает эффективность по сравнению с вариантом вычислений, основанным на обработке строк матрицы.

В данной работе будет рассмотрена модернизация данных алгоритмов, направленная на повышение эффективности, связанная с ускорением обработки столбцов исходной матрицы.

В соответствии с (3) в процессе приведения исходной матрицы к верхней Хессенберговой форме при умножении на матрицу отражения справа, в процессе которого обнуляется очередной столбец исходной матрицы, выполняются следующие действия:

- определяются элементы вектора отражения на основе значений соответствующего столбца исходной матрицы;
- вычисляются новые значения столбцов матрицы; столбцы могут обрабатываться как последовательно, так и параллельно, так как в данном случае отсутствуют информационные зависимости.

При этом в процессе пересчета значений столбцов выполняются следующие вычисления:

- определяются значения скалярных произведений столбцов и вектора отражения;
- на основе полученных значений скалярных произведений вычисляются новые значения элементов столбцов.

Оба этих этапа хорошо распараллеливаются. Однако, в силу того, что данные обрабатываются вдоль столбцов, генерируется достаточно большое значение кэш-промахов, что сильно замедляет процесс вычислений.

Для устранения негативного влияния кэш-промахов предлагается следующий алгоритм вычисления новых значений столбцов матрицы:

- на первом этапе вычисляются все необходимые скалярные произведения вектора отражения и столбцов матрицы;
- на втором этапе вычисляются новые значения элементов столбцов, но, так как значения всех скалярных произведений на данном этапе известны, обработку можно вести построчно, для каждого элемента строки использовать свое значение скалярного произведения.

Данный процесс можно записать следующим образом.

$$s_k = -\text{sign}(a_{k+1,k}) \left(\sum_{i=k+1}^n a_{ik}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varphi_k = (s_k^2 - s_k a_{k+1,k})^{-1}$$

$$\mathbf{u}_k^T = (0, \dots, 0, a_{k+1,k} - s_k, a_{k+2,k}, \dots, a_{nk})$$

$$\mathbf{sc} = \varphi_k \mathbf{u}_k^T \mathbf{A}$$

Для $r = k+1$ до n

Для $c = k$ до n

$$a_{r,c} = a_{r,c} - \text{sc}_c * u_r$$

Для $j = k$ до n

(5)

$$\lambda_j = \varphi_k \mathbf{b}_j \mathbf{u}_k$$

$$\mathbf{b}_j = \mathbf{b}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k^T$$

Перед обработкой столбцов вычисляется вектор скалярных произведений $\mathbf{sc}$ как произведение вектора отражения $\mathbf{u}_k^T$ на исходную матрицу $\mathbf{A}$ с учетом масштабного коэффициента φ_k . Далее осуществляется вычисление новых значений столбцов матрицы, причем вычисление осуществляется построчно, что гораздо эффективнее с точки зрения использования кэш-памяти микропроцессора. Необходимо отметить, что в (5) используются следующие обозначения: $\mathbf{b}$ – строки матрицы; $a_{r,c}$ – элементы матрицы $\mathbf{A}$.

Алгоритм приведения матрицы к нижней Хессенберговой форме с использованием строчно-ориентированной схемы обработки столбцов матрицы приведен в (6):

$$s_k = -\text{sign}(a_{k,k+1}) \left(\sum_{i=k+1}^n a_{ki}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varphi_k = (s_k^2 - s_k a_{k,k+1})^{-1}$$

$$\mathbf{u}_k^T = (0, \dots, 0, a_{k,k+1} - s_k, a_{k,k+2}, \dots, a_{kn})$$

Для $j = k$ до n

$$\lambda_j = \varphi_k \mathbf{b}_j \mathbf{u}_k$$

$$\mathbf{b}_j = \mathbf{b}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k^T$$

$$\mathbf{sc} = \varphi_k \mathbf{u}_k^T \mathbf{A}$$

Для $r = k+1$ до n

Для $c = k$ до n

$$a_{r,c} = a_{r,c} - \mathbf{sc}_c * u_r$$

Результаты вычислительных экспериментов. В качестве объекта исследований была выбрана параллельная вычислительная система с общей памятью [1], построенная на базе многоядерных микропроцессоров Xeon E5-2650v3(x2) 2.3 GHz. Эта система входит в состав вычислительного кластера кафедры ЭВМ и систем Волгоградского государственного технического университета.

В таблице 1 приведены результаты, полученные для последовательных алгоритмов приведения матрицы произвольного вида к Хессенберговой форме. Программы были написаны на языке C, в качестве базового типа использовался вещественный тип с двойной точностью double.

Таблица 1 – Время приведения исходной матрицы к Хессенберговой форме с использованием последовательных вычислений, с

Размерность матриц	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Алгоритм 1	0,13	1,36	4,82	13,2	29,8	53,7	87	173
Алгоритм 2	0,13	1,34	4,7	12,8	26,5	48,4	79,8	155,2
Алгоритм 3	0,1	0,87	3,22	8,3	19,4	35	59,9	113,2
Алгоритм 4	0,1	0,8	2,96	8,23	18,1	34,7	59,5	113,1
Размерность матриц	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
Алгоритм 1	224,5	329,4	449,6	646,1	779,9	933,3	1106,2	1308,6
Алгоритм 2	201,6	285,2	381,8	553,2	673,6	858,3	1064,3	1347,4
Алгоритм 3	142,8	205,2	283,1	400	490,3	613	730,6	872,1
Алгоритм 4	142,6	205	282,5	396	484,4	617,1	766,4	940,2

Алгоритмы в таблице 1 обозначены следующим образом:

- Алгоритм 1 – приведение матрицы к верхней Хессенберговой форме с использованием традиционного преобразования Хаусхолдера (3);
- Алгоритм 2 – приведение матрицы к нижней Хессенберговой форме с использованием традиционного преобразования Хаусхолдера (4);
- Алгоритм 3 – приведение матрицы к верхней Хессенберговой форме с использованием предложенного строчно-ориентированного преобразования Хаусхолдера (5);
- Алгоритм 4 – приведение матрицы к нижней Хессенберговой форме с использованием предложенного строчно-ориентированного преобразования Хаусхолдера (6).

Анализируя данные, представленные в таблице 1, можно сделать следующие выводы:

- вычислительные схемы, в которых вычисление вектора отражения основано на элементах строк, оказываются более эффективными по сравнению со схемами, в которых вычисление вектора отражения основано на элементах столбцов; алгоритм (4) эффективнее алгоритма (3), алгоритм (6) эффективнее алгоритма (5);

- с увеличением размерности обрабатываемых матриц эффективность строчных и столбцовых схем становится примерно одинаковой, на больших размерностях (свыше 8000) более эффективными оказываются столбцовые схемы;

- алгоритмы, основанные на предложенном строчно-ориентированном преобразовании Хаусхолдера (5) и (6) эффективнее алгоритмов, основанных на традиционном преобразовании Хаусхолдера (3) и (4).

Для наглядности результаты, представленные в таблице 1, приведены на рисунке 3.

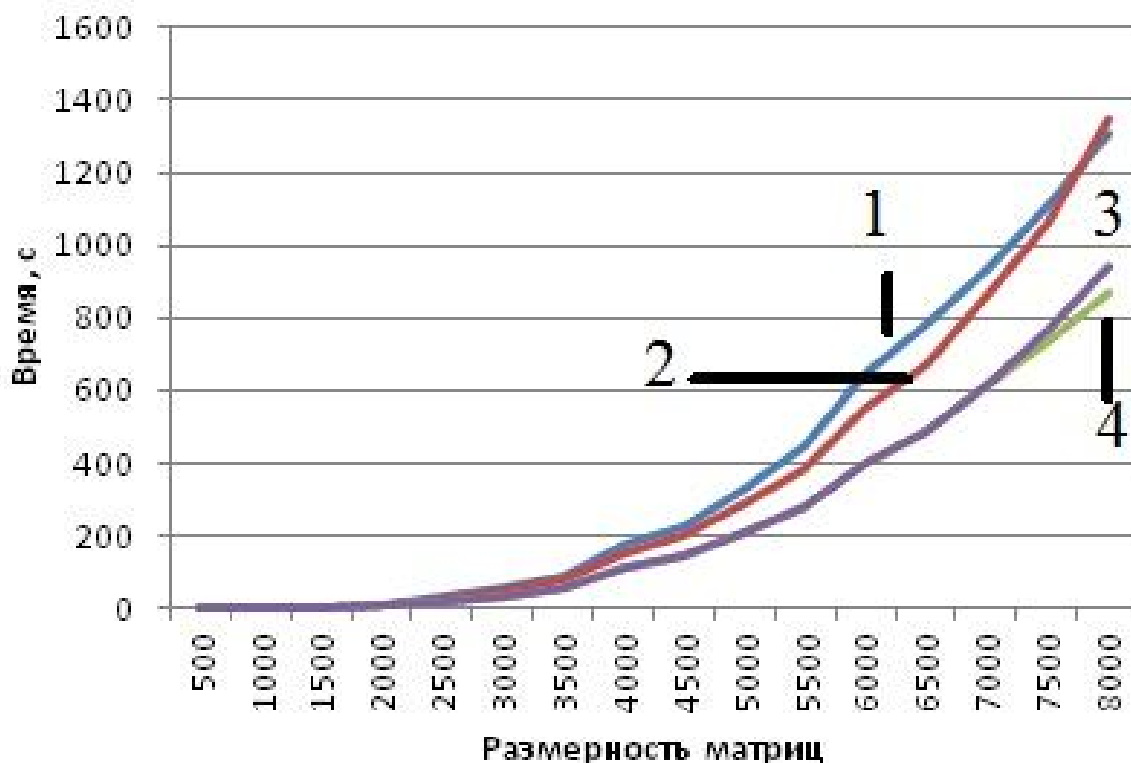


Рисунок 3 – Время приведения исходной матрицы к Хессенберговой форме с использованием последовательных вычислений, с

Все приведенные алгоритмы хорошо распараллеливаются. В таблице 2 приведены результаты, полученные для программ, реализующих алгоритмы приведения матрицы произвольного вида к Хессенберговой форме с использованием параллельных вычислений.

Таблица 2 – Время приведения исходной матрицы к Хессенберговой форме с использованием параллельных вычислений, с

Размерность матриц	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Алгоритм 1	0,06	0,39	1,35	3,19	6,71	12	19,78	39,6
Алгоритм 2	0,1	0,59	1,69	3,65	8	14,6	23,84	47,5
Алгоритм 3	0,06	0,47	1,26	2,83	5,53	9,94	15,8	28,8
Алгоритм 4	0,09	0,46	1,37	3,3	6,54	11,2	16,7	32,7
Размерность матриц	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
Алгоритм 1	50,4	72,9	98,82	147,9	185,7	227,6	275,9	327,1
Алгоритм 2	62,2	89	123	171	209,5	267	320	396,8
Алгоритм 3	34,5	43,9	56,2	75,4	92,4	109,5	133,9	167,7
Алгоритм 4	34,5	62,4	88,2	129,2	159,2	191,9	233,8	289,7

Данные, приведенные в таблице 2, получены с использованием распараллеливания вычислений на 5 параллельных потоках. Интерес представляет полученное ускорение с использованием каждого алгоритма, по отношению к базовой вычислительной схеме – приведению матрицы к верхней Хессенберговой форме с использованием традиционного преобразования Хаусхолдера, выполняемого в виде последовательных вычислений. Данные по ускорению приведены в таблице 3. Стоит отметить, что для па-

параллельных реализаций по-прежнему лучшими оказались алгоритмы, основанные на строчно-ориентированной вычислительной схеме. Однако в каждой паре алгоритмов на этот раз более эффективными оказались алгоритмы приведения матриц к верхней Хессенберговой форме.

Таблица 3 – Ускорение полученных программ с параллельными вычислениями по отношению к базовому алгоритму приведения матрицы к верхней Хессенберговой форме с использованием традиционного преобразования Хаусхолдера

Размерность матриц	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Алгоритм 1	2,26	3,49	3,56	4,15	4,44	4,46	4,4	4,37
Алгоритм 2	1,26	2,35	2,86	3,62	3,7	3,68	3,65	3,64
Алгоритм 3	2,06	2,9	3,83	4,68	5,38	5,4	5,5	6
Алгоритм 4	1,42	2,96	3,52	4	4,55	4,79	5,2	5,3
Размерность матриц	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
Алгоритм 1	4,46	4,52	4,55	4,37	4,2	4,1	4,01	4
Алгоритм 2	3,61	3,7	3,65	3,78	3,72	3,5	3,46	3,3
Алгоритм 3	6,5	7,50	8	8,56	8,44	8,52	8,26	7,8
Алгоритм 4	5,3	5,28	5,1	5	4,9	4,86	4,73	4,52

Для большей наглядности результаты полученных ускорений приведены на рисунке 4.

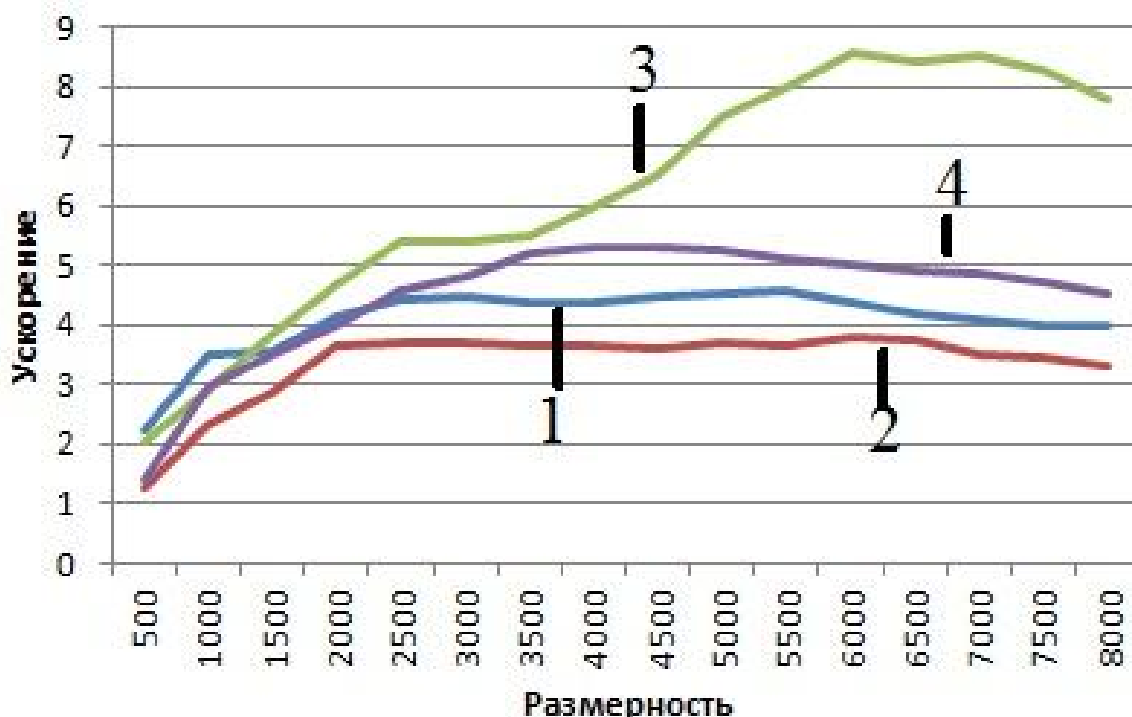


Рисунок 4 – Ускорение полученных программ с параллельными вычислениями по отношению к базовому алгоритму приведения матрицы к верхней Хессенберговой форме с использованием традиционного преобразования Хаусхолдера

Наиболее интересным результатом является ускорение работы базового алгоритма более чем в пять раз на пяти параллельных потоках в алгоритмах 3 и 4. Это произошло за счет того, что последовательные реализации строчно-ориентированных вычислительных алгоритмов, рассмотренных выше, уже сами по себе работают гораздо быстрее базового алгоритма. Поэтому их распараллеливание приводит к таким хорошим результатам. Если проанализировать данные таблиц 1 и 2, можно сделать вывод, что для одной и той же вычислительной схемы показатель ускорения не будет превышать числа ядер – в данном случае пяти.

Выводы. 1. Предложенные алгоритмы строчно-ориентированных преобразований Хаусхолдера оказываются более эффективными, чем алгоритмы традиционного преобразования Хаусхолдера на параллельных вычислительных системах с общей памятью. 2. Все полученные вычислительные схемы хорошо распараллеливаются. Наилучший алгоритм позволяет получить ускорение по отношению к базовому алгоритму, даже превышающее число ядер микропроцессора.

Библиографический список

1. Андреев А. Е. Технологии программирования многопроцессорных систем : учебное пособие / А. Е. Андреев, В. А. Егун, О. В. Шаповалов. – Волгоград, 2015.
2. Егун В. А. О влиянии кэш-памяти на эффективность программной реализации базовых операций линейной алгебры / В. А. Егун // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 3. – С. 88–96.
3. Егун В. А. Оценка эффективности программной реализации QR-разложения на многоядерных архитектурах / В. А. Егун, С. И. Кириносенко, П. Д. Кравченко, О. О. Шумейко // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – Волгоград, 2017. – № 1 (196). – С. 56–59.
4. Новак А. Е. Параллельный алгоритм построения QR-разложения разреженных матриц для систем с общей памятью / А. Е. Новак, С. А. Лебедев // Суперкомпьютерные дни в России : труды Международной конференции. – 2018. – С. 841–847.
5. Уилкинсон Райнш. Справочник алгоритмов на языке АЛГОЛ: Линейная алгебра : пер. с англ. / Райнш Уилкинсон ; под общ. рук. С. П. Забродина ; под ред. Ю. И. Топчеева. – Москва : Машиностроение, 1976. – 390 с.
6. Anderson M. Communication-avoiding QR decomposition for GPUs / M. Anderson, G. Ballard, J. Demmel, K. Keutzer // Proceedings of the 25th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, IPDPS 2011. – 2011. – Art. no. 6012824. – P. 48–58.
7. Baker C. G. Anasazi software for the numerical solution of large-scale eigenvalue problems / C. G. Baker, U. L. Hetmaniuk, R. B. Lehoucq, H. K. Thornquist // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2009. – № 36 (3). – Art. no. 13. – DOI: 10.1145/1527286.1527287.
8. Bogoya J. M. Extreme individual eigenvalues for a class of large hessenberg toeplitz matrices / J. M. Bogoya, S. M. Grudsky, I. S. Malysheva // Operator Theory: Advances and Applications. – 2018. – № 271. – P. 119–143.
9. Bujanovic Z. A householder-based algorithm for hessenberg-triangular reduction / Z. Bujanovic, L. Karlsson, D. Kressner // SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications. – 2018. – № 39 (3). – P. 1270–1294.
10. Egunov V. A. Implementation of QR and LQ decompositions on shared memory parallel computing systems / V. A. Egunov, A. E. Andreev // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Chelyabinsk, Russia, 19–20 May 2016). – 2016. – 5 p. – DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911607.
11. Eljammaly M. On the tunability of a new Hessenberg reduction algorithm using parallel cache assignment / M. Eljammaly, L. Karlsson, B. Kagstrom // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2018. – 10777 LNCS. – P. 579–589.
12. Polizzi E. Density-matrix-based algorithm for solving eigenvalue problems / E. Polizzi // Physical Review B-Condensed Matter and Materials Physics. – 2009. – № 79 (11). – Art. no. 115112. – DOI: 10.1103/PhysRevB.79.115112.
13. Salam A. An upper J-Hessenberg reduction of a matrix through symplectic Householder transformations / A. Salam, H. B. Kahla // Computers and Mathematics with Applications. – 2019.

References

1. Andreev A. E., Egunov V. A., Shapovalov O. V. *Tekhnologii programmirovaniya mnogoprocessornykh system* [Programming technologies for multiprocessor systems]. Volgograd, 2015.
2. Egunov V. A. O vliyani kesh-pamyati na effektivnost programmnoy realizatsii bazovykh operatsiy lineynoy algebr [On the influence of cache memory on the effectiveness of software implementation of basic operations of linear algebra]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii* [Periodical: Control and High Technologies], 2018, no. 3, pp. 88–96.
3. Egunov V. A., Kirnosenko S. I., Kravchenya P. D., Shumeyko O. O. Otsenka effektivnosti programmnoy realizatsii QR-razlozheniya na mnogoyadernykh arkhitekturakh [Evaluating the effectiveness of software implementation of QR-decomposition on multicore architectures]. *Izvestiya VolgGTU. Ser. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitelnoy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series: Actual problems of control, computer engineering and Informatics in technical systems]. Volgograd, 2017, no. 1 (196), pp. 56–59.
4. Novak A. E., Lebedev S. A. Parallelnyy algoritm postroyeniya QR-razlozheniya razrezhennykh matrits dlya sistem s obshchey pamyaty [Parallel algorithm for constructing QR-decomposition of sparse matrices for systems with shared memory]. *Superkompyuternyye dni v Rossii : trudy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Supercomputer days in Russia : Proceedings of the International Conference], 2018, pp. 841–847.
5. Uilkinson Raynsh. *Spravochnik algoritmov na yazyke ALGOL: Lineynaya algebra* [Handbook for Automatic Computation Linear Algebra]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1976. 390 p.
6. Anderson M., Ballard G., Demmel J., Keutzer K., Communication-avoiding QR decomposition for GPUs. *Proceedings of the 25th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, IPDPS 2011*, (2011) art. no. 6012824, pp. 48–58.
7. Baker C. G., Hetmaniuk U. L., Lehoucq R. B., Thornquist H. K., Anasazi software for the numerical solution of large-scale eigenvalue problems. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 2009, no. 36 (3), art. no. 13. DOI: 10.1145/1527286.1527287.
8. Bogoya J. M., Grudsky S. M., Malysheva I. S. Extreme individual eigenvalues for a class of large hessenberg toeplitz matrices. *Operator Theory: Advances and Applications*, 2018, no. 271, pp. 119–143.
9. Bujanovic Z., Karlsson L., Kressner D. A householder-based algorithm for hessenberg-triangular reduction. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 2018, no. 39 (3), pp. 1270–1294.
10. Egunov V. A., Andreev A. E. Implementation of QR and LQ decompositions on shared memory parallel computing systems. *2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Chelyabinsk, Russia, 19–20 May 2016)*. 2016. 5 p. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911607.

11. Eljammaly M., Karlsson L., Kagstrom B. On the tunability of a new Hessenberg reduction algorithm using parallel cache assignment. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2018, 10777 LNCS, pp. 579–589.
12. Polizzi E. Density-matrix-based algorithm for solving eigenvalue problems. *Physical Review B-Condensed Matter and Materials Physics*, 2009, no. 79 (11), art. no. 115112. DOI: 10.1103/PhysRevB.79.115112.
13. Salam A., Kahla H. B. An upper J-Hessenberg reduction of a matrix through symplectic Householder transformations. *Computers and Mathematics with Applications*, 2019.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 519.72+004

МЕТОД ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДИОФАНТОВЫХ УРАВНЕНИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ НА ИХ ОСНОВЕ¹

Статья поступила в редакцию 25.02.2019, в окончательной варианте – 08.03.2019.

Осипян Валерий Осипович, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
доктор физико-математических наук, доцент, ORCID 0000-0001-6558-7998, e-mail: v.osipyan@gmail.com

Григорян Эвелина Самвеловна, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
бакалавр, e-mail: EvoGrigoryan@mail.ru

Приведен метод параметризации однородных и других многостепенных диофантовых уравнений второй степени специального вида. На их основе разработаны математические модели симметричных и асимметричных систем защиты информации. Предложен оригинальный гибридный метод (SO-метод) разработки систем защиты информации, обобщающий принцип построения криптосистем с открытым ключом, на основе NP-полной задачи о нестандартном рюкзаке и задачи числовых решений диофантовых уравнений заданной размерности и степени. Числовые эквиваленты элементарных сообщений указанных систем – суть числовые решения заданного диофантова уравнения. Криптоанализ описанных математических моделей демонстрирует потенциал применения диофантовых уравнений для разработки систем защиты информации с высокой степенью надёжностью. В отличие от классических асимметричных криптосистем, данный тип математической модели асимметричной криптосистемы позволяет разделять секрет по заданному алгоритму. В частности, такие модели систем допускают существование множества равновероятных ключей, так как соответствующее диофантово множество заданной размерности состоит из счётного количества числовых элементов.

Ключевые слова: система защиты информации, информационная технология, прямое и обратное преобразование данных, симметричная криптосистема, криптосистема с открытым ключом, многостепенное диофантово уравнение, параметризация диофантова уравнения, диофантовы трудности, математическое моделирование

METHOD OF PARAMETRIZATION OF DIOPHANTINE EQUATIONS AND MATHEMATICAL MODELING OF DATA PROTECTION SYSTEMS ON THEIR BASIS

The article was received by editorial board on 25.02.2019, in the final version – 08.03.2019.

Osipyan Valeriy O., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, ORCID 0000-0001-6558-7998, e-mail: v.osipyan@gmail.com

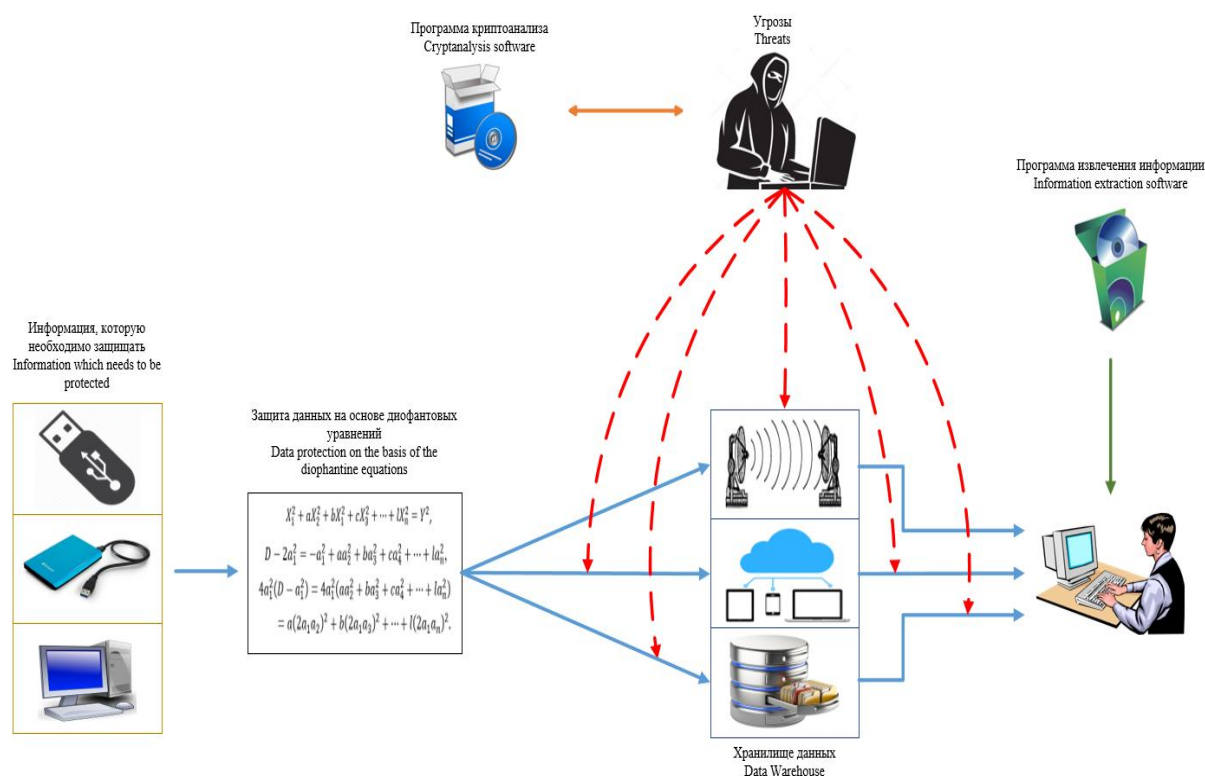
Grigoryan Evelina S., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, bachelor, e-mail: EvoGrigoryan@mail.ru

The method of parametrization of homogeneous and other multi-degree Diophantine equations of the second degree of a special type is given and mathematical models of symmetric and asymmetric information protection systems are developed on their basis. An original hybrid method (SO method) for the development of information protection systems, generalizing the principle of construction of public key cryptosystems, based on NP-complete problem of non-standard backpack and the problem of numerical solutions of Diophantine equations of a given dimension and degree, is proposed. The numerical equivalents of the elementary messages of these systems are the numerical solutions of a given Diophantine equation. Cryptanalysis of the described mathematical models demonstrates the potential of applying Diophantine equations for the development of GIS with a high degree of reliability. Unlike classical asymmetric cryptosystems, this type of mathematical model of asymmetric cryptosystem shares a secret according to a given algorithm. In particular, such models of systems admit the existence of a set of equally probable keys, since the corresponding Diophantine set of a given dimension consists of a countable number of numerical elements.

Key words: information security system, information technology, direct and inverse data transformation, symmetric cryptosystem, public key cryptosystem, multi-degree Diophantine equation, parametrization of Diophantine equation, Diophantine difficulties, mathematical modelling

¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 19-01-00596.

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. С учетом базовых теоретических положений построения математических моделей эффективных систем защиты информации (СЗИ, криптосистем) мы исходим из необходимости использования для целей защиты сложных математических задач, решение которых потребует от нелегального пользователя большого объема вычислительных ресурсов и работ. К таким задачам, следуя К. Шеннону [26], относятся задачи, содержащие «диофантовы трудности». Их использование препятствует возможности сократить множество перебираемых ключей.

Интенсивное развитие информационно-телекоммуникационных технологий [3] объективно ведет к снижению криптостойкости используемых шифров. Основная идея данной работы состоит в реализации сложной по К. Шеннону криптосистемы защиты информации, содержащей диофантовы трудности, позволяющие смоделировать стойкие системы передачи и защиты информации. Подчеркнем, что К. Шенноном [26] отмечалось, что наибольшей неопределенностью при подборе ключей, обладают СЗИ, содержащие именно диофантовы трудности.

В первой части данной работы приводится метод параметризации однородного многостепенного диофантова уравнения (ДУ) второй степени специального вида, используемые нами при построении математических моделей эффективных СЗИ. Для таких криптосистем передаваемым сообщением является числовое решение заданного диофантова уравнения. Приведены утверждения, которые позволяют описать свойства параметрических решений указанных и других диофантовых уравнений, необходимых для разработки математических моделей СЗИ на их основе.

Во второй части работы приводится авторская математическая модель алфавитной системы защиты данных в виде кортежа; разрабатываются математические модели алфавитных криптосистем защиты информации на основе ДУ второй степени, содержащих диофантовы трудности как для симметричной СЗИ, так и для СЗИ с открытым ключом. В частности, предложены математические модели симметричной биграммной и блочной криптосистем.

Метод параметризации однородного многостепенного диофантова уравнения второй степени. Предварительно приведём некоторые сведения, используемые нами в дальнейшем при построении математической модели СЗИ, содержащей диофантовы трудности.

Как известно [4–6], под ДУ понимают полиномиальное уравнение

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad (1)$$

коэффициенты которого суть целые числа, и решение требуется найти тоже в целых или целых неотрицательных числах. Задача решения ДУ типа (1), как правило, заключается в поиске целочисленных решений заданного уравнения или доказательства того, что таких решений нет.

Так, например, ДУ второй степени с одним параметром k (для определённости $k \in \mathbb{N}$)

$$X^2 + kY^2 = Z^2$$

обладает следующим общим двухпараметрическим решением:

$$X = -a^2 + kb^2, Y = 2ab, Z = a^2 + kb^2,$$

где a и b – произвольные целые числовые параметры [15].

Ниже мы рассмотрим метод параметризации многостепенного однородного ДУ второй степени специального вида. В монографии Л.Е. Диксона [15 с. 318] приводится (без доказательства) следующее тождество японской исследовательницы Аиды Аммей:

$$(a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2)^2 = (-a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2)^2 + (2a_1a_2)^2 + (2a_1a_3)^2 + \dots + (2a_1a_n)^2. \quad (2)$$

По утверждению Л.Е. Диксона, это тождество было получено в 1817 г., но опубликовано в Европе лишь в 1897 г., и является обобщением общеизвестного тождества

$$(a_1^2 + a_2^2)^2 = (-a_1^2 + a_2^2)^2 + (2a_1a_2)^2. \quad (3)$$

Если (3) даёт все решения в целых числах уравнения $X^2 + Y^2 = Z^2$, то (2) даёт бесконечное множество решений в целых числах уравнения

$$X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2 = Y^2$$

в виде

$$\begin{cases} X_1 = -a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2, \\ X_r = 2a_1a_r, \quad r = 2, 3, \dots, n, \\ Y = a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2. \end{cases}$$

Рассмотрим следующее многостепенное однородное ДУ второй степени специального вида

$$X_1^2 + aX_2^2 + bX_3^2 + cX_4^2 + \dots + lX_n^2 = Y^2, \quad (4)$$

где $a, b, c, \dots, l$ – заданные целые числа. Для получения бесконечного множества целых решений этого уравнения сначала докажем следующее тождество, обобщающее тождество А. Аммей:

$$(a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2)^2 = (-a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2)^2 + (2a_1a_2)^2 + b(2a_1a_3)^2 + c(2a_1a_4)^2 + \dots + l(2a_1a_n)^2. \quad (5)$$

Воспользуемся следующим очевидным тождеством

$$D^2 = (D - 2a_1^2)^2 + 4a_1^2(D - a_1^2).$$

В этом тождестве положим $D = a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2$. Тогда

$$D - 2a_1^2 = -a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2,$$

$$4a_1^2(D - a_1^2) = 4a_1^2(aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2) = a(2a_1a_2)^2 + b(2a_1a_3)^2 + \dots + l(2a_1a_n)^2.$$

Следовательно, учитывая значения $D, D - 2a_1^2, 4a_1^2(D - a_1^2)$, получаем тождество (5) и следующее общее параметрическое решение уравнения (4):

$$\begin{cases} X_1 = -a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2, \\ X_r = 2a_1a_r, \quad r = 2, 3, \dots, n, \\ Y = a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2. \end{cases}$$

Из (5) при $a = b = c = \dots = l = 1$ получается (2).

Согласно тождеству (5), квадрат числа вида

$$a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2$$

всегда можно представить в том же виде. Поэтому мы можем

$$(a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2)^{2^m}$$

представить в виде $A_1^2 + aA_2^2 + bA_3^2 + \dots + lA_n^2$ и, следовательно, решить в целых числах уравнение

$$A_1^2 + aA_2^2 + bA_3^2 + \dots + lA_n^2 = Y^{2^m}.$$

Например, для $m = 2$ достаточно возводить в квадрат

$$M = (-a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2)^2 + a(2a_1a_2)^2 + b(2a_1a_3)^2 + c(2a_1a_4)^2 + \dots + l(2a_1a_n)^2.$$

Тогда пользуясь формулой (5), получаем:

$$M^2 = [(-a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2)^2 + a(2a_1a_2)^2 + b(2a_1a_3)^2 + c(2a_1a_4)^2 + \dots + l(2a_1a_n)^2]^2 + a(2a_1a_2R)^2 + b(2a_1a_3R)^2 + \dots + l(2a_1a_nR)^2, \text{ где } R = -a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + \dots + la_n^2.$$

Таким образом, бесконечное множество целых решений уравнения

$$X_1^2 + aX_2^2 + bX_3^2 + cX_4^2 + \dots + lX_n^2 = Y^4$$

получаем по формулам:

$$X_1 = -R^2 + a(2a_1a_2)^2 + b(2a_1a_3)^2 + c(2a_1a_4)^2 + \dots + l(2a_1a_n)^2,$$

$$X_r = 2a_1a_rR, \quad r = 2, 3, \dots, n, Y = R + 2a_1^2$$

$$R = -a_1^2 + aa_2^2 + ba_3^2 + ca_4^2 + \dots + la_n^2.$$

В работе Е. Фаукуемберга ("Mathesis", 2, 3, 1893, с. 235) опубликовано тождество

$$(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_i^2 + \dots + a_n^2)^2 = (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_i^2 - a_{i+1}^2 - a_{i+2}^2 \dots - a_n^2)^2 + \sum_{r=1}^i \sum_{s=i+1}^n (2a_ra_s)^2. \quad (6)$$

Это тождество приводит также Л.Е. Диксон в [15], но без доказательства. Тождество Е. Фаукуемберга доставляет бесконечное множество целых решений уравнения

$$X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 + \dots + X_k^2 = Y^2, k = 1 + i(n - i)$$

в виде:

$$X_1 = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_i^2 - a_{i+1}^2 - a_{i+2}^2 - \dots - a_n^2,$$

$$X_2 = 2a_1a_{i+1},$$

$$X_3 = 2a_2a_{i+1},$$

...

$$X_k = 2a_ia_n.$$

Заметим, что тождество (6) является частным случаем следующего более общего тождества:

$$(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + aa_{i+1}^2 + ba_{i+2}^2 + \dots + la_n^2)^2 = (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_i^2 - aa_{i+1}^2 - ba_{i+2}^2 \dots - la_n^2)^2 + a \sum_{r=1}^i (2a_{i+1}a_r)^2 + b \sum_{r=1}^i (2a_{i+2}a_r)^2 + \dots + l \sum_{r=1}^i (2a_na_r)^2. \quad (7)$$

Докажем тождество (7). Пусть

$$Q = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_i^2,$$

$$P = aa_{i+1}^2 + ba_{i+2}^2 + \dots + la_n^2.$$

Тогда из тождества $(Q + P)^2 = (Q - P)^2 + 4PQ$

имеем:

$$(Q + P)^2 = (Q - P)^2 + (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_i^2)[a(2a_{i+1})^2 + b(2a_{i+2})^2 + \dots + l(2a_n)^2] = (Q - P)^2 + a \sum_{r=1}^i (2a_{i+1}a_r)^2 + b \sum_{r=1}^i (2a_{i+2}a_r)^2 + \dots + l \sum_{r=1}^i (2a_na_r)^2,$$

откуда и получаем тождество (7). При $a = b = \dots = l = 1$ из (7) следует (6).

Тождество (7) доставляет бесконечное множество целых решений ДУ (8):

$$X_1^2 + a(X_2^2 + X_3^2 + \dots + X_{i+1}^2) + b(X_{i+2}^2 + X_{i+3}^2 + \dots + X_{2i+1}^2) + \dots + l(X_{k-i}^2 + X_{k-i+1}^2 + \dots + X_k^2) = Y^2 \quad (8)$$

в виде:

$$X_1 = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_i^2 - aa_{i+1}^2 - ba_{i+2}^2 \dots - la_n^2$$

$$X_2 = 2a_1a_{i+1},$$

$$X_3 = 2a_2a_{i+1},$$

...

$$X_k = 2a_ia_n,$$

$$Y = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + aa_{i+1}^2 + ba_{i+2}^2 + \dots + la_n^2,$$

где $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ — произвольные целые числа.

Математическая модель алфавитной систем защиты информации. Как известно, математическая модель алфавитной криптосистемы, разработанная автором [6], представляется в виде следующего кортежа:

$$\sum_0 = \langle \mathbf{M}^*, \mathbf{Q}, \mathbf{C}^*, \mathbf{E}(\mathbf{m}), \mathbf{D}(\mathbf{c}) | \mathbf{V}(\mathbf{E}(\mathbf{m}), \mathbf{D}(\mathbf{c})) \rangle, \quad (9)$$

где M^* – множество всех сообщений $m = m_1 m_2 \dots m_k$ (открытых текстов) над буквенным или числовым алфавитом M ;

$m_i, i = 1 \dots k$ – элементарные сообщения (в частности, буквы или конкатенации букв из алфавита M);

Q – множество всех числовых эквивалентов элементарных сообщений m_i из M^* ;

C^* – множество всех шифртекстов (криптограмм) $c = c_1 c_2 \dots c_k$ над алфавитом C , в частности, возможно $M = Q = C$;

$E(m)$ – алгоритм прямого преобразования (шифрования) сообщения m в c ;

$D(c)$ – алгоритм обратного преобразования (дешифрования) шифртекста (криптограммы) c в $m \in M^*$.

Подчеркнем, что алгоритмы $E(m)$ и $D(c)$ алфавитной криптосистемы (9) связаны между собой таким образом – $V(E(m), D(c))$, что всегда произвольное сообщение $m = m_1 m_2 \dots m_k \in M^*$ однозначно преобразовывается в соответствующую криптограмму (шифртекст) $c = c_1 c_2 \dots c_k \in C^*$ и обратно. Поэтому по криптограмме c всегда однозначно восстанавливается переданное сообщение m .

Альтернативным обозначением алгоритмов $E(m)$ и $D(c)$ для алфавитной криптосистемы (9) является K_E (или F_E) и K_D (или F_D) соответственно, как принято считать в классической криптографии [1, 5–7, 9, 15, 22–25]. Мы их назовём иначе ключами (или функциями) шифрования и дешифрования соответственно. Автор не претендует на полноту освещения аналогичных математических моделей алфавитных криптосистем (9). Единственная его цель – формально описать произвольную криптосистему.

Математическая модель симметричной биграммной криптосистемы, содержащей диофантовы трудности. Рассмотрим математическую модель систем защиты данных на основе труднорешаемой задачи нахождения корней ДУ вида (1), для которого алгоритмы $E(m)$ и $D(c)$ прямого и обратного преобразований строятся на основе решений указанного уравнения. Для наглядности в качестве первого примера рассмотрим ДУ второй степени (10) с коэффициентом k ($k \in \mathbb{N}$) при Y^2

$$X^2 + kY^2 = Z^2, \quad (10)$$

и его следующий класс решений над натуральными числами N в виде:

$$X = -a^2 + kb^2, Y = 2ab, Z = a^2 + kb^2, b > a,$$

где a и b – произвольные натуральные числа (в более общем случае можно рассмотреть его решения над Z или Q).

Рассмотрим математическую модель алфавитной симметричной криптосистемы с проверкой на модификацию сообщения m , содержащей диофантовы трудности. Пусть элементами открытого и закрытого текстов являются отдельные заглавные буквы английского 26-буквенного алфавита от A до Z с соответствующими числовыми эквивалентами последовательно от 0 до 25 (если m – элементарное сообщение, то её числовой эквивалент обозначим как q). Очевидно, в общем случае в качестве числовых эквивалентов можно взять некоторую случайную числовую последовательность.

В данном пункте рассмотрим криптосистему, элементарные сообщения которой суть биграммы 27-буквенного алфавита, состоящего из букв $A-Z$ и пробела (с числовым эквивалентом 26 – следующего за эквивалентом для Z), а в качестве числового эквивалента для биграммы $m_i m_{i+1}$, состоящей из двух букв m_i и m_{i+1} с эквивалентами $q_i, q_{i+1} \in \{0, 1, \dots, 26\}$, возьмём целое число

$$27q_i + q_{i+1} \in \{0, 1, \dots, 728\}.$$

Так, например, биграмме DI соответствует целое число $27 \cdot 3 + 8 = 89$.

Примем следующие обозначения:

$$C_L(a, b, v) = (-a^2 + kb^2)^2 + (2ab)^2 + v \quad (11)$$

– функция прямого преобразования биграмм: преобразованная левая часть уравнения (10), v – секретный ключ; $C(m_i m_{i+1})$ – шифр биграммы $m_i m_{i+1}$ (предварительно исходное сообщение m разбиваем на биграммы с добавлением пробела, если m содержит нечётное число элементарных сообщений);

$$C_R(a, b, v) = (a^2 + kb^2)^2 - v \quad (12)$$

– модифицированная правая часть уравнения (10), которая является функцией обратного преобразования.

Заметим, что для практических приложений можно установить «лазейку» v для легального пользователя таким образом, чтобы криптостойкость указанной СЗИ зависела только от выбора ключа v в соответствии с принципом Керкгоффса [1].

Пример 1. Итак, пусть исходное ДУ имеет вид:

$$X^2 + 13Y^2 = Z^2$$

и

$$M = \{A, B, C, \dots, Y, Z\}$$

– алфавит заглавных букв английского алфавита со множеством числовых эквивалентов элементарных сообщений Q . Пусть сообщение m имеет вид:

$$m = DIOPHANT$$

с числовыми эквивалентными букв, представленных в таблице. Определим, например, открытый ключ v как числовой эквивалент для биграммы $m_i m_{i+1}$.

Таблица – Числовые эквиваленты некоторых английских заглавных букв, соответствующих их порядковым номерам в латинском алфавите

m_i	D	I	O	P	H	A	N	T
q_i	3	8	14	15	7	0	13	19

Так, например, шифр первой биграммы $m_1m_2 = DI$ сообщения m определяем на основе формулы (11) как числовое значение

$$C_L(a, b) = (-a^2 + 13b^2)^2 + 13(2ab)^2 + 27a + b$$

при $a = 3, b = 8$, т.е.

$$C(m_1m_2) = C(DI) = C_L(3, 8) = 707370.$$

Перед нелегальным пользователем стоит трудно вычисляемая задача – представить шифр $C_L(3, 8) = 707370$ в виде суммы слагаемых вида (11) с параметрами a, b и установить значения числовых эквивалентов букв D и I , т.е. решить уравнение

$$(-a^2 + 13b^2)^2 + 13(2ab)^2 + 27a + b = 707370.$$

Алгоритм определения тех же значений a, b для легального пользователя сводится на основе (12) к следующему алгоритму:

- $v = 1$, пока $C_R(a, b) - v$ не есть полный квадрат $v = v + 1$;
- после того как $C_R(a, b) - v$ станет полным квадратом, вычислить $t = \sqrt{C_R(a, b) - v}$;
- найти a и b из ДУ $C_R(a, b) = t$.

В рассмотренном примере при $v = 89$ имеем следующий полный квадрат:

$$C_R(a, b) = (a^2 + 13b^2)^2 = 707281 = 841^2, \\ a^2 + 13b^2 = 841$$

или

$$x + 13y = 841.$$

Отсюда находим $x = 9, y = 64$. Следовательно, $a = 3, b = 8$ (как решение последнего ДУ) и биграмму $m_1m_2 = DI$ – как переданное сообщение.

Аналогично поступаем и для других биграмм сообщения m .

Построение математической модели асимметричной криптосистемы на основе уравнения (10) производится на основе механизма, рассмотренного в работе автора [6, с. 158]. При этом алгоритмы $E(m)$ и $D(c)$ определяются аналогичным образом.

Математическая модель блочной криптосистемы, содержащей диофантовы трудности.

В предыдущем пункте мы рассмотрели математическую модель симметричной биграммной криптосистемы на основе ДУ второй степени

$$X^2 + kY^2 = Z^2, k \in \mathbb{N}$$

со следующим общим параметрическим решением:

$$X = -a^2 + kb^2, Y = 2ab, Z = a^2 + kb^2, b > a,$$

где a и b – произвольные натуральные числа.

Аналогично можно реализовать алгоритм построения математической модели криптосистемы блочной структуры, исходя из параметрического решения однородного многостепенного диофантова уравнения второй степени (13):

$$X_1^2 + a_2 X_2^2 + a_3 X_3^2 + \dots + a_n X_n^2 = Y^2, \quad (13)$$

со следующим общим параметрическим ($t_1, t_2, \dots, t_n$ – числовые параметры) решением:

$$X_1 = -t_1^2 + a_2 t_2^2 + a_3 t_3^2 + \dots + a_n t_n^2, \\ X_r = 2t_1 t_r, r = 2 \dots n, \\ Y = t_1^2 + a_2 t_2^2 + a_3 t_3^2 + \dots + a_n t_n^2,$$

где $a_2, a_3, \dots, a_n$ – произвольные целые числа.

Рассмотрим гибридный метод (SO-метод) разработки СЗИ, обобщающий принцип построения криптосистем с открытым ключом, на основе NP-полной задачи о нестандартном рюкзаке и задачи числовых решений однородного диофантова уравнения второй степени вида (13).

В силу произвольности коэффициентов $a_2, a_3, \dots, a_n$ сопоставим коэффициентам исходного уравнения (13) сверхрастущий обобщенный рюкзачный вектор $A_p = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ размерности $n, n \geq 3$ с пороговым значением p . Этот вектор состоит из n различных натуральных компонентов $a_i, i = 2 \dots n$ с первым членом $a_1 = 1$. Очевидно, что если рюкзачный вектор p -сверхрастущий, то он инъективен и одновременно возрастающий. Более подробные сведения относительно соответствующих рюкзачных СЗИ и механизма разработки математической модели блочной структуры можно найти в работах авторов [1, 5–8, 21, 23, 24]. Приведем здесь лишь схему и функции прямого и обратного преобразований такой криптосистемы.

Определим для заданного $i, 1 \leq i \leq n$ функцию прямого преобразования как:

$$C_L^i(X_1, X_2, \dots, X_i) = X_1^2 + a_2 X_2^2 + a_3 X_3^2 + \dots + a_i X_i^2,$$

а функцию обратного преобразования в виде:

$$C^{i+1}_R(X_{i+1}, X_{i+2}, \dots, X_n, Y) = Y^2 - a_{i+1} X_{i+1}^2 - a_{i+2} X_{i+2}^2 - a_{i+3} X_{i+3}^2 - \dots - a_n X_n^2.$$

Отметим, в частности, при $i = n$ функция обратного преобразования определяется только правой частью уравнения (13), поэтому мы положим

$$C^{i+1}_R(X_{i+1}, X_{i+2}, \dots, X_n, Y) = C^n_R(Y).$$

Как следует из определений функций $C^i_L(X_1, X_2, \dots, X_i)$ и $C^{i+1}_R(X_{i+1}, X_{i+2}, \dots, X_n, Y)$, они дополняют друг друга и их можно рассмотреть как функции нового класса. В отличие от классических асимметричных криптосистем, данный тип математической модели асимметричной криптосистемы позволяет разделять секрет по заданному алгоритму.

Рассмотрим пример ДУ и соответствующие им функции прямого и обратного преобразований.

Так, например, для размерности $n = 5$ и порогового значения $p = 3$ определим обобщенный рюкзаточный вектор A_3 как [5]:

$$A_3 = (1, 7, 17, 51, 305),$$

с соответствующим ДУ (13):

$$X_1^2 + 7X_2^2 + 17X_3^2 + 51X_4^2 + 305X_5^2 = Y^2, \quad (14)$$

и следующим общим параметрическим решением:

$$X_1 = -t_1^2 + 7t_2^2 + 17t_3^2 + 51t_4^2 + 305t_5^2,$$

$$X_r = 2t_1 t_r, \quad r = 2 \dots 5,$$

$$Y = t_1^2 + 7t_2^2 + 17t_3^2 + 51t_4^2 + 305t_5^2,$$

где $t_1, t_2, \dots, t_5$ – числовые параметры.

Далее для заданного i , например, $i = 5$, аналогично функциям (11, 12), определим функцию прямого преобразования с секретным ключом v как:

$$C^5_L(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) = X_1^2 + 7X_2^2 + 17X_3^2 + 51X_4^2 + 305X_5^2 + v, \quad (15)$$

а функцию обратного преобразования в виде:

$$C^5_R(Y) = Y^2 - v. \quad (16)$$

Отметим, что алгоритмы разработок математических моделей криптосистем (симметричной и с открытым ключом) на основе ДУ (14) ничем не отличаются от соответствующих алгоритмов, приведённых в примере 1. При этом, очевидно, вычислительные затраты у легального и нелегального пользователей не соизмеримы по величине.

Так, для заданного шифра c нелегальному пользователю необходимо решить ДУ (15) второй степени общего вида

$$X_1^2 + 7X_2^2 + 17X_3^2 + 51X_4^2 + 305X_5^2 + v = c$$

или в развёрнутом виде уравнение

$$-t_1^2 + 7t_2^2 + 17t_3^2 + 51t_4^2 + 305t_5^2 + 14t_1 t_2 + 34t_1 t_3 + 102t_1 t_4 + 610t_1 t_5 + v = c,$$

а легальному – уравнение (16)

$$t_1^2 + 7t_2^2 + 17t_3^2 + 51t_4^2 + 305t_5^2 - v = c,$$

которое сводится к ДУ первой степени и решается одним из указанных в [6] способов.

Таким образом, криптоаналитик, помимо прочих качеств, должен обладать ещё умением решать ДУ заранее заданной степени и сложности. Отметим также, что рассматриваемые примеры являются лишь демонстрацией идеи приложения ДУ в области криптографии. Также очевидно, что указанные модели криптосистем далеки от практического применения, так как многие аспекты прикладной криптографии здесь опущены ради реализации идеи К. Шеннона [26].

В заключение отметим, что приведённая методика построения математических моделей криптосистем с помощью SO-метода позволяет разрабатывать эффективные модели СЗИ для практических приложений на основе параметрических решений ДУ более высоких степеней, что является предметом дальнейшего исследования.

Библиографический список

1. Алферов А. П. Основы криптографии / А. П. Алферов, А. Ю. Зубов, А. С. Кузьмин, А. В. Черемушкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Гелиос АРВ, 2002. – 480 с.
2. Виноградов И. М. Основы теории чисел / И. М. Виноградов. – Изд. 9-е, перераб. – Москва : Наука, 1981. – 176 с.
3. Иванов М. А. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях / М. А. Иванов. – Москва : Кудиц-Образ, 2001. – 363 с.
4. Матиясевич Ю. В. Диофантовы множества / Ю. В. Матиясевич // Успехи математических наук. – 1972. – Т. 27, вып. 5. – С. 185–222.
5. Осипян В. О. Моделирование систем защиты информации содержащих диофантовы трудности. Разработка методов решений многостепенных систем диофантовых уравнений. Разработка нестандартных рюкзаточных криптосистем / В. О. Осипян. – LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 344 с.
6. Осипян В. О. Математическое моделирование систем защиты данных на основе диофантовых уравнений / В. О. Осипян // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 151–160.
7. Осипян В. О. Моделирование ранцевых криптосистем, содержащих диофантовую трудность / В. О. Осипян, С. Г. Спирина, А. С. Арутюнян, и В. В. Подколзи // Чебышевский сборник. – 2010. Т. 11, вып. 1. – С. 209–217.

8. Саломаа А. Криптография с открытым ключом / А. Саломаа. – Москва : Мир, 1995. – 318 с.
9. Серпинский В. О решении уравнений в целых числах / В. Серпинский ; пер. с польск. К. Г. Мельникова. – Москва : Физматлит, 1961. – 88 с.
10. Серпинский В. 100 Простых, но одновременно и трудных вопросов арифметики / В. Серпинский. – Москва : Учпедгиз, 1961. – 76 с.
11. Шнайер Б. Прикладная криптография: Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си : пер. с англ. / Б. Шнайер. – Москва : Триумф, 2002. – 816 с.
12. Cassels J. W. S. On a Diophantine Equation / J. W. S. Cassels // *Acta Arithmetica*. – 1960. – Vol. 6. – P. 47–52.
13. Carmichael R. D. The Theory of Numbers and Diophantine Analysis / R. D. Carmichael. – New York, 1959. – 118 p.
14. Chor B. A knapsack-type public key cryptosystem based on arithmetic in finite fields / B. Chor, R. Rivest // *IEEE Transactions on Information Theory*. – 1988. – Vol. IT-34. – P. 901–909.
15. Dickson L. E. History of the Theory of Numbers / L. E. Dickson. – New York, 1971. – Vol. 2. Diophantine Analysis.
16. Gloden A. Mehgradige Gleichungen / A. Gloden. – Groningen, 1944. – P. 104.
17. Gurari E. M. An NP-complete number theoretic problem / E. M. Gurari, O. H. Ibarra // *Proc. 10th Ann. ACM. Symp. On Theory of computing*. – New York, 1978. – P. 205–215.
18. Koblitz N. A Course in Number Theory and Cryptography / N. Koblitz. – New York : Springer-Verlag, 1987. – 235 p.
19. Lenstra A. K. Factoring polynomials with rational coefficients / A. K. Lenstra, H. W. Lenstra, L. Lovasz // *Mathematische annalen*. – 1982. – Vol. 261. – P. 515–534.
20. Lin C. H. A new public-key cipher system based upon the diophantine equations / C. H. Lin, C. C. Chang, R. C. T. Lee // *IEEE Transactions on Computers*. – 1995, Jan. – Vol. 44, issue 1.
21. Merkle R. Hiding information and signatures in trapdoor knapsacks / R. Merkle, M. Hellman // *IEEE Transactions on Information Theory*. – 1978. – Vol. IT-24. – P. 525–530.
22. Mordell L. J. Diophantine equations / L. J. Mordell. – London – New York : Acad. Press, 1969. – 312 p.
23. Osipyan V. O. Buiding of alphabetic data protection cryptosystems on the base of equal power knapsacks with Diophantine problems / V. O. Osipyan // *Sinconf 2012 – 5th International Conference on Security of Information and Networks*. – Jaipur : ACM, 2012. – P. 124–129.
24. Osipyan V. O. Mathematical modelling of cryptosystems based on Diophantine problem with gamma superposition method / V. O. Osipyan // *SIN'15 Proceedings of the 8th International Conference on Security of Information and Networks*. – Sochi : ACM, 2015. – P. 338–341.
25. Sierpinski W. Elementary Theory of Numbers / W. Sierpinski. – Warszawa : Hafner Publishing Company, 1964. – 480 p.
26. Shannon C. Communication theory of secrecy systems / C. Shannon // *Bell System Techn. J.* – 1949. – Vol. 28, № 4. – P. 656–715.

References

1. Alferov A. P., Zubov A. Yu., Kuzmin A. S., Cheremushkin A. V. *Osnovy kriptografii* [Bases of cryptography]. 2nd ed. Moscow, Gelios ARV Publ., 2002. 480 p.
2. Vinogradov. I. M. *Osnovy teorii chisel* [Fundamentals of Number Theory]. 9nd ed. Moscow, Nauka Publ., 1981, 176 p.
3. Ivanov M. A. *Kriptograficheskiye metody zashchity informatsii v kompyuternykh sistemakh i setyakh* [Cryptographic methods of information security in computer systems and networks]. Moscow, Kudits-Obraz Publ., 2001, 363 p.
4. Matiyasevich, Yu. B. Diofantovy mnozhestva [Diophantine sets]. *Uspekhi matematicheskikh nauk* [Successes of Mathematical Sciences], 1972, vol. 27, no. 5, pp. 185–222.
5. Osipyan V. O. Modelirovaniye sistem zashchity informatsii soderzhashchikh diofantovy trudnosti. *Razrabotka metodov resheniy mnogostepennykh sistem diofantovykh uravneniy. Razrabotka nestandardnykh ryukzachnykh kriptosistem: monografiya* [Modeling of systems of protection of information containing the Diophantine difficulties. Development of methods for solving multi-stage systems of Diophantine equations. Development of non-standard knapsack cryptosystems]. LAMBERT Academic Publishing, 2012, 344 p.
6. Osipyan V. O. Matematicheskoe modelirovanie sistem zashchity dannykh na osnove diofantovykh uravneniy [Mathematical modeling of a data protection system based on Diophantine equations]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 151–160.
7. Osipyan V. O., Spirina S. G., Arutyunyan A. S., Podkolzin V. V. Modelirovaniye rantsevykh kriptosistem, soderzhashchikh diofantovuyu trudnosti [Simulation of knapsack cryptosystems containing Diophantine difficulty]. *Chebyshevskiy sbornik* [Chebyshev collection], 2010, vol. 11, no. 1, pp. 209–216.
8. Salomaa A. *Kriptografiya s otkrytym klyuchom* [Cryptography with a public key]. Moscow, Mir Publ., 1995, 318 p.
9. Serpinsky W. *O reshenii uravneniy v tselykh chislakh* [On solving equations in integers]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1961, 88 p.
10. Serpinsky W. *100 prostykh, no odnovenno i trudnykh voprosov arifmetiki* [100 simple, but at the same time difficult questions of arithmetic]. Moscow, Uchpedgiz Publ., 1961, 76 p.
11. Schneier B. *Prikladnaya kriptografiya: Protokoly, algoritmy, iskhodnye teksty na yazyke Si* [Applied cryptography: Protocols, algorithms, source texts in C]. Moscow, Triumph Publ., 2002, 816 p.
12. Cassels J. W. S. On the Diophantine equation. *Acta Arithmetica*, 1960, vol. 6, pp. 47–52.

13. Carmichael R. D. *Theory of numbers and Diophantine Analysis*. New York, 1959. 118 p.
14. Chor B., Rivest R. A knapsack-Type public key cryptosystem based on arithmetic in finite fields of trades. *IEEE on information theory*, 1988, vol. IT-34, pp. 901–909.
15. Dickson L. E. *History of the Theory of Numbers*. New York, 1971, vol. 2: Diophantine Analysis.
16. Gloden A. *Mehgradige Gleichungen*. Groningen, 1944, p. 104.
17. Gurari E. M., Ibarra O. H. An NP-complete number theoretic problem. *Proc. 10th Ann. ACM. Symp. On Theory of computing*, New York, 1978, pp. 205–215.
18. Koblitz N. A Course in Number Theory and Cryptography. New York, Springer-Verlag Publ., 1987. 235 p.
19. Lenstra A. K., Lenstra H. W., Lovasz L. Factoring polynomials with rational coefficients. *Mathematische annalen*, 1982, vol. 261, pp. 515–534.
20. Lin C. H., Chang C. C., Lee R. C. T. A new public-key cipher system based upon the diophantine equations. *IEEE Transactions on Computers*, 1995, Jan., vol. 44, issue 1.
21. Merkle R., Hellman M. Hiding information and signatures in trapdoor knapsacks. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1978, vol. IT-24, pp. 525–530.
22. Mordell L. J. *Diophantine equations*. London, New York, Acad. Press, 1969, 312 p.
23. Osipyan V. O. Buiding of alphabetic data protection cryptosystems on the base of equal power knapsacks with Diophantine problems. *Sinconf 2012 – 5th International Conference on Security of Information and Networks*. Jaipur, ACM Publ., 2012, pp. 124–129.
24. Osipyan V. O. Mathematical modelling of cryptosystems based on Diophantine problem with gamma superposition method. *SIN'15 Proceedings of the 8th International Conference on Security of Information and Networks*. Sochi, ACM Publ., 2015, pp. 338–341.
25. Sierpinski W. *Elementary Theory of Numbers*. Warszawa, Hafner Publ. Company, 1964. 480 p.
26. Shannon C. Communication theory of secrecy systems. *Bell System Techn. J.*, 1949, vol. 28, no. 4, pp. 656–715.

УДК 004.056.53

МОДЕЛЬ И ПРОЕКТНЫЕ ДИАГРАММЫ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ЗАЩИТЫ ПОДСЕТИ ХОСТОВ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ UNIX-ПОДОБНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Статья поступила в редакцию 06.03.2019, в окончательном варианте – 05.04.2019.

Горкавенко Владимир Сергеевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, Татищева, 20а,
магистрант, e-mail: slipmetal@mail.ru

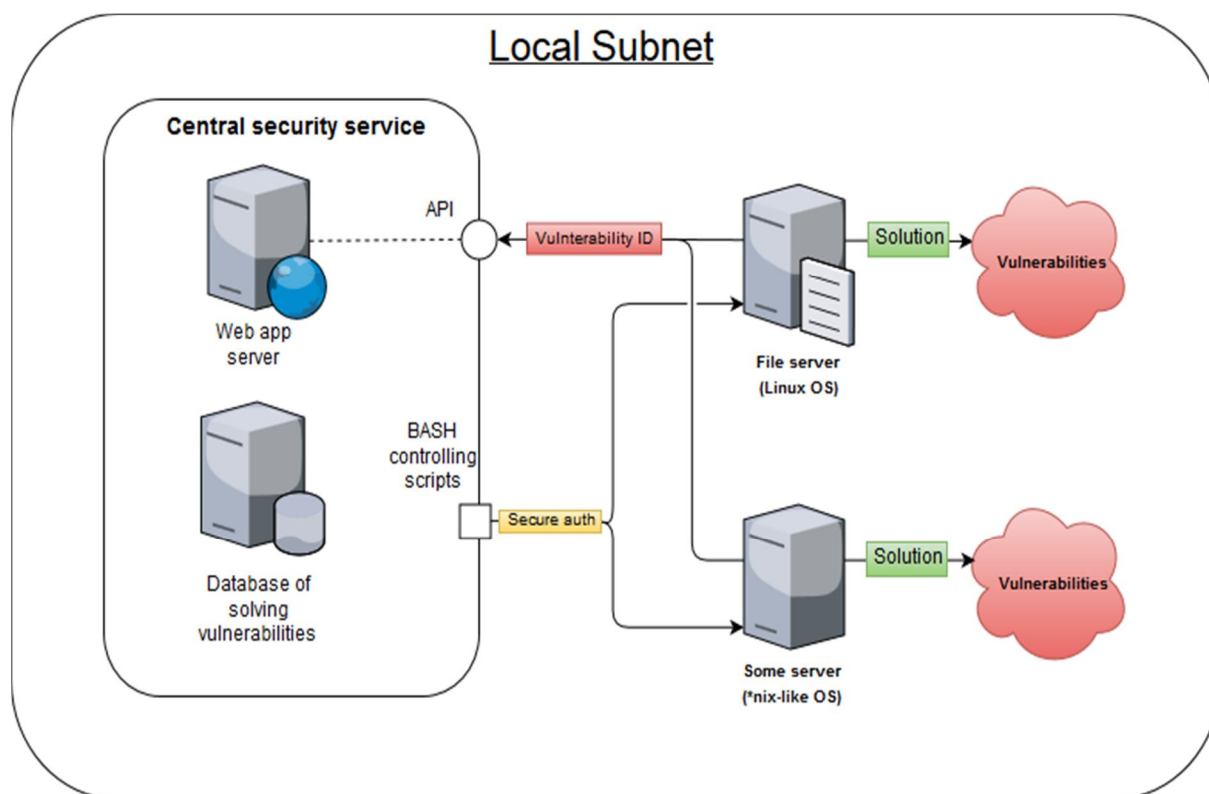
Ажмухамедов Искандар Маратович, Россия, г. Астрахань, Татищева, 20а, Астраханский государственный университет,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности,
e-mail: iskander_agm@mail.ru

Рассмотрено одно из возможных решений задачи защиты от несанкционированного доступа рабочих станций под управлением unix-подобных операционных систем, находящихся в одной подсети, посредством разработки централизованной системы устранения уязвимостей, позволяющей повысить уровень защищенности. Приведена формализация задачи. Предложено реализовать пять основных этапов, которые будет включать в себя алгоритм поиска и применения решения для устранения диагностированной уязвимости на рабочей станции. Согласно предложенному алгоритму, рабочая станция передает на сервер текст, содержащий информацию о диагностированной уязвимости, затем сервер, согласно информации, полученной от рабочей станции, инициирует поиск решения в базе знаний. Если решение найдено, то сервер передает его на рабочую станцию. Если решение не найдено, тогда централизованная система устранения уязвимостей уведомляет об этом лицо, принимающее решение. После передачи найденного решения для устранения диагностированной уязвимости, сервер инициирует его применение на рабочей станции. Во время применения решений для устранения диагностированных уязвимостей, рабочая станция передает на сервер информацию о процессе их применения. Если они по какой-либо причине не были реализованы, централизованная система устранения уязвимостей уведомляет лицо, принимающее решение о том, что уязвимости не были устранены. Предложено логическое представление централизованной системы устранения уязвимостей, а также диаграмма вариантов использования с описанием взаимодействия внутренних модулей и сервисов. Рассмотрено также одно из возможных решений задачи обеспечения защищенного соединения между рабочей станцией и сервером.

Ключевые слова: операционная система, несанкционированный доступ, информационная безопасность, централизованная защита, unix, linux, ubuntu

Графическая аннотация (Graphical annotation)



MODEL AND PROJECT DIAGRAMS OF THE SYSTEM OF CENTRALIZED PROTECTION OF A SUBNET OF HOSTS UNDER THE MANAGEMENT OF UNIX-LIKE OPERATIONAL SYSTEMS

The article was received by editorial board on 06.03.2019, in the final version – 05.04.2019.

Gorkavenko Vladimir S., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

graduate student, e-mail: slipmetal@mail.ru

Azhmukhamedov Iskandar M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Information Security, e-mail: iskander_agm@mail.ru

One of the possible solutions to the task of protecting against unauthorized access of workstations running unix-like operating systems that are on the same subnet is considered through the development of a centralized vulnerability prevention system that allows to increase the level of security. The task formalization is given. It was proposed to implement five main stages, which will include an algorithm for finding and applying a solution to eliminate the diagnosed vulnerability at the workstation. According to the proposed algorithm, the workstation transmits to the server text containing information about the diagnosed vulnerability, then the server, according to information received from the workstation, initiates a search for a solution in the knowledge base. If a solution is found, the server sends it to the workstation. If no solution is found, then the centralized vulnerability prevention system notifies the decision maker. After the transfer of the found solution to eliminate the diagnosed vulnerability, the server initiates its application at the workstation. During the application of solutions to eliminate diagnosed vulnerabilities, the workstation transmits to the server information about the process of their application. If, for any reason, they were not implemented, the centralized vulnerability prevention system notifies the decision maker that the vulnerabilities have not been fixed. A logical representation of the central control system, as well as a diagram of use cases with a description of the interaction of internal modules and services, are proposed. One of the possible solutions to the problem of providing a secure connection between the workstation and the server is also considered.

Key words: operating system, unauthorized access, information security, centralized protection, unix, linux, ubuntu

Введение. Прогресс в области информационных технологий неизбежно сопровождается необходимостью обеспечения защищенности информации. При этом одной из основных проблем является защита информационных систем (ИС) от НСД [1–2, 11, 12].

В большинство операционных систем (ОС) уже встроены определенные подсистемы защиты от НСД. Например, механизм аутентификации пользователей при входе в операционные системы семейства Windows или Linux; механизмы защиты от исправлений ядра; способы ограничения режимов работы, предотвращающие выполнения нежелательных команд [10]. Также важными компонентами комплексной защиты операционных систем являются: расширенный аудит, контроль над учетными записями, защита пользователей и инфраструктуры от вторжений и вредоносного программного обеспечения [4].

Однако само по себе присутствие интегрированных средств обеспечения защищенности информации полностью не гарантирует ее безопасность. Должна быть осуществлена соответствующая настройка этих средств. Для этого, в свою очередь, от специалиста, который производит данную операцию, требуется высокий уровень профессионализма [3, 6, 8].

Далеко не все кампании могут позволить себе такого специалиста, так как высокий уровень его компетенций требует обеспечения соответствующего ему уровня заработной платы. Обращаясь к статистике использования десктопных и консольных ОС в мире, можно утверждать, что шанс найти и рекрутировать высококвалифицированного специалиста по устранению уязвимостей Unix-подобных ОС крайне мал [5], а известных общедоступных средств для автоматизации процесса централизованного обнаружения и устранения уязвимостей на хосте для таких ОС не существует [9]. При этом под термином «хост» будем понимать любой компьютер, подключенный к локальной сети (рис. 1).

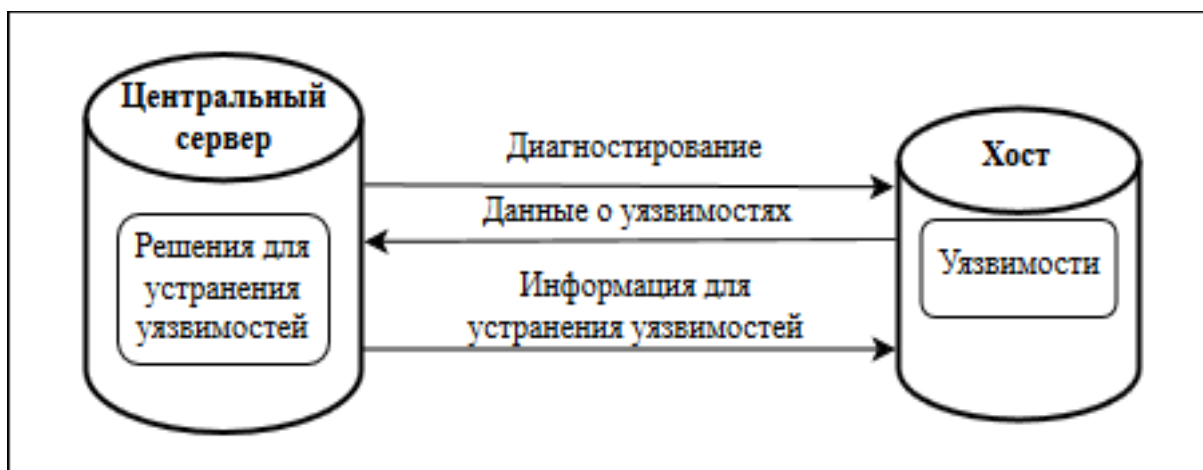


Рисунок 1 – Обмен данными в централизованной системе устранения уязвимостей

Из вышесказанного можно сделать вывод, что разработка централизованной системы устранения уязвимостей (ЦСУУ) подсети хостов под управлением Unix-подобных ОС является весьма актуальной задачей.

В связи с этим **целью данной работы** стала разработка проекта такой системы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи**:

- формализовать алгоритм решения задачи по устранению уязвимостей;
- разработать математическую модель наполнения базы знаний ЦСУУ множеством пар <уязвимость/способ ее устранения>;
- построить логическую структуру и проектные диаграммы разрабатываемого проекта;
- выбрать способ обеспечения защищенного соединения между сервером и хостами в одной подсети.

Формализация задачи. Пусть имеется: некоторое множество всех возможных уязвимостей – $\{U\}$; множество уязвимостей, которые можно диагностировать – $\{D\} \subseteq \{U\}$; множество уязвимостей, для которых есть решение для их устранения – $\{K\} \subseteq \{U\}$.

Тогда множество, состоящее из пар <диагностированная уязвимость / способ ее устранения> – $\{R\}$, составляющее базу знаний, можно представить в виде отношения:

$$R = D \subseteq U \cap K \subseteq U, \quad (1)$$

В связи с этим можно утверждать, что диагностированную и переданную на сервер уязвимость хоста ($u_i \in D$) можно устранить при условии, что $u_i \in \{K\}$.

Если $u_i \notin \{K\}$, то в этом случае уязвимость хоста не будет устранена, а система уведомит оператора о том, что на текущий момент в базе знаний ЦСУУ нет готового решения для устранения диагностированной уязвимости.

Представим описанные выше множества и их отношения в виде диаграммы Венна (рис. 2).

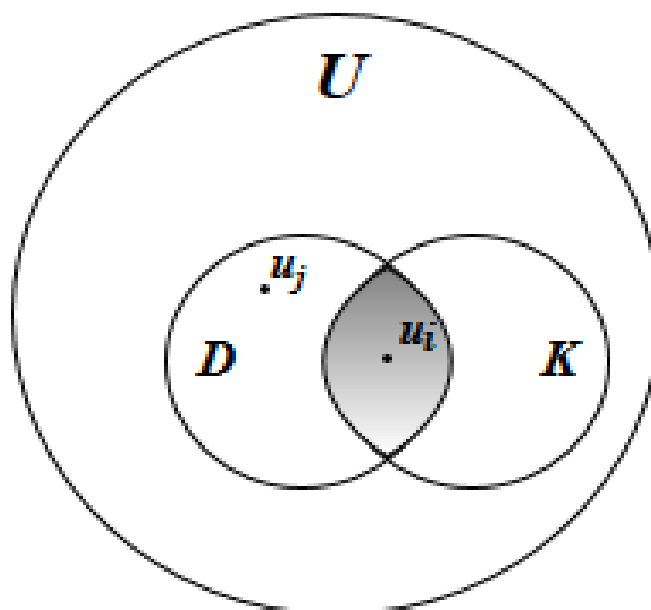


Рисунок 2 – Диаграмма Венна множеств и их отношений: $u_i \in \{D \cap K\}$, $u_j \notin \{K\}$

Перед построением проектных диаграмм, в которых будет отражено взаимодействие между хостом и сервером централизованной защиты, необходимо формализовать алгоритм решения задачи по устранению уязвимости.

В предлагаемом алгоритме можно выделить 5 основных этапов:

- 1) передача текста, содержащего информацию о диагностированной уязвимости хоста на сервер централизованной защиты;
- 2) поиск решения для устранения уязвимости;
- 3) если решение найдено, то передача информации о необходимых действиях по устранению обнаруженной уязвимости на хост;
- 4) применение найденного решения для устранения уязвимости на хосте;
- 5) получение информации от хоста о результатах устранения уязвимостей.

Рассмотрим этап 1 более подробно. Этот этап включает в себя функцию, выполняемую при сетевом взаимодействии во время передачи информации о диагностированной уязвимости хоста на сервер централизованной защиты (F_r). Эта функция может быть представлена в следующем виде:

$$F_r = R, F_{dc} V_j, \quad (2)$$

где R – двумерный массив «решений», который можно представить как $[F_c V_i; P_i]$; V_i – диагностированная уязвимость; P_i – решение для устранения уязвимости; F_c – функция кодирования информации об уязвимости; V_j – диагностированная и переданная на сервер уязвимость хоста; F_{dc} – функция декодирования закодированной информации об уязвимости хоста.

Для реализации этапа 2, при поиске решения для устранения уязвимости, предлагается использовать алгоритм нечеткого поиска [13] в базе знаний уязвимостей, так как возможна ситуация, когда в базе знаний хранятся два разных решения для устранения двух разных уязвимостей, но текст, содержащий информацию об уязвимости, полученный при ее диагностировании может незначительно отличаться по причине присутствия в нем какой-либо переменной.

Если решение уязвимости не было найдено, тогда система должна уведомить лицо, принимающее решения (ЛПР), что диагностированная уязвимость не будет устранена на хосте, пока ее решение не будет добавлено в базу знаний ЦСУУ.

Если в результате выполнения этапа 2 было найдено решение для устранения уязвимости, с помощью защищенного протокола связи произойдет передача информации о решении для устранения уязвимости (этап 3). Далее при установлении защищенного удаленного доступа сервера к хосту произойдет выполнение списка команд, необходимых для устранения уязвимости (этап 4).

В процессе выполнения этапа 3 и 4 сервер будет получать обратную связь от хоста в виде информации об успешности или неуспешности выполнения команд для устранения уязвимостей. Полученная информация будет использована в том числе для уведомления ЛПР о том, что команды по какой-либо причине не были выполнены. Таким образом будет выполнен этап 5 предложенного выше алгоритма.

Формализация решения поставленной задачи позволяет перейти к построению проектных диаграмм, что, в свою очередь, позволит в дальнейшем реализовать ЦСУУ в виде программного продукта.

Проектные диаграммы. Для автоматизации, повышения удобства и надежности процесса защиты хостов от НСД необходимо разработать ПО, требующее минимального количества действий со стороны пользователя и автоматизирующее те действия, которые возможно выполнить без его участия (такие как написание файлов конфигурации, приведение финальных логов в удобный вид для прочтения и анализа и пр.).

Логическое представление проекта такого ПО приведено на рисунке 3.

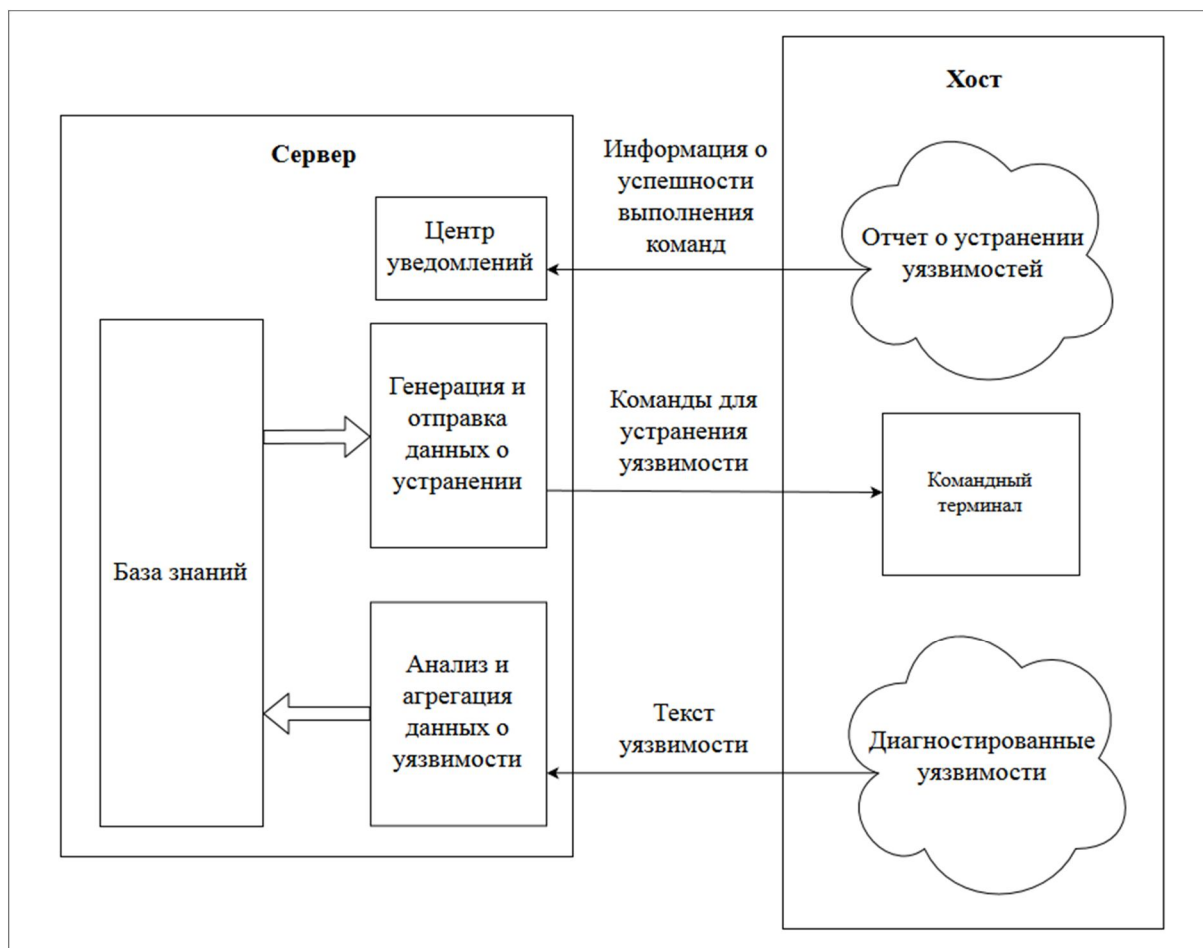


Рисунок 3 – Логическое представление предлагаемой ЦСУУ

В результате дальнейшего анализа были определены прецеденты, возникающие при работе ЦСУУ, что позволило, для описания пользовательских сценариев и вариантов использования, построить диаграмму прецедентов, которая является исходным концептуальным представлением (концептуальной моделью) системы в процессе ее проектирования и разработки (рис. 4).

При этом было выделено три актора: сервер приложения; специалист информационной безопасности; системный администратор. В совокупности своих функциональных возможностей они полностью решают поставленную задачу.

Основная роль системного администратора в проекте данной ЦСУУ – развертывание системы на сервере под управлением Unix-подобной операционной системы, а также организация процесса обслуживания оборудования и программной поддержки сервера приложения.

От специалиста информационной безопасности (ИБ) требуется: контролировать процесс допуска к подключению новых хостов в подсеть; организовать процесс составления протоколов запуска процесса анализа и устранения уязвимостей на хостах подсети, а также исполнять обязанности ЛПР.

Сервер приложения при этом обслуживает программную реализацию формализованного выше алгоритма, а также хранит информацию о хостах, допущенных к подключению в локальную сеть специалистом ИБ. ЦСУУ обязана уведомлять ЛПР о том, что решение по диагностированной уязвимости не

было найдено в базе знаний, а также если решение было найдено, но не было применено на хосте по какой-либо причине.

Далее необходимо произвести декомпозицию ЦСУУ на отдельные модули и более подробно описать работу основных функций и сервисов, а также их связей в предлагаемой системе. Рассмотрим основные блоки модулей и сервисов, необходимых для ее работы, более подробно.

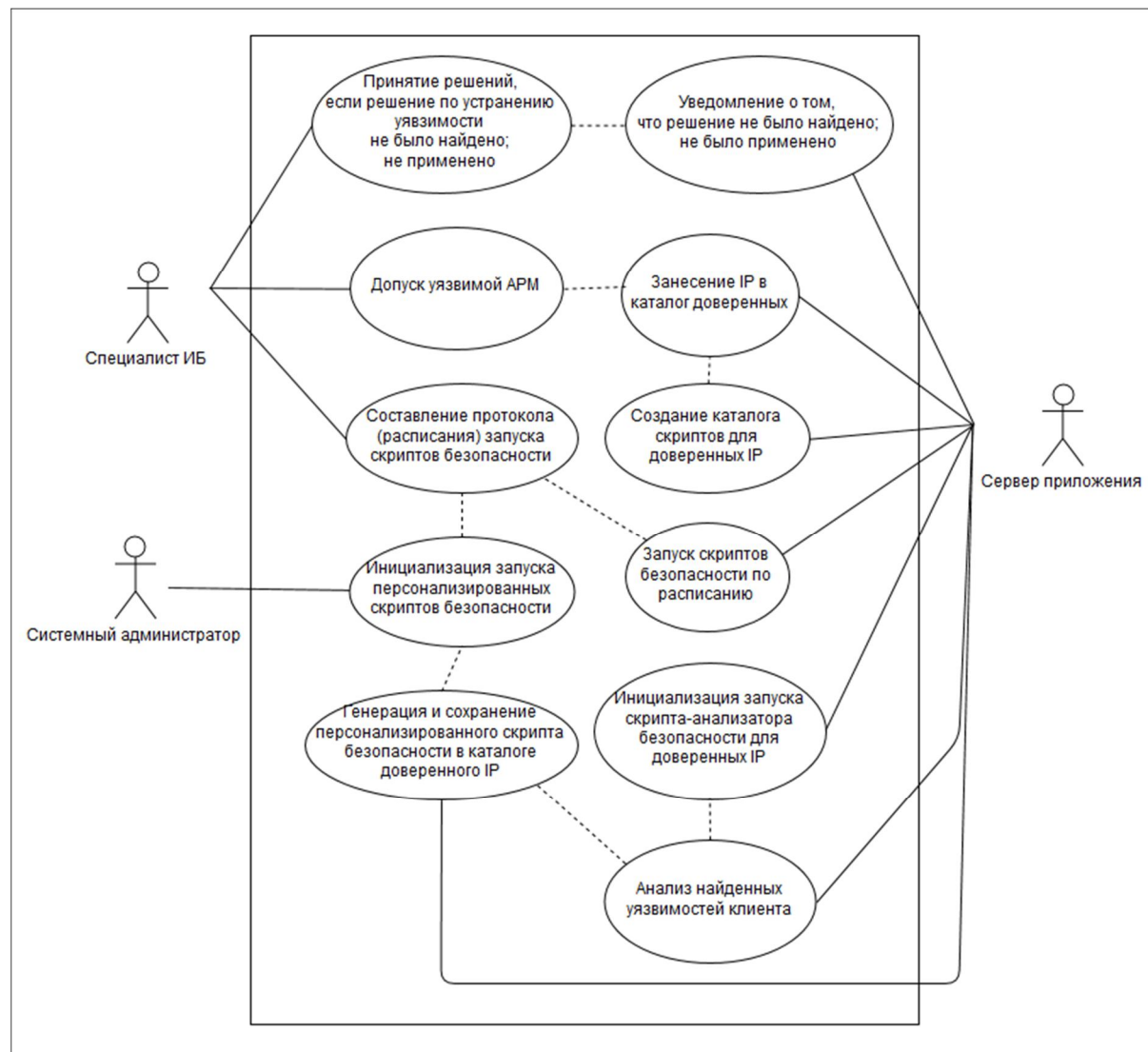


Рисунок 4 – Диаграмма прецедентов предлагаемой ЦСУУ

Описание модулей и сервисов. Одной из важных стадий построения ЦСУУ является описание структуры и схемы взаимодействия следующих модулей и сервисов:

- модуль анализа защищенности;
- модуль анализа и агрегации данных (декомпозиция результирующего лога работы на компоненты-уведомления о уязвимостях в анализируемой системе);
- сервис обслуживания запросов.

Для получения информации об уровне защищенности ОС, ее уязвимостях требуется реализовать модуль анализа защищенности (рис. 5), который содержит в себе имплементацию связи исполняемого клиентского скрипта с анализатором защищенности операционной системы.

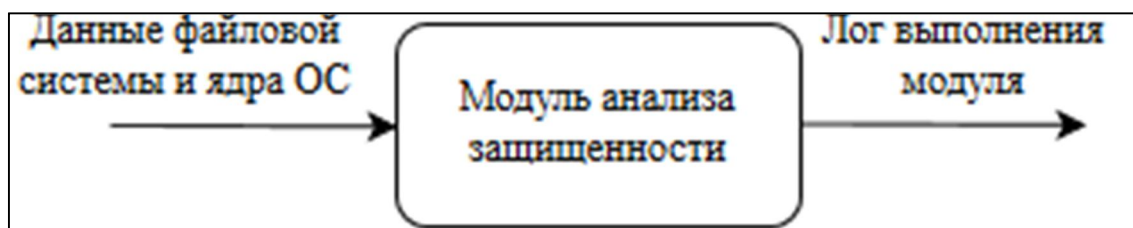


Рисунок 5 – Модуль анализа защищенности

Входными данными такого модуля является информация о файловой системе и ядре ОС для анализа, а результатом выполнения должна стать информация (лог), которая содержит в себе данные об уровне защищенности ОС и ее уязвимостях.

Для последующего анализа полученных данных о состоянии защищенности требуется реализовать модуль обработки результата (рис. 6) работы анализатора (сканера) защищенности. В процессе своей работы он кодирует и сохраняет результат анализа в файловой системе с целью оптимизации процесса ее отправки на сервер для дальнейшей обработки.

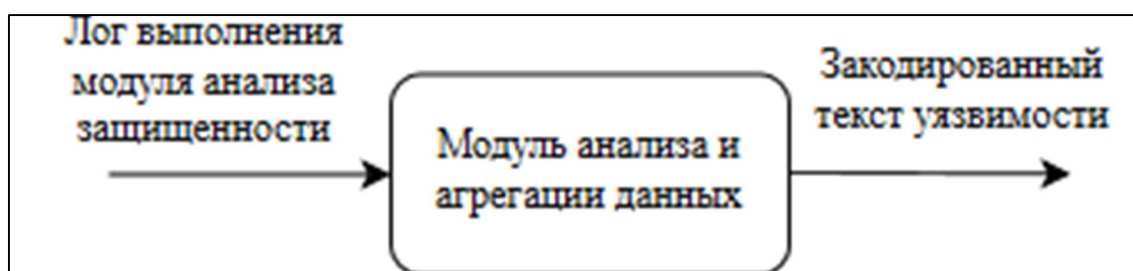


Рисунок 6 – Модуль анализа и агрегации данных

Для получения и обработки переданной с хоста информации об уязвимостях ОС необходимо создать сервис обслуживания запросов (рис. 7), который бы смог декодировать переданные на сервер данные и представить их в более удобном для ЦСУУ формате с целью дальнейшей обработки в программном коде.

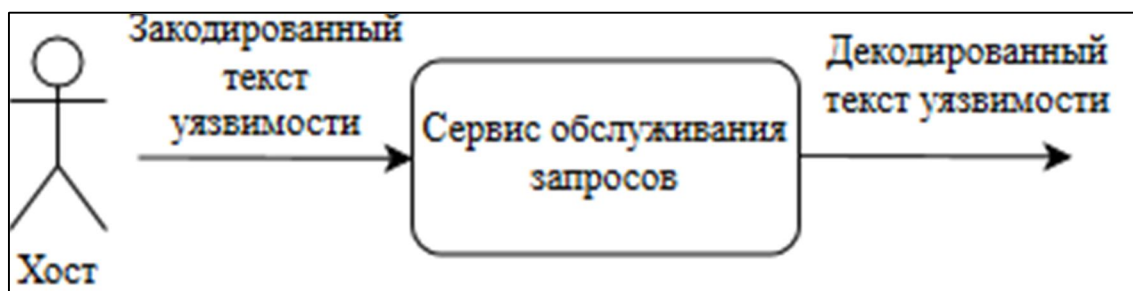


Рисунок 7 – Сервис обслуживания запросов

После получения информации о уязвимостях хоста-клиента серверу необходимо проанализировать полученные данные. Для этого требуется реализовать модуль анализа полученных данных (рис. 8).

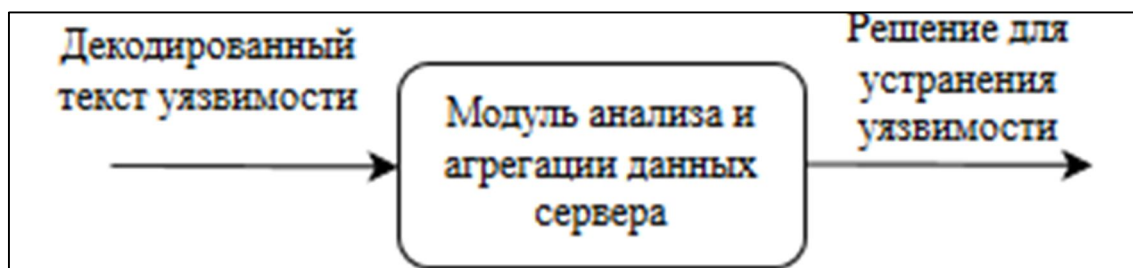


Рисунок 8 – Модуль анализа полученных данных

В результате выполнения модуля анализа полученных данных станет возможным получение хостом списка решений для устранения найденных на нем уязвимостей в оптимизированном формате для дальнейшего исполнения или дополнительной обработки. Если в результате работы модуля не было найдено решение, ЦСУУ уведомит ЛПР о том, что диагностированная уязвимость не будет устранена, так как информация о способе ее устранения отсутствует в базе знаний.

С целью сохранения совместимости с большинством unix-подобных ОС в процессе генерации скрипта, содержащего решения для устранения диагностированных уязвимостей, необходимо использовать один из скриптовых языков программирования, поддерживаемый различными ОС, например, BASH или Python, для последующей передачи исполняемого скрипта на хост (рис. 9). Если скрипт не был исполнен на хосте по какой-либо причине, ЦСУУ уведомит ЛПР об этом.

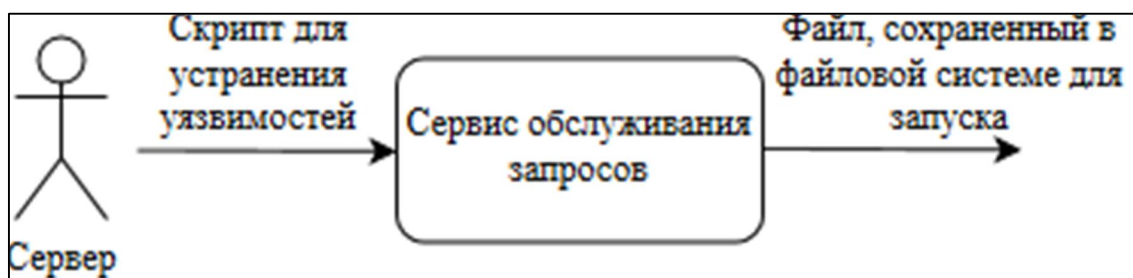


Рисунок 9 – Модуль получения ответа

При выполнении этапов 2, 3 и 4 алгоритма ЦСУУ важное значение имеет выбор способа обеспечения защищенного канала связи хостов в одной подсети для удаленного использования командного терминала при автоматизированной передаче данных в файловую систему сервера и получении информации о процессе исполнения скрипта, в котором содержатся решения для устранения диагностированных уязвимостей.

Способ обеспечения защищенного соединения. В качестве сервиса установки защищенного соединения между центральным хостом и хостами-клиентами в одной сети предлагается использовать протокол SSH.

Преимущества SSH протокола заключаются в возможности удаленного выполнения команд через командную оболочку (терминал). SSH позволяет безопасно передавать практически любой сетевой протокол, при этом шифрование осуществляется с помощью различных алгоритмов (к примеру, AES и RSA). Также предлагаемый протокол перед шифрованием и передачей информации сжимает ее. При этом SSH защищает передачу данных по каналу и предотвращает любую возможность внедрения в установленную сессию и перехвата данных [7].

Алгоритм протокола SSH можно разделить на три уровня, каждый из которых располагается над предыдущим: транспорт (открытие защищенного канала), аутентификация, подключение.

На транспортном уровне происходит сетевое подключение сервера к хосту на TCP-порт, указанный в опции Port в файле конфигурации хоста.

После установки TCP-соединения, хост и сервер обмениваются версиями SSH-протокола и другими вспомогательными данными, необходимыми для выяснения совместимости протоколов и для выбора алгоритмов работы.

На уровне аутентификации предлагается использовать аутентификацию с помощью ключей шифрования. Аутентификация посредством ключей происходит следующим образом:

- сервер отправляет хосту имя пользователя (username) и свой публичный ключ;
- хост проверяет в файле каталога сервиса SSH наличие присланного сервером открытого ключа. Если открытый ключ найден, то сервер генерирует случайное число и шифрует его открытым ключом клиента, после чего результат отправляется клиенту;
- сервер расшифровывает сообщение своим приватным ключом и отправляет результат серверу;
- хост проверяет полученный результат на совпадение с тем числом, которое он изначально зашифровал открытым ключом клиента, и в случае совпадения считает аутентификацию успешной.

После проведения всех вышеперечисленных процедур сервер получает возможность передавать команды хосту, а также управлять данными его файловой системы по защищенному каналу.

Таким образом, предложенный способ обеспечения защищенного соединения между сервером и хостом позволяет повысить уровень информационной безопасности при передаче данных, содержащих информацию о диагностированных уязвимостях и решениях для их устранения.

Выводы. В работе проведена формализация задачи защиты от НСД хостов под управлением Unix-подобных ОС, что позволило разработать логическую структуру, построить проектные диаграммы, описать взаимодействия основных модулей и сервисов предлагаемого решения.

Предложенная структура ЦСУУ позволяет проводить централизованный анализ защищенности хостов с целью дальнейшего устранения диагностированных уязвимостей. Также, согласно предложенному алгоритму, ЦСУУ позволяет уведомлять ЛПР в случае, если решение для устранения уязвимости не было найдено в базе знаний или оно по какой-либо причине не выполнено на хосте. Для обеспечения защищенного соединения между сервером и хостами предложено использовать протокол SSH.

После программной реализации ЦСУУ возможна коммерциализация программного продукта, так как предложенная концепция подходит для большинства организаций, в которых используются локальные сети с находящимися в ней хостами под управлением Unix-подобных ОС.

Дальнейшее развитие проекта может предусматривать реализацию алгоритма, выполняющего априорный и апостериорный анализ возможных последствий устранения той или иной уязвимости хоста, что позволит более эффективно выполнять поиск решений и применять их для устранения диагностированных уязвимостей [14]. Например, решение для устранения какой-либо уязвимости может закрыть один из сетевых портов, что может повлиять на работу электронной почты. В этом случае предлагаемый для дальнейшего развития проекта алгоритм поможет предусмотреть возможные последствия применения решений для устранения уязвимостей и учесть их на этапе формирования базы знаний.

Библиографический список

1. Алешников С. И. Проблемы информационной безопасности организации (предприятия) и пути их решения / С. И. Алешников, С. А. Дёмин, С. Б. Федоров, А. С. Федоров // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Физико-математические и технические науки. – 2013. – Вып. 10. – С. 147–150.
2. Баранов А. П. Актуальные проблемы в сфере обеспечения информационной безопасности программного обеспечения / А. П. Баранов. – Режим доступа: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/12ccdaa5fd89de1fc32575bd003e2eb1>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Дагаев А. Ф. Обеспечение информационной безопасности в вычислительной сети предприятия / А. Ф. Дагаев, А. Н. Самойлов, Е. А. Борисова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. – № 38 (4). – С. 1–4. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/obespechenie-informatsionnoy-bezopasnosti-v-vychislitelnoy-seti-predpriyatiya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Девятин П. Н. О проблеме представления формальной модели политики безопасности операционных систем / П. Н. Девятин // Труды Института системного программирования РАН. – 2017. – Т. 29, вып. 3. – С. 7–14.
5. Дорофеев А. В. Менеджмент информационной безопасности: основные концепции / А. В. Дорофеев, А. С. Марков // Вопросы кибербезопасности. – 2014. – № 1 (2). – С. 67–72.
6. Дунин В. С. Модель угроз информационной безопасности комплексной автоматизированной интеллектуальной системы «Безопасный город» / В. С. Дунин, Н. С. Хохлов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2011. – № 4. – С. 1–5.
7. Коджешау М. А. Технологии и алгоритмы информационной безопасности / М. А. Коджешау // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. 4. Естественно-математические и технические науки. – 2017. – Вып. 2 (201). – С. 129–132.
8. Медведев Н. В. Модели управления доступом в распределенных информационных системах / Н. В. Медведев, Г. А. Гришин // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2011. – № 1. – С. 1–19.
9. Оладько А. Ю. Подсистема мониторинга и аудита информационной безопасности в операционной системе Linux / А. Ю. Оладько // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – № 12. – С. 22–28.
10. Рукасуева С. Ю. Windows и альтернативные ей операционные системы / С. Ю. Рукасуева, А. П. Багаева // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – Т. 1, вып. 7. – С. 459–460.
11. Трубочев Е. С. Проблемы информационной безопасности. Методы и средства защиты информационных ресурсов / Е. С. Трубочев // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2009. – № 14. – С. 1–7.
12. Шубин А. Н. Оценка свойств информационных систем в стандартах по информационной безопасности / А. Н. Шубин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – Вып. 3. – С. 336–345.
13. George K. Thiruvathukal. What's in an Algorithm? / George K. Thiruvathukal // Computing in Science & Engineering. – 2013. – Vol. 15. – С. 15–27.
14. Arne Johanson. Software Engineering for Computational Science: Past, Present, Future / Arne Johanson, Wilhelm Hasselbring // Computing in Science & Engineering. – 2018. – Vol. 20. – С. 90–112.

References

1. Aleshnikov S. I., Demin S. A., Fedorov S. B., Fedorov A. S. Problemy informatsionnoy bezopasnosti organizatsii (predpriyatiya) i puti ikh resheniya [Problems of information security of an organization (enterprise) and ways to solve them]. *Vestnik Baltiyskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya "Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskie nauki"* [Bulletin of the Baltic Federal University named after I. Kant. Series "Physico-mathematical and technical sciences"], 2013, no. 10, pp. 147–150.

2. Baranov A. P. *Aktualnye problemy v sfere obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti programmnoy obespecheniya* [Actual problems in the field of ensuring information security of software]. Available at: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/12ccdaa5fd89de1fc32575bd003e2eb1>.
3. Dagaev A. F., Samoylov A. N., Borisova Ye. A. *Obespechenie informatsionnoy bezopasnosti v vychislitel'noy seti predpriyatiya* [Ensuring information security in the enterprise's computer network]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/obespechenie-informatsionnoy-bezopasnosti-v-vychislitel'noy-seti-predpriyatiya>.
4. Devyatin P. N. O probleme predstavleniya formal'noy modeli politiki bezopasnosti operatsionnykh sistem [On the problem of presenting a formal model of the security policy of operating systems]. *Trudy Instituta sistemnogo programirovaniya RAN* [Works of the Institute for System Programming of the RAS], 2017, vol. 29, no. 3, pp. 7–14.
5. Dorofeev A. V., Markov A. S. Menedzhment informatsionnoy bezopasnosti: osnovnye kontseptsii [Management of Information Security: Basic Concepts]. *Voprosy kiberbezopasnosti* [Cybersecurity Issues], 2014, no. 1 (2), pp. 67–72.
6. Dunin V. S., Khokhlov N. S. Model ugroz informatsionnoy bezopasnosti kompleksnoy avtomatizirovannoy intellektual'noy sistemy "Bezopasnyy gorod" [The Model of Information Security Threats of the Integrated Automated Intelligent System "Safe City"]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii* [Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia], 2011, no. 4, pp. 1–5.
7. Kodzheshau M. A. Tekhnologii i algoritmy informatsionnoy bezopasnosti [Technologies and algorithms for information security]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4 "Yestestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki"* [Bulletin of Adyghe State University. Series 4 "Natural-mathematical and technical sciences"], 2017, no. 2 (201), pp. 129–132.
8. Medvedev N. V., Grishin G. A. Modeli upravleniya dostupom v raspredelennykh informatsionnykh sistemakh [Access control models in distributed information systems]. *Mashinostroenie i kompyuternye tekhnologii* [Mechanical Engineering and Computer Technologies], 2011, no. 1, pp. 1–19.
9. Oladko A. Yu. Podsystema monitoringa i audita informatsionnoy bezopasnosti v operatsionnoy sisteme Linux [Subsystem of monitoring and auditing information security in the Linux operating system]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of the Southern Federal University. Technical science], 2012, no. 12, pp. 22–28.
10. Rukasueva S. Yu., Bagaeva A. P. Windows i alternativnye ey operatsionnye sistemy [Windows and operating systems alternative to it]. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Actual problems of aviation and cosmonautics], 2011, vol. 1, no. 7, pp. 459–460.
11. Trubachev Ye. S. Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Metody i sredstva zashchity informatsionnykh resursov [Problems of information security. Methods and means of protection of information resources]. *Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V.N. Tatishcheva* [Bulletin of Volzhsky University named after V.N. Tatishchev], 2009, no. 14, pp. 1–7.
12. Shubin A. N. Otsenka svoystv informatsionnykh sistem v standartakh po informatsionnoy bezopasnosti [Estimation of the properties of information systems in the standards of information security]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical Science], 2013, vol. 3, pp. 336–345.
13. George K. Thiruvathukal. What's in an Algorithm? *Computing in Science & Engineering*, 2013, vol. 15, pp. 15–27.
14. Arne Johanson, Wilhelm Hasselbring. Software Engineering for Computational Science: Past, Present, Future. *Computing in Science & Engineering*, 2018, vol. 20, pp. 90–112.

УДК 004.032.26

ИДЕНТИФИКАЦИЯ DDOS-АТАК НА WEB-СЕРВЕРЫ

Статья поступила в редакцию 01.03.2019, в окончательном варианте – 08.04.2019.

Власенко Александра Владимировна, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,

кандидат технических наук, заведующая кафедрой компьютерных технологий и информационной безопасности Института информационных технологий и безопасности, e-mail: Vlasenko@kubstu.ru

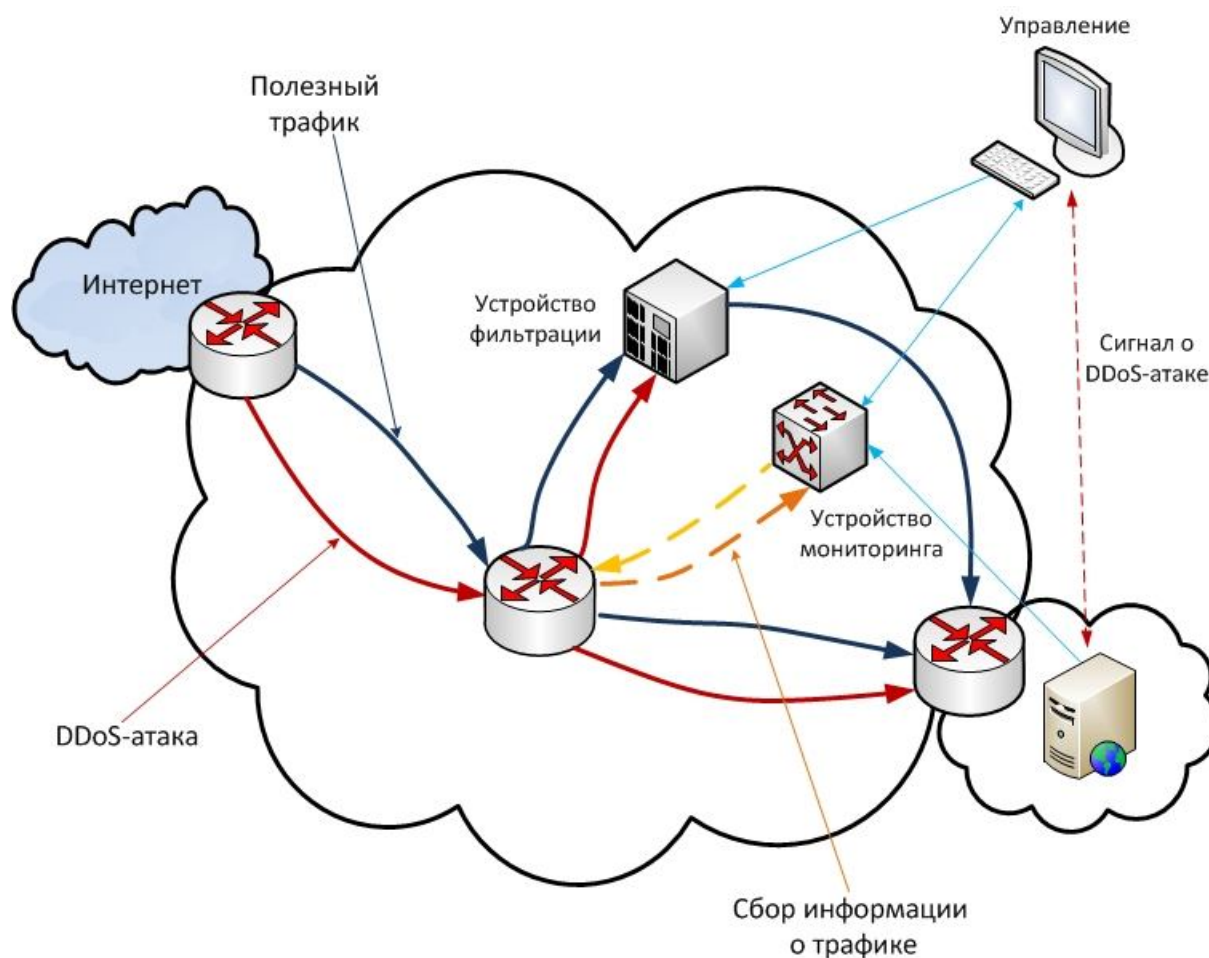
Дзьобан Павел Игоревич, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2.

кандидат технических наук, старший преподаватель, Краснодар, e-mail: antiemoboy@mail.ru

В настоящее время жизнь обычного человека связана с активным использованием всевозможных онлайн-сервисов. Они помогают не только повысить скорость получения услуг, но и улучшить качество жизни. За комфорт принято платить, поэтому актуальность вопросов обеспечения безопасности оказания онлайн-услуг не вызывает сомнений. Невозможность использования сервисов может приводить к моральному ущербу и в некоторых случаях к существенным материальным потерям. Одним из возможных нарушений нормальной работы web-сервера могут быть атаки типа DOS/DDOS. В данной статье предлагается механизм обнаружения DDOS-атак. Для уменьшения трудоемкости обнаружения вторжений предлагается производить автоматизированный контроль состояния защищенности информационно-телекоммуникационных ресурсов, выполняя на постоянной основе комплекс следующих мероприятий: а) анализ log-файлов web-сервера (в работе рассмотрен пример сервера Apache); б) выявление различных параметров из необработанных запросов (используется для распознавания входящего запроса на web-сервер как «разрешенного» и «вредоносного»); в) проверка каждого входящего запроса (его параметров) к web-серверу по коррелированности с идентифицированными параметрами из log-файлов. Этот этап и приводит к выявлению вредоносного запроса к web-серверу, который делает возможной потенциальную DDOS-атаку.

Ключевые слова: протокол, отказ в обслуживании (DOS), распределенный отказ в обслуживании (DDOS), IP-спуфинг, log-файлы, flood, web-серверы, информационная безопасность

Графическая аннотация (Graphical annotation)



IDENTIFICATION OF DDOS ATTACKS ON WEB SERVERS

The article was received by editorial board on 01.03.2019, in the final version – 08.04.2019.

Vlasenko Alexandra V., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department of Computer Technologies and Information Security of the Institute of Information Technology and Security, e-mail: Vlasenko@kubstu.ru

Dzoban Pavel I., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Senior Lecturer, e-mail: antiemoboy@mail.ru

Currently, the life of an ordinary person is associated with all kinds of online services that help not only to increase the speed of obtaining services, but also to the quality of life. It is accepted to pay for comfort and the relevance of the security issues of online services is not in doubt. Inability to use the service leads to moral damage and in some cases to significant material losses. One of the possible violations of the usual work of the web-server can be DOS/DDOS attacks. This scientific article proposes a mechanism for detecting DDOS attacks. To reduce the complexity of intrusion detection, it is proposed to carry out automated monitoring of the state of security of information and telecommunication resources, carrying out on a permanent basis a set of the following activities: a) the analysis of the log files of the web server (an example of the Apache server); b) detection of various parameters from unprocessed requests (used to recognize an incoming request to the web server as “allowed” and “malicious”); c) check each incoming request (its parameters) to the web-server by correlation with the identified parameters from the log files. This stage leads to the detection of a malicious request to the web server, which makes possible a potential DDOS attack.

Key words: protocol, denial of service (DOS), distributed denial of service (DDOS), IP spoofing, log files, flood, web servers, information security

Введение. Увеличивающийся темп развития информационно-телекоммуникационных технологий привел к росту числа предоставляемых гражданам онлайн-сервисов, что в свою очередь увеличило количество пользователей данных сервисов. Очевидно, что с помощью онлайн-сервисов человек становится значительно коммуникабельнее, выполняя в онлайн-режимах следующее: оплату счетов, покупки, общение с друзьями и семьей, поиск в интернете информации по различным темам, событиям, конференциям (серфинг) и т.д. Жизнь людей стала проще и качественнее, но зависима от работоспособности и функциональности программных, аппаратных средств и линий связи. Серьезную угрозу для национальной безопасности представляют атаки на информационные ресурсы, находящиеся в интернете, сервисы, обеспечивающие доступ к таким ресурсам. При нарушении работы хотя бы одного из составляющих использование привычных сервисов становится затруднительно и нередко ведет не только к моральному ущербу, но и к материальным потерям.

Одним из видов кибератак, которые направлены на сервера, являются атаки типа DDOS – англ. distributed denied of service, распределённая атака типа «отказ в обслуживании». Взаимосвязанные системы, такие как сервер базы данных, web-сервер, сервер облачных вычислений и т.д., постоянно находятся под угрозой вредоносных воздействий со стороны злоумышленников. Влияние на состояние безопасности таких систем не лежит в компетенции обычного пользователя онлайн-сервиса. Предоставление услуг в случае успешной атаки прекращается, онлайн-сервис становится недоступным для огромной аудитории пользователей. Одной из самых последних форм DDOS-атак является атака по протоколу http.

Обнаружение http-атаки после выполнения DDOS довольно сложная задача, она легко проходит первую линию защиты, такую как брандмауэр (межсетевой экран), IDS и т.д. Для обнаружения атак и предотвращения вторжений предложено много методов, однако все они трудоемки, так как необходимо исследовать и закрывать каждую уязвимость сети.

Несмотря на актуальность данной темы, некоторые ее аспекты остаются исследованными в литературе недостаточно полно. Поэтому целью настоящей статьи было устранение соответствующих недочетов, создание алгоритма идентификации DDOS-атак на web-серверы провайдеров онлайн-сервисов.

Виды DDOS-атак. Атаки типа DOS представляют собой кибератаки, где преступник стремится сделать машину или сетевой ресурс недоступным для предполагаемых пользователей временно или на неопределенный срок. При этом нарушается режим предоставления услуги из-за переполнения канала связи. Это достигается путем поступления от зараженного хоста огромного количества запросов к web-ресурсу с целью «перегрузить» канал связи или систему. В результате атаки сервер рано или поздно перестает успевать обрабатывать поступающие запросы и утрачивает работоспособность.

Атаки типа DDOS представляют собой кибератаки, которые достигают той же цели, но путем использования нескольких скомпрометированных машин пользователей.

DDOS-атака является достаточно распространенной формой воздействия на компьютерные сети. Она приводит к ряду проблем для пользователей сайтов, их владельцев, поставщиков услуг доступа к интернету (интернет-провайдеров).

На рисунке 1 представлена типовая схема реализации DDOS-атак.

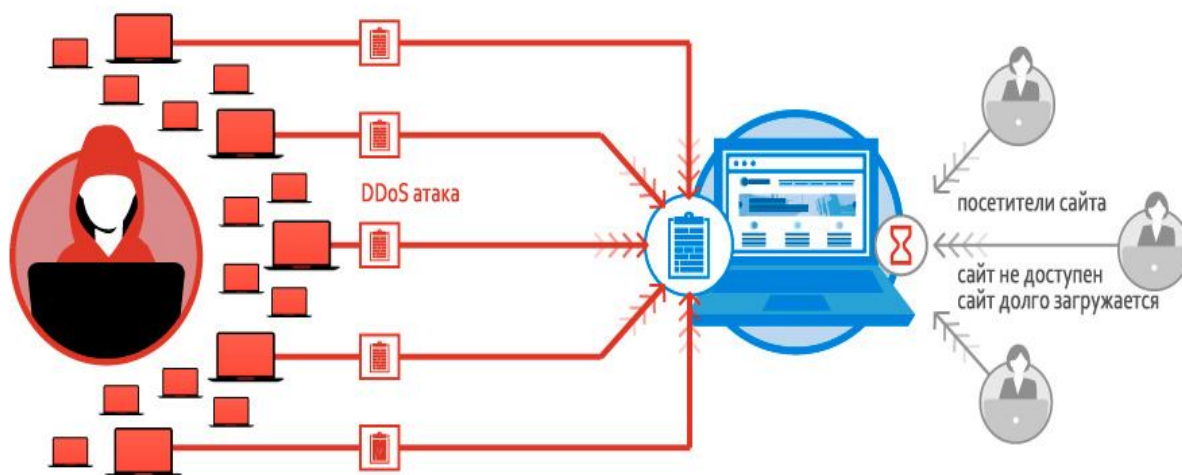


Рисунок 1 – Типовая схема реализации DDOS-атаки

Для начала необходимо рассмотреть виды DDOS-атак.

1. Прямые атаки. На один web-ресурс направляются запросы, отправленные с большого количества зараженных машин пользователей, – при этом промежуточная машина/машины не используется/не используются. Этот тип атаки может распространяться:

- на сетевом уровне (воздействие на сетевом уровне, такой как поток TCP, поток SYN, поток UDP и «ICMP-flood»);
- на уровне приложений (атака, переходящая в прикладной уровень, такой как «HTTP-flood», «FTP-flood» и т.д.)

2. Отраженные атаки. Зараженные машины пользователей сначала отправляют пакеты на некий «отражатель», чтобы подделать IP-адреса источников поступающих запросов.

Типы DDOS-атак в отношении технологий их реализации.

DDOS-атаки можно классифицировать по следующим типам.

1. Объемные атаки, использующие потоки UDP, ICMP и другие поддельные пакеты. Целью такого типа атаки является перегрузка полосы пропускания к web-ресурсу. Характеристикой интенсивности атаки объемного типа будет количество бит в секунду (суммарно, по всем поступающим сообщениям).

2. Протокольные атаки. Они используют потоки SYN, атаки фрагментированных пакетов, «Ping», «Smurf DDoS» и др. Этот тип атаки потребляет реальные ресурсы сервера или ресурсы промежуточного уровня – коммуникационного оборудования, включая межсетевые экраны и шлюзы. Характеристикой интенсивности атаки протокольного типа будет количество приходящих пакетов в секунду.

3. Атаки прикладного уровня. Они используют «длинные и медленные» атаки по GET/POST-запросам, целью которых являются уязвимости Apache, Windows или Open BSD и другого программного обеспечения. Собственно атака состоит из большого количества легитимных запросов, целью выполнения которых является создание сбоя web-сервера. Характеристикой интенсивности атаки прикладного уровня будет количество приходящих запросов в секунду.

4. Атака «UDP-flood». Как видно из названия, зараженные машины направляют огромное количество UDP-пакетов в адрес web-сервера. При этом злоумышленник отправляет большое количество пакетов UDP на случайные порты удаленной машины. Чрезмерный возврат ICMP-пакетов служит признаком выхода из строя web-сервера.

5. Атака «ICMP-flood». Зараженные машины направляют эхо-запросы ICMP-пакетов. Сервер предоставляет ответный ICMP-пакет, таким образом постепенно занижая пропускную способность канала.

6. Атака «SYN-flood» использует уязвимость в трехстороннем рукопожатии (handshaking) с протоколом TCP. В трехстороннем рукопожатии пакеты SYN сначала отправляются для соединения с хостом. Затем хост-получатель отвечает с ACK-пакетом, если он принимает решение о соединении с хостом-инициатором. Теперь в ответ на ACK-пакет первой машины необходимо отправить пакет ACK + SYN для установления соединения. В рамках использования этой атаки злоумышленник отправляет множественный запрос SYN через зараженный хост, используя его IP-адрес, с тем, чтобы ответ не доходил до источника.

7. Атака «Ping of death». Она представляет собой тип сетевой атаки, при которой web-сервер получает особым образом подделанный эхо-запрос (ping), после которого он перестает отвечать на запросы вообще. Максимально допустимый размер пакета составляет 65 535 байт. Для реализации данного типа атак злоумышленник отправляет пакеты «ping» с размером больше максимально допустимого предела. Это может привести к переполнению буфера памяти, выделенного для пакетов, и, в свою очередь, вызывать отказ в обслуживании для легитимных пакетов.

8. Атака «HTTP-flood». Она представляет собой легитимные GET или POST-запросы, используемые для атаки на web-сервер или web-приложение. В атаках «HTTP-flood» не используются искаженные пакеты, спуфинг или отражение метода. Поэтому требуется значительно меньшая пропускная способность, чем для реализации других типов атак. Данный тип атак считается одним из самых «эффективных», так как требует «выделения» максимального ресурса от web-сервера или web-приложение ресурса, на который выполняется атака.

9. Особое внимание следует уделить IP-спуфингу. Этот метод используется для создания IP-пакета с ложным IP-адресом, чтобы скрыть «личность пользователя». Подмена IP-адреса является одним из наиболее часто используемых фальсификаций для таких методов атаки. При реализации атак злоумышленник отправляет IP-пакеты с адресом источника скомпрометированной машины в сети, от имени которой и будут выполняться различные вредоносные сценарии. IP-спуфинг также активно используется злоумышленниками для обхода механизмов аутентификации пользователей.

Характеристика предлагаемого метода обнаружения DDOS-атак. В данной научной статье предлагается механизм обнаружения DDOS-атак. Опишем его отдельные этапы.

1. Для начала необходимо провести анализ log-файлов web-сервера, чтобы определить различные параметры, которые могут использоваться для определения потенциальной DDOS-атаки на web-сервер.

2. Затем необходимо использовать фильтр с идентификацией основных параметров. Ими являются: подозрительные IP-адреса; значение счетчика запросов с IP-адресов; скорость перехода по различ-

ным URL-адресам; среднее время пребывания на каждой web-странице; отметка времени запроса каждого источника; показатели полосы пропускания.

3. Проверка входящих запросов http для каждого входящего запроса на web-сервер. Вывод корреляции между полученным запросом и пороговым значением параметров, определенных в результате анализа log-файлов. Если для какого-либо запроса значения параметров превышают пороговое значение, то необходимо классифицировать такие запросы как вредоносные и блокировать IP-адрес источника.

Понятно, что при выполнении анализа по п. 3 в автоматическом режиме могут допускаться ошибки как 1-го, так и 2-го родов.

4. По выработанным правилам корреляции, подвергая анализу каждый запрос к web-ресурсу, определить IP-адреса потенциальных источников DDOS-атак, скомпрометированные и зараженные хосты.

Приводимые ниже примеры носят иллюстративный характер. По соображениям информационной безопасности конкретный адрес веб-ресурса, в отношении которого дана информация, не указывается.

На рисунке 2 приведен пример выполнения анализа log-файлов web-сервера с целью определения различных параметров, которые могут быть использованы для выявления потенциальной DDOS-атаки.

199.30.24.152	4/4/2015 2:19:14 PM	GET /images/item-separator.png HTTP/1.1	200	139	United States	http://iannet.org/
199.30.24.152	4/4/2015 2:19:14 PM	GET /iannet_logo.swf HTTP/1.1	200	1658	United States	http://iannet.org/iannet_logo.swf
157.55.39.71	4/4/2015 2:19:15 PM	GET /robots.txt HTTP/1.1	200	422	United States	-
202.46.54.43	4/4/2015 2:19:38 PM	HEAD /apps/SiteVerify/ HTTP/1.1	200	0	China	-
202.46.49.12	4/4/2015 2:19:39 PM	GET /apps/SiteVerify/ HTTP/1.1	200	4302	China	-
202.46.62.24	4/4/2015 2:19:40 PM	HEAD /apps/download.php?new=1 HTTP/1.1	404	0	China	http://www.iannet.org/apps/SiteVerif
202.46.53.68	4/4/2015 2:19:41 PM	GET /apps/download.php?new=1 HTTP/1.1	404	215	China	http://www.iannet.org/apps/SiteVerif
202.46.52.25	4/4/2015 2:19:42 PM	HEAD /apps/SiteVerify/download.php?new=1 HTTP/1.1	302	0	China	http://www.iannet.org/apps/SiteVerif
202.46.52.25	4/4/2015 2:19:42 PM	HEAD /apps/SiteVerify/siteverify.zip HTTP/1.1	200	0	China	http://www.iannet.org/apps/SiteVerif
191.236.33.18	4/4/2015 2:19:50 PM	GET / HTTP/1.1	200	15947	United States	-
36.76.244.171	4/4/2015 2:20:13 PM	GET /apps/TunnelBrokerUpdate/currentver.php?v=1,14 HTTP/1.1	200	4	Indonesia	-
180.76.5.72	4/4/2015 2:20:28 PM	GET /apps/GenerateHtPassWd HTTP/1.1	301	253	China	-
180.76.5.148	4/4/2015 2:20:29 PM	GET /apps/GenerateHtPassWd/ HTTP/1.1	200	2646	China	-

Рисунок 2 – Анализ log-файлов web-сервера. Примечание: красным цветом показано обращение по необходимому порту

Ниже представлены различные параметры, определенные в результате анализа log-файлов web-сервера Apache, вместе с их значениями для различных запросов. На рисунке 3 показана статистика по посещениям web-ресурса в зависимости от времени.



Рисунок 3 – Статистика по количеству посещений web-ресурса

На рисунке 4 представлена статистика в отношении ежедневного доступа к файлам по запросам пользователей.

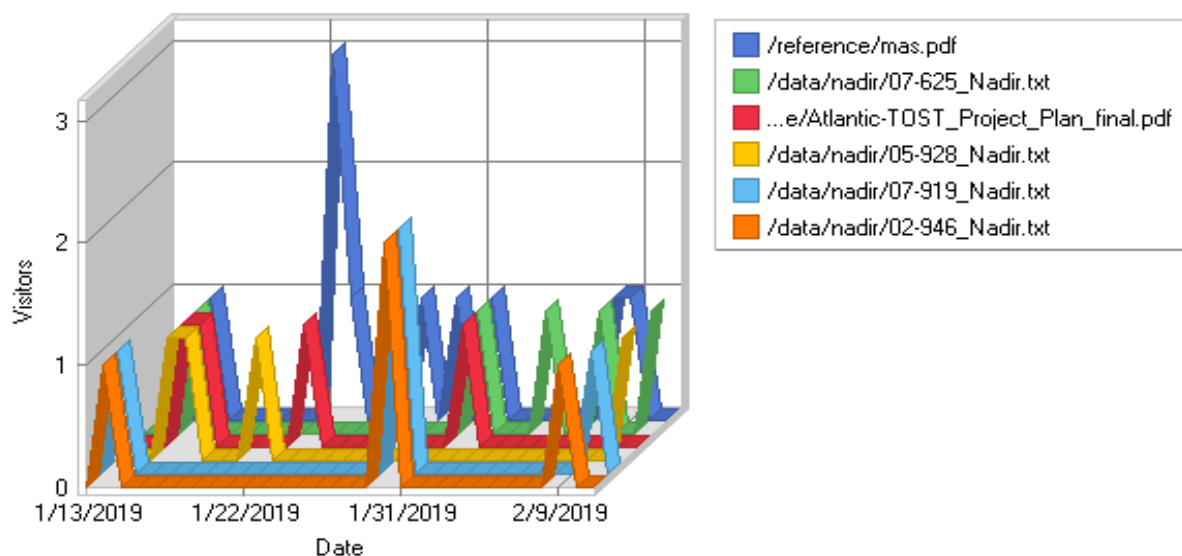


Рисунок 4 – Статистика обработки запросов пользователей

С использованием совокупности параметров, определенных в результате анализа log-файлов web-сервера Apache, необходимо проанализировать каждый входящий запрос к web-серверу. В результате сравнения пороговых показателей и фактических были выработаны правила корреляции для определения вредоносного потенциала DDOS-атак в каждом запросе.

Заключение. DDOS-атаки являются одной из главных проблем современных систем безопасности. Они могут привести к сбою web-сервера и вызвать серьезный ущерб бизнесу и репутации организации.

В данной статье предложен алгоритм выявления DDOS-атаки, который может быть реализован в автоматическом режиме.

На практике важен не только сам факт обнаружения атак типа DDOS, но и комплекс принятых мер, направленных на устранение выявленных уязвимостей в системе информационной безопасности интернет-ресурса.

Библиографический список

1. Брумштейн Ю. М. Надежность и качество информационных систем: анализ состава влияющих факторов с позиций информационной безопасности / Ю. М. Брумштейн, О. М. Князева, И. А. Дюдинов, Е. Ю. Васильковский // Надежность и качество : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Пензенский гос. ун-т, 2016. – Т. 1. – С. 101–106.
2. Бекенева Я. А. Анализ актуальных типов DDOS-атак и методов защиты от них / Я. А. Бекенева // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). – 2016. – № 1. – С. 7–14.
3. Васильковский Е. Ю. Системный анализ функциональных возможностей счетчиков посещаемости сайтов / Е. Ю. Васильковский, Ю. М. Брумштейн // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3 (31). – С. 45–58.
4. Власенко А. В. Анализ уязвимостей и моделирование атак на данные трафика «https» / А. В. Власенко, П. И. Дзьобан // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. 4. Естественно-математические и технические науки. – 2017. – № 2 (201). – С. 109–115.
5. Власенко А. В. Разработка и системный анализ математической модели угроз, модели нарушителя, процедур защиты Web-приложений на всех этапах функционирования / А. В. Власенко, П. И. Дзьобан // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 2154–2164.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018618364. Программная среда криптографических преобразований / П. И. Дзьобан, А. В. Власенко, Б. В. Леваньков. – Зарегистрировано в реестре баз данных 11.06.2018.
7. Отчет «Лаборатории Касперского» о спаме и фишинге. – Режим доступа: <https://threatpost.ru/new-report-on-spam-phishing-by-kaspersky-lab/29036/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 10.12.2018).
8. Паршин Г. К. DDOS-атаки и современные подходы к защите / Г. К. Паршин // Студенческий научный форум. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017029664>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.03.2019).
9. Терновой О. С. Раннее обнаружение DDOS-атак статистическими методами при учете сезонности / О. С. Терновой, А. С. Шатохин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012, июнь. – № 1 (25), ч. 1. – С. 104–112.
10. Фленов М. Е. Компьютер глазами хакера / М. Е. Фленов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2015.
11. Умницын М. Ю. Отслеживание состояния информационной системы на основе анализа данных о собы-

тиях / М. Ю. Умницын, С. В. Михальченко // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 4 (40). – С. 165–173.

12. Хохлов Р. В. Противодействие DDOS-атакам с помощью Анти-DDOS / Р. В. Хохлов, С. А. Мишин, Р. А. Солодуха // Преступность в сфере информационных и телекоммуникационных технологий: проблемы предупреждения, раскрытия и расследования преступлений. – 2017. – № 1. – С. 151–156.

13. Feinstein L. Statistical approaches to DDoS attack Detection and response / L. Feinstein, D. Schnackenberg, R. Balupari, D. Kindred // Proc. of DARPA Information Survivability Conference and Exposition. – 2013.

14. Protection Against DDoS and Data Modification Attack in Computational Grid Cluster Environment // I. J. Computer Network and Information Security. – 2017. – Vol. 7. – P. 12–18.

References

1. Brumshteyn Yu. M., Knyazeva O. M., Dyudikov I. A., Vaskovskiy Ye. Yu. Nadezhnost i kachestvo informatsionnykh sistem: analiz sostava vliyayushchikh faktorov s pozitsiy informatsionnoy bezopasnosti [Reliability and quality of information systems: analysis of the composition of influencing factors from the standpoint of information security]. *Nadezhnost i kachestvo: v 2 tomakh* [Reliability and Quality : in 2 volumes]. Ed. by N. K. Yurkov. Penza, Penza State University Publ., 2016, vol. 1, pp. 101–106.

2. Bekeneva Ya. A. Analiz aktualnykh tipov DDOS-atak i metodov zashchity ot nikh [Analysis of the actual types of DDOS attacks and methods of protection against them]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo elektrotekhnicheskogo niversiteta "LETI" im. V.I. Ulyanova (Lenina)* [News of the St. Petersburg State Electrotechnical Niversitet "LETI" them. V. I. Ulyanova (Lenin)], 2016, no. 1, pp. 7–14.

3. Vaskovskiy Ye. Yu., Brumshteyn Yu. M. Sistemnyy analiz funktsionalnykh vozmozhnostey schetchikov poseshchaemosti saytov [System analysis of the functionality of the site attendance counters]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Prikaspiyskiy Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 3 (31), pp. 45–58.

4. Vlasenko A. V., Dzoban P. I. Analiz uyazvimostey i modelirovaniye atak na dannye trafika "https" [Vulnerability analysis and modeling of attacks on "https" traffic data]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4 "Yestestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki"* [Bulletin of Adygeya State University. Series 4 "Natural-mathematical and technical sciences"], 2017, no. 2 (201), pp. 109–115.

5. Vlasenko A. V., Dzoban P. I. Razrabotka i sistemnyy analiz matematicheskoy modeli ugroz, modeli narushitelya, protsedur zashchity Web-prilozheniy na vsek etapakh funktsionirovaniya [Development and system analysis of the mathematical model of threats, violator model, procedures for protecting Web applications at all stages of operation]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2014, no. 101, pp. 2154–2164.

6. Dzioban P. I., Vlasenko A. V., Levankov B. V. *Certificate of state registration of computer program No. 2018618364. Software environment for cryptographic transformations*. Registered in the database registry 11.06.2018.

7. *Otchet "Laboratorii Kasperskogo" o spame i fishinge* [Kaspersky Lab report on spam and phishing]. Available at: <https://threatpost.ru/new-report-on-spam-phishing-by-kaspersky-lab/29036/> (Accessed: 10.12.2018).

8. Parshin G. K. *DDOS-ataki i sovremennye podkhody k zashchite* [DDOS-attacks and modern approaches to protection]. Available at: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017029664> (Accessed: 01.03.2019).

9. Ternovoy O. S., Shatokhin A. S. Rannee obnaruzhenie DDOS-atak statisticheskimi metodami pri uchete sezonnosti [Early detection of DDOS-attacks by statistical methods with regard to seasonality]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2012, June, no. 1 (25), part 1, pp. 104–112.

10. Flenov M. Ye. *Kompyuter glazami khakera* [Computer as seen by a hacker]. St. Petersburg, BKhV-Petersburg Publ., 2015.

11. Umnitsyn M. Yu., Mikhalychenko S. V. Otslezhivanie sostoyaniya informatsionnoy sistemy na osnove analiza dannykh o sobytiyakh [Tracking the state of an information system based on the analysis of data on events]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Prikaspiyskiy Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 4 (40), pp. 165–173.

12. Khokhlov R. V., Mishin S. A., Solodukha R. A. Protivodeystvie DDOS-atakam s pomoshchyu Anti-DDOS [Counter-measures of DDOS-attacks with the help of Anti-DDOS]. *Prestupnost v sfere informatsionnykh i telekommunikatsionnykh tekhnologiy: problemy preduprezhdeniya, raskrytiya i rassledovaniya prestupleniy* [Crime in the field of information and telecommunication technologies: problems of prevention, disclosure and investigation of crimes], 2017, no. 1, pp. 151–156.

13. Feinstein L., Schnackenberg D., Balupari R., Kindred D. Statistical approaches to DDoS attack Detection and response. *Proc. of DARPA Information Survivability Conference and Exposition*, 2013.

14. Protection Against DDoS and Data Modification Attack in Computational Grid Cluster Environment. *I. J. Computer Network and Information Security*, 2017, vol. 7, pp. 12–18.

УДК 004.048

ПАРАМЕТРЫ КАНАЛА УТЕЧКИ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ МОДУЛЯЦИИ ВИДИМОГО СВЕТА

Статья поступила в редакцию 01.03.2019, в окончательной версии – 08.04.2019.

Власенко Александра Владимировна, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой компьютерных технологий и информационной безопасности, e-mail: alex_vlasenko@list.ru

Швырев Борис Анатольевич, Научно-исследовательский институт ФСИН России, 125130, Российская Федерация, г. Москва, ул. Нарвская, 15а, стр. 1,

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник НИЦ-3, e-mail: bor2275@yandex.ru

Тимонов Дмитрий Александрович, Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко, 350063, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Красина, 4, начальник лаборатории Научно-исследовательского центра, e-mail: dmitrii-timonov@bk.ru

В статье рассматривается принципиальная возможность формирования канала утечки акустической информации посредством изменения параметров светового потока, испускаемого светодиодными осветительными приборами, под воздействием звуковых колебаний. Рассматривается структура и модель канала утечки посредством модуляции светового потока. Научное подтверждение рассматриваемого канала заключается в существовании коммуникационной технологии связи посредством модуляции видимого света, которая получила название Light Fidelity или Li-Fi. В работе приводится оценка отношения сигнал – шум в приемной части канала утечки и дальности передачи информации. Рассчитанные оценочные значения дальности канала утечки свидетельствуют о его высокой потенциальной опасности.

Ключевые слова: пропускная способность, модель канала утечки акустической информации, модуляция видимого света, Li-Fi, отношение сигнал – шум

Графическая аннотация (Graphical annotation)



THE PARAMETERS OF THE LEAKAGE OF ACOUSTIC INFORMATION BY MODULATING THE VISIBLE LIGHT

The article was received by editorial board on 01.03.2019, in the final version – 08.04.2019.

Vlasenko Alexandra V., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Computer Technologies and Information Security, e-mail: alex_vlasenko@list.ru

Shvyrev Boris A., Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, bld. 1, 15a Narvskaya St., Moscow, 125130, Russian Federation,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Leading Researcher, e-mail: bor2275@yandex.ru

Timonov Dmitry A., Krasnodar Higher Military School named after the General of army S.M. Shtemenko, 4 Krasin St., Krasnodar, 350063, Russian Federation,

Head of the laboratory of the Research Center, e-mail: dmitrii-timonov@bk

The article discusses the fundamental possibility of forming a leakage channel of acoustic information by changing the parameters of the luminous flux emitted by LED lighting devices, under the influence of sound vibrations. The structure and model of the leak channel is considered by modulating the luminous flux. The scientific confirmation of the channel in question is the existence of a communication technology by means of modulating the visible light, which is called Light Fidelity or Li-Fi. The paper presents an estimate of the signal-to-noise ratio in the receiving part of the leakage channel and information transmission distance. The calculated estimated values of the leakage channel range indicate its high potential danger.

Key words: bandwidth, leakage channel model of acoustic information, modulation of visible light, Li-Fi, signal-to-noise ratio

Введение. Защита информации – это сложная, многогранная проблема, решение которой требует использования комплекса организационных, технических, правовых и иных мер.

Общезвестно, что информация (как обрабатываемая средствами вычислительной техники, так и обсуждаемая) содержится в информативных сигналах. Канал утечки акустической информации может формироваться посредством преобразования информации в виброакустические колебания, электромагнитные колебания радиочастот, инфракрасного диапазона, лазерного излучения. Появление современных осветительных приборов на основе светодиодов создает предпосылки формирования канала утечки информации посредством модуляции величины светового потока. Рассмотрим модель канала утечки информации посредством модуляции видимого света, создаваемого светодиодами.

Формирование канала утечки информации. Последние годы характеризуются интенсивным освоением оптического диапазона для передачи данных. Такая ситуация обусловлена высокой информационной емкостью светового поля как носителя информации, высокой скоростью передачи данных по информационным каналам и принципиальной легкостью осуществления математических операций со световыми полями. Одним из способов создания таких полей является модуляция видимого света, создаваемого светодиодами осветительных приборов. Модуляция реализуется путем управления параметрами тока, протекающего через светодиод. Управление током осуществляет микроконтроллер.

Наличие в схеме управления светодиодами микроконтроллеров потенциально формирует угрозу возникновения канала утечки информации.

Механизмы модуляции видимого света могут быть как естественного происхождения (посредством возникновения микрофонного эффекта из-за использования как минимум конденсаторов в схеме управления светодиодами), так и искусственного (посредством сознательного размещения в контроллере микрофонов высокой чувствительности, цифровых микрофонов с технологией MEMS).

Структура канала утечки информации. Особенность формирования канала утечки определяет его следующую структуру: источник акустической информации, микрофон, контроллер светодиода, светодиод, свободное пространство, оптическая система, фотодетектор, преобразователь, несанкционированный получатель информации.

Преобразование акустического сигнала в изменяющийся световой поток происходит посредством амплитудной модуляции или манипуляции применительно к цифровым сигналам. Применение цифровых сигналов и цифровых видов модуляции в канале утечки акустической информации обеспечивает лучшие энергетические характеристики по сравнению с амплитудной модуляцией аналогового сигнала. Светодиод, обладая высоким быстродействием, позволяет изменять свою интенсивность с незаметной для человека частотой. В [1, 2] показано, что использование частоты приключения светодиодов 200 Гц и выше становится незаметным для человека, но приводит к суммарному изменению интенсивности освещения.

Для формирования канала утечки используется как прямой луч от светодиода, так и рассеянный сигнал. Преобразование информационного оптического сигнала неизбежно приводит к его затуханию. Оптическая система, обладая значительно большей апертурой по сравнению с площадью фотоприемника, позволяет повысить энергетическую эффективность канала утечки информации. Фотоприемник линейно преобразует интенсивность светового потока в электрический ток, поступающий на усилитель и последующие блоки обработки, позволяющие получить передаваемый акустический сигнал.

Физическая реализуемость канала утечки. Существование такого канала утечки стало возможным с появлением осветительных приборов, основным световым элементом которых являются яркие светодиоды. Научное подтверждение этого факта заключается в существовании коммуникационной технологии связи посредством модуляции видимого света. Она получила название Light Fidelity или Li-Fi [3]. Профессор Харальд Хаас [3] придумал термин «Li-Fi» на конференции TED Global Talk 2011 г., где он представил идею «беспроводных данных из каждого источника» [4].

Параметры канала утечки информации. Одним из параметров канала утечки информации является отношение сигнал – шум на приемной стороне. Будем полагать помехи рассматриваемому каналу в виде сторонних источников и переотражений в виде белого шума с гауссовским распределением. В оптических каналах качество передачи обычно определяется дробовым шумом [5]. Основной вклад в отношение сигнал – шум в рассматриваемом канале утечки применительно к низкой интенсивности переотраженных сигналов и излучению сторонних источников за счет угловой селекции вносит шум

предварительного усилителя, что позволяет не учитывать для предварительной оценки дробовой шум. Тогда канал утечки имеет модель

$$Y(t) = \gamma \int X(\tau)h(t-\tau)d\tau + N(t),$$

где $Y(t)$ – ток поступающий на предварительный усилитель; γ – чувствительность фотодетектора; $N(t)$ – белый гауссовский шум; $h(t)$ – импульсная характеристика; $X(t)$ – передаваемый оптический импульс.

Рассмотрим бинарную амплитудную манипуляцию БАМн. В данном виде манипуляции логическая единица передается максимальной интенсивностью света, выключением света передается логический ноль.

Коэффициент ошибок по битам (Bit Error Rate (BER)) передаваемой информации при передаче прямоугольных импульсов с длительностью, равной периоду бита, имеет вид:

$$BER = Q(\sqrt{q}),$$

где q – отношение сигнал – шум,

$$Q(x) = (1/\sqrt{2\pi}) \int_x^\infty e^{(-y^2/2)} dy.$$

Для отношения сигнал – шум принятой оптической мощности $q = 10$ коэффициент $BER = 10^{-4}$. Битовые ошибки приводят к ухудшению разборчивости канала утечки акустической информации, достоверности информации, снижению пропускной способности.

В [6] приводится график зависимости отношения сигнал – шум от угла обзора светодиода (рис. 1). Из рисунка видно, что из-за отклонения от оси свечения светодиода уменьшается отношение сигнал шум и соответственно увеличивается коэффициент ошибок.

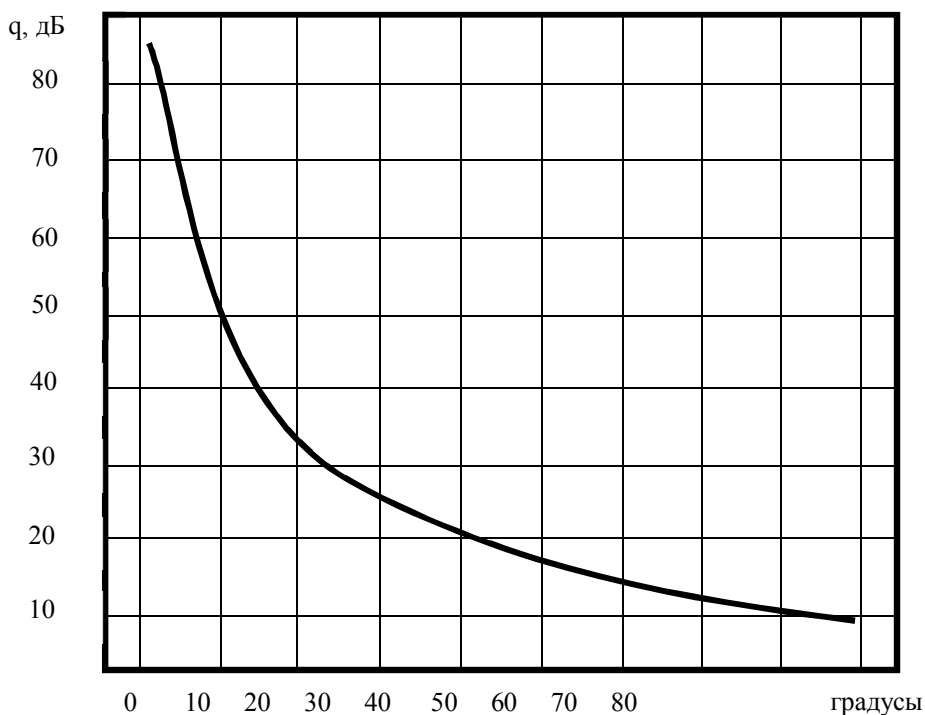


Рисунок 1 – Зависимость отношения сигнал – шум и угла обзора светодиода

В [7] авторы отмечают реализуемость в лабораторном эксперименте скорости передачи данных 11 МБит/с на расстоянии 3 м. В [8] при использовании ярких светодиодов, синего фильтра и бинарной амплитудной модуляции была получена скорость передачи данных 280 Мбит/с на расстоянии 23 см. Эксперименты не использовали оптические линзовые системы, исследования проводились с целью получения наибольшей скорости передачи данных. Далее будем основываться на этих значениях и выражении для скорости передачи данных в виде

$$\tilde{N}(r) = \Delta f \log(1 + (10^{q/10})/r^2),$$

где C – пропускная способность; Δf – полоса пропускания; q – отношение сигнал – шум в дБ.

Полоса пропускания оптического канала передачи данных в разных исследованиях принимает значения от 0,4 до 120 МГц [8]. Мы в расчетах будем использовать 10 МГц. На рисунке 2 представлена зависимость пропускной способности канала утечки информации от расстояния.

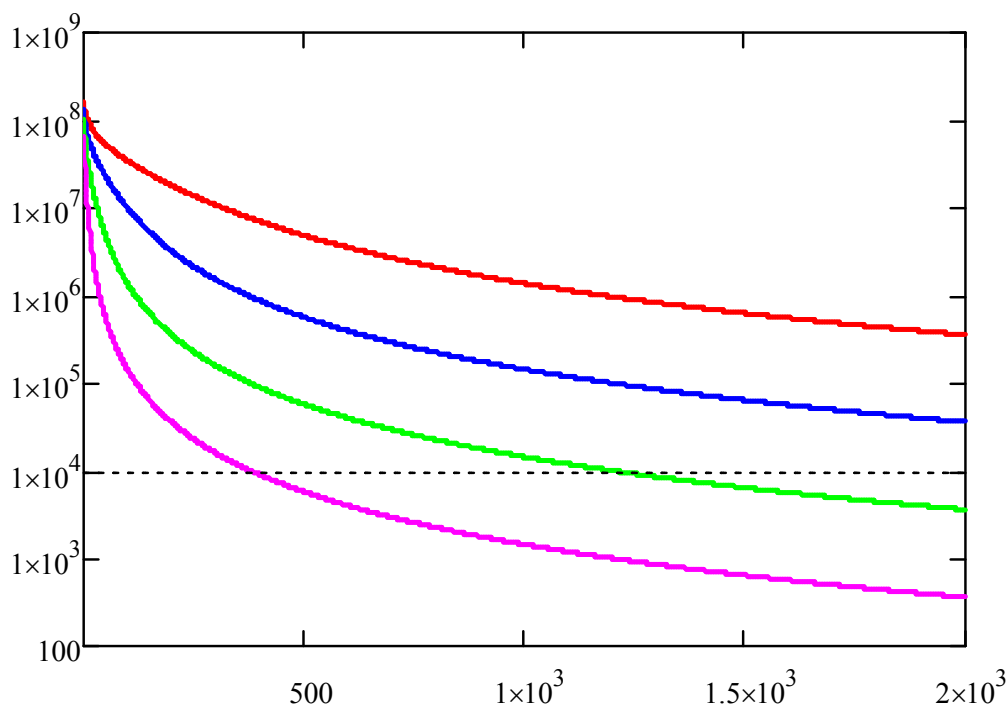


Рисунок 2 – Изменение пропускной способности канала утечки речевой информации за счет модуляции видимого света с расстоянием: 1 – при $q = 50$ дБ; 2 – при $q = 40$ дБ; 3 – при $q = 30$ дБ; 4 – при $q = 20$ дБ

На рисунке 2 горизонтальная линия соответствует пропускной способности стандартного канала 9600 бит/с, обеспечивающего передачу разборчивой речи. Графики в качественной форме демонстрируют характеристики канала утечки информации, показывающие возможности его физической реализации. Таким образом, из рисунка 2 следует, что дальность рассматриваемого канала утечки информации может составлять порядка 1000 метров.

Выводы. Рассмотренный канал утечки информации потенциально представляет вероятную угрозу утечки информации. Формирование канала утечки связано с использованием светодиодных осветительных приборов. Рассчитанные оценочные значения дальности канала утечки свидетельствуют о его высокой потенциальной опасности. Для противодействия рассматриваемому каналу утечки информации необходима разработка технических и административных мер противодействия. В отечественной доктрине информационной безопасности и стратегиях развития кибербезопасности иностранных государств отмечается важность своевременного реагирования на новые виды угрозы и развития комплекса мер, направленных на их нейтрализацию и уменьшение возможных потерь.

Библиографический список

1. Kwon J. K. Inverse source coding for dimming in visible light communications using NRZ-OOK on reliable links / J. K. Kwon // IEEE Photon. Technol. Lett. – 2010, 1 Oct. – Vol. 22 (19). – P. 1455–1457.
2. Ahn K.-I. Capacity analysis of M-PAM inverse source coding in visible light communications / K.-I. Ahn, J. K. Kwon // IEEE/OSA J. Lightw. Technol. – 2012, 15 May. – Vol. 30 (10). – P. 1399–1404.
3. Comprehensive Summary of Modulation Techniques for LiFi. – Режим доступа: www.lifi.eng.ed.ac.uk, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.01.2018).
4. Harald Haas: Wireless data from every light bulb. ted. com.: Archived from the original on 8 June 2017.
5. Barry J. R. Wireless Infrared Communications / J. R. Barry. – Boston, MA : Kluwer Academic Press, 1994.
6. Toshihiko Komine. Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights / Toshihiko Komine, Masao Nakagawa // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2004. – Vol. 50, № 1.
7. Shamsudheen P. Performance Analysis of Visible Light Communication System for Free Space Optical Communication Link / P. Shamsudheen, E. Sureshkumar, Chunkath Job // Procedia Technology. – 2016. – Vol. 24. – P. 827–833. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protec.2016.05.116>.
8. Latif Ullah Khan. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges / Latif Ullah Khan // Digital Communications and Networks. – 2017. – Vol. 3. – P. 78–88.

References

1. Kwon J. K. Inverse source coding for dimming in visible light communications using NRZ-OOK on reliable links. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2010, 1 Oct., vol. 22 (19), pp. 1455–1457.
2. Ahn K.-I., Kwon J. K. Capacity analysis of M-PAM inverse source coding in visible light communications. *IEEE/OSA J. Lightw. Technol.*, 2012, 15 May, vol. 30 (10), pp. 1399–1404.
3. *Comprehensive Summary of Modulation Techniques for LiFi*. Available at: www.lifi.eng.ed.ac.uk (accessed 16.01.2018).
4. Harald Haas: *Wireless data from every light bulb*. *ted.com*.: Archived from the original on 8 June 2017.
5. Barry J. R. *Wireless Infrared Communications*. Boston, MA, Kluwer Academic Press, 1994.
6. Toshihiko Komine, Masao Nakagawa. Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2004, vol. 50, no. 1.
7. Shamsudheen P., Sureshkumar E., Job Chunkath. Performance Analysis of Visible Light Communication System for Free Space Optical Communication Link. *Procedia Technology*, 2016, vol. 24, pp. 827–833, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.116>.
8. Latif Ullah Khan. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges. *Digital Communications and Networks*, 2017, vol. 3, pp. 78–88.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.942

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИНТЕЗА ФИЗИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИИ СЕТИ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

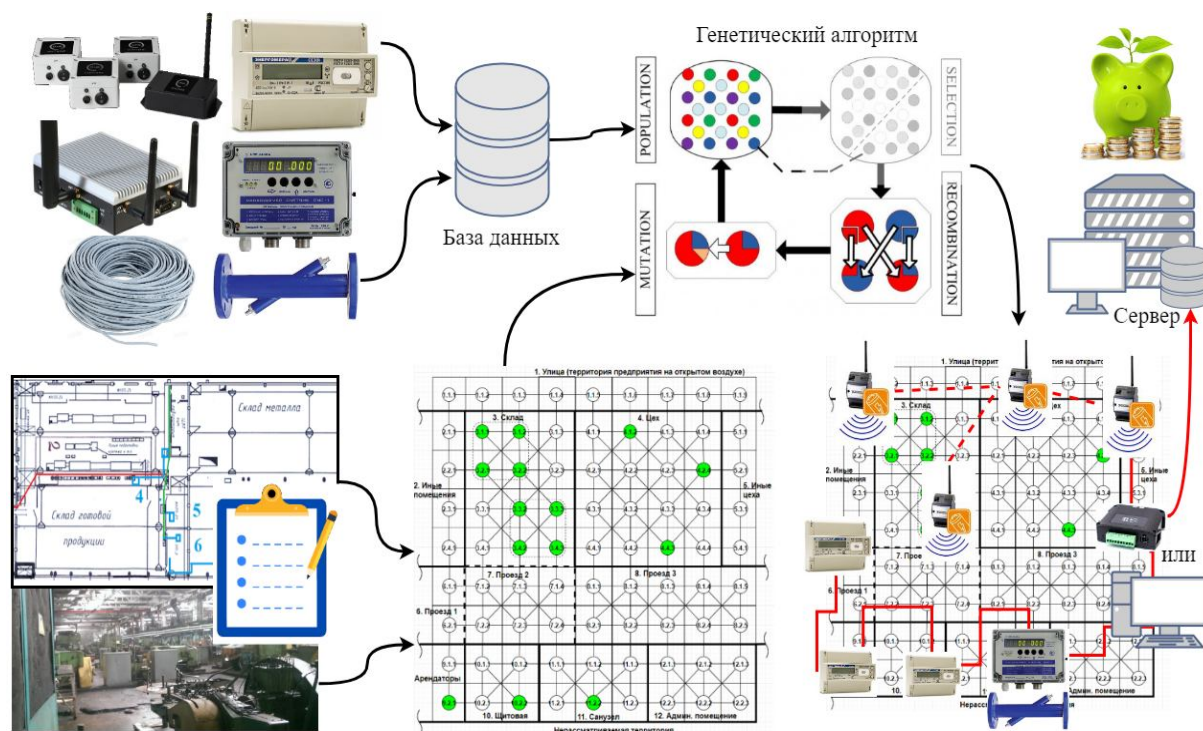
Статья поступила в редакцию 10.03.2019, в окончательном варианте – 05.04.2019.

Соколов Александр Александрович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, ассистент, e-mail: alexander.sokolov.it@gmail.com

В работе представлено решение задачи поддержки принятия решений в процессе синтеза физической топологии сети автоматизированной системы сбора и передачи данных. Она используется в рамках системы энергетического менеджмента на машиностроительных предприятиях. Предлагается новый метод синтеза физической топологии сети сбора и передачи данных. Он обеспечивает рациональное покрытие необходимых объектов на предприятии сетью интеллектуальных средств измерения, счётчиков, датчиков, а также контроллеров системы при минимальных финансовых и временных затратах на их установку и дальнейшую эксплуатацию. Данный метод отличается от существующих следующими особенностями: наличие формализации свойств применяемого оборудования и объектов предприятия; новое представление объектов предприятия в виде взвешенного неориентированного графа; применение генетического алгоритма для получения близкой к оптимальной комбинации единиц оборудования, мест их размещения и найденных на графе кратчайших путей их объединения в сети сбора и передачи данных. Для тестирования предложенного метода разработан прототип программного решения. С его помощью проведен ряд вычислительных экспериментов. Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что с помощью данного метода можно найти, по крайней мере, субоптимальные решения поставленной задачи за приемлемое время.

Ключевые слова: энергетический менеджмент, сбор и передача данных, синтез физической топологии сети, генетический алгоритм, сети сбора данных, граф, мониторинг потребления энергоресурсов

Графическая аннотация (Graphical annotation)



SYSTEM FOR THE DECISION-MAKING SUPPORT OF THE SYNTHESIS OF PHYSICAL TOPOLOGY OF COLLECTION AND DATA TRANSFER NETWORK IN ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS

The article was received by editorial board on 10.03.2019, in the final version – 05.04.2019.

Sokolov Alexander A., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,
assistant, e-mail: alexander.sokolov.it@gmail.com

This paper presents a solution to the problem of decision-making support in the process of synthesizing the physical topology of the network of an automated data collection and transmission system that is used as part of the energy management system at machine-building enterprises. This paper proposes a new method for synthesizing the physical topology of the network for data collection and transmission to solve this problem. It provides efficient coverage of the necessary facilities at the enterprise with a network of intelligent measuring instruments, meters, sensors, as well as system controllers with minimal financial and time costs for its implementation and further operation. This method differs from the existing ones by the formalization of the equipment used and the properties of the enterprise objects, by the new representation of the enterprise objects in the form of a weighted undirected graph, by applying a genetic algorithm to obtain the optimal combination of equipment, its locations and the shortest paths found on the graph for its integration into the data collection and transmission network. This paper presents a prototype of developed software solution to test the proposed method. With it, several computational experiments were carried out. The results obtained led to the conclusion that using this method, one can find at least suboptimal solutions of the problem in reasonable time.

Key words: energy management, data collection, data transmission, synthesis of the physical network topology, genetic algorithm, data collection networks, graph, energy consumption monitoring

Принятые сокращения. АССПД – автоматизированная система сбора и передачи данных, БД – база данных, БСС – беспроводная сенсорная сеть, ГА – генетический алгоритм, КПД – канал передачи данных, КУ – конечное устройство, ЛПР – лицо, принимающее решения, МУУ – место учета и управления, ПП – приемопередатчик, ППР – поддержка принятия решений, СЭМ – система энергетического менеджмента, УСПД – устройство сбора и передачи данных, LPWAN (англ. Low-power Wide-area Network) – энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия, LTE (англ. Long-Term Evolution) – долговременное развитие.

Введение. Снижение себестоимости выпускаемой продукции является одной из ключевых задач сохранения конкурентоспособности и дальнейшего развития машиностроительных предприятий. Она решается путём оптимизации процесса обеспечения производства необходимыми энергоресурсами. Для этого используются системы энергетического менеджмента (СЭМ) [14], позволяющие осуществлять следующее: 1) мониторинг потребления и выявление утечек энергоресурсов; 2) контроль выполнения энергосберегающих мероприятий; 3) управление энергопотреблением; 4) прогнозирование энергопотребления следующих производственных циклов на объектах предприятия; 5) оперативное реагирование на нештатные ситуации [9]. В данной работе к энергоресурсам отнесено следующее: электроэнергия, вода, различные газы, химические вещества и др.

На сегодняшний день технологии, используемые в СЭМ, широко распространены. Это привело к увеличению числа применяемых в них технологических решений [4]. Однако нерешенной задачей является поддержка принятия решений (ППР) при проектировании входящей в СЭМ подсистемы автоматизированного сбора и передачи данных, а также сигналов управляющих воздействий [20]. При ППР необходимо учитывать особенности поставленных задач и ограничений на возможности размещения сетей сбора и передачи данных на объектах предприятия.

Первым этапом внедрения СЭМ в промышленности является размещение на объектах интеллектуальных средств измерения, счётчиков, датчиков и контроллеров – конечных устройств (КУ). Они должны быть снабжены цифровыми интерфейсами для получения и предоставления информации [16]. Данный этап также выполняется в рамках интеллектуализации процессов получения информации, ее обработки/анализа и управления для централизованных коммунальных систем в городах в целом [2]. Вторым этапом является размещение и использование на предприятии автоматизированной системы сбора и передачи данных (АССПД). Она собирает и передаёт данные с указанных выше устройств на сервер и обратно, а её сети могут быть проводными или беспроводными. Их структура формально описывается физической топологией – конфигурацией графа, вершинам которого соответствуют КУ, серверы и коммуникационное оборудование, а ребрам – физические или информационные связи между вершинами.

На данный момент можно говорить о несовершенстве методов синтеза оптимальной физической топологии сети АССПД. Это обуславливает актуальность решения задачи ППР при выборе технологий в процессе проектирования АССПД и синтеза физической топологии её сети. При ППР необходима оценка длительности периода окупаемости проекта, минимизация стоимости и сроков реализации проекта, а также учет имеющихся ограничений на объектах предприятия.

АССПД включает в себя описанные далее уровни [12, 16], иерархическая структура которых представлена на рисунке 1: 1) нижний уровень, на котором находятся КУ; 2) средний уровень, в который входят средства обмена информацией между компонентами системы. В него входят: 2.1) каналы передачи данных (КПД) – среда распространения сигналов; 2.2) приемопередатчики (ПП) – устройства, выполняющие функции приема и отправки данных в КПД, расширения его радиуса действия, а также позволяющие перейти от одного КПД к другому; 3) верхний уровень, в который входят: 3.1) устройства сбора и передачи данных (УСПД) – программно-аппаратные решения, к которым подключается множество КУ и ПП через КПД и которые отправляют данные на локальный или удалённый сервер (или получают от него и передают далее) с помощью проводного или беспроводного подключения к локальной сети предприятия или интернету; 3.2) серверы баз данных (БД) и управления – рабочие станции, которые принимают данные от УСПД или напрямую с КУ и отправляют сигналы управляющих воздействий.

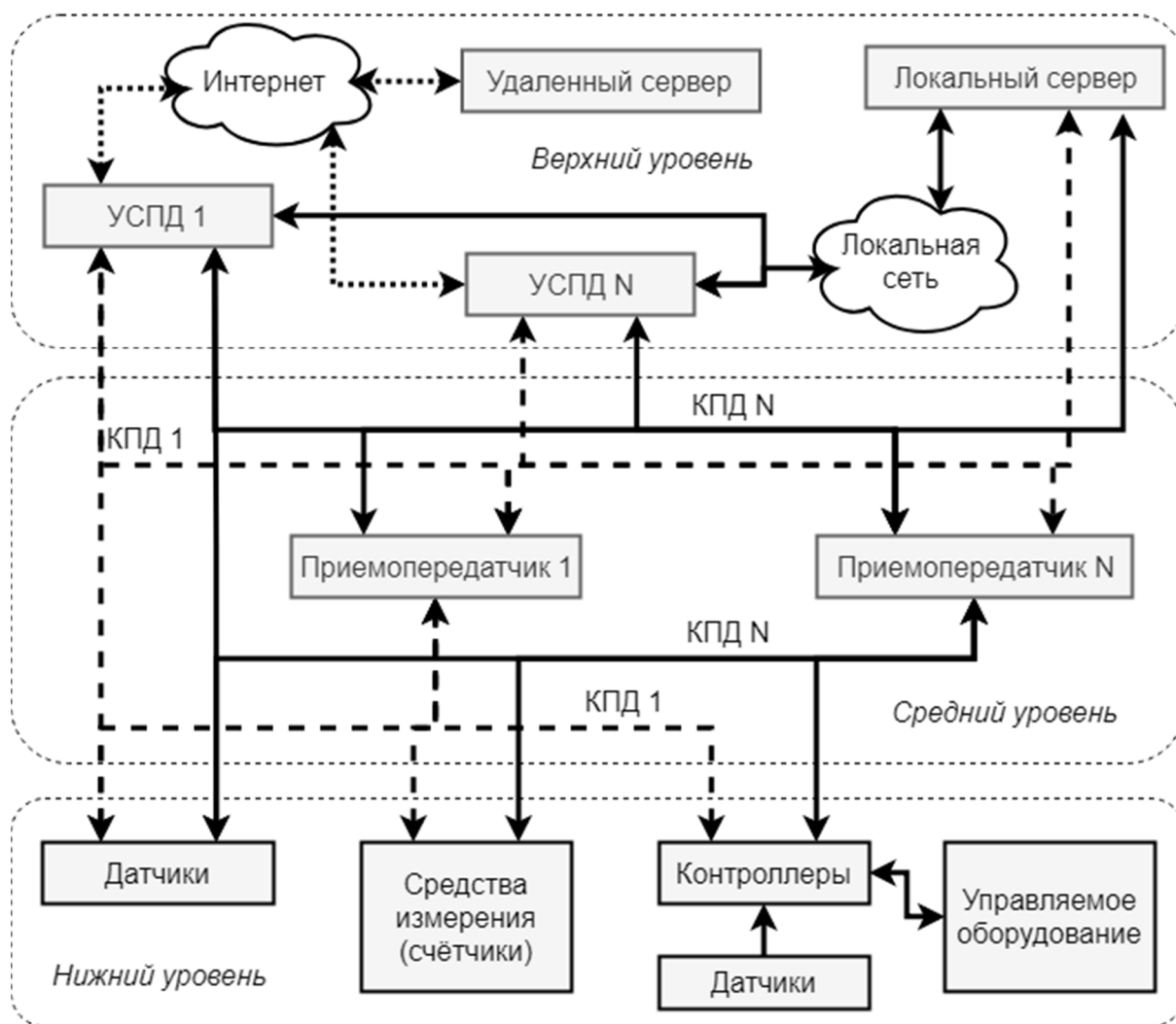


Рисунок 1 – Иерархическая структура уровней АССПД

Процесс синтеза физической топологии сети АССПД включает в себя определение оптимальной цепочки оборудования, используемого на каждом из описанных выше уровней. Он осуществляется путем выполнения следующих шагов, показанных на рисунке 2 и более подробно описанных далее.

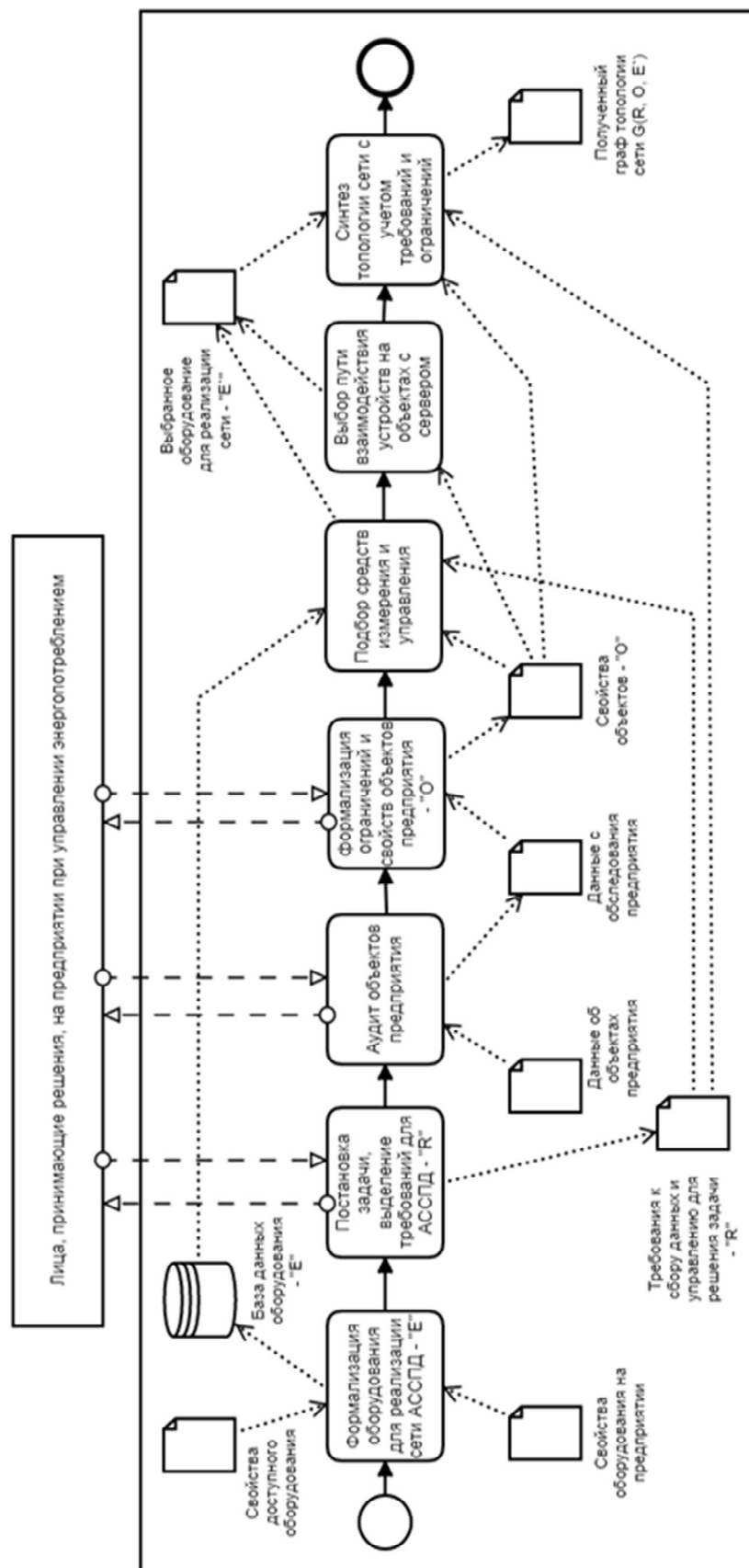


Рисунок 2 – Процесс синтеза физической топологии сети АССПД

1. Вначале производится формализация характеристик доступного для установки оборудования «Е» (см. рис. 2) и способов его комбинирования. Они дополняются характеристиками уже установленно-го оборудования на предприятии.

2. Производится постановка целевой задачи в проектируемой системе «R». Это осуществляется в диалоге с лицами, принимающими решения (ЛПР) в сфере управления обеспечением энергоресурсами и оптимизации энергопотребления предприятия. Формируются множества измеряемых энергоресурсов, параметров производства, управляемого оборудования, мест учета (энергоресурсов) и управления (оборудованием) (МУУ), располагающихся на предприятии. Также задаётся их приоритет в очередности покрытия сетью.

3. Далее производится аудит объектов предприятия и изучение особенностей процесса сбора и передачи данных на них. Выявляются ограничения и свойства объектов путём анализа схем территорий, планов помещений объектов предприятия [12].

4. По результатам аудита осуществляется формализация территории предприятия в виде графа. Также формализуются ограничения и свойства объектов «О», которые накладываются на процесс синтеза сети АССПД.

5. Выбирается оборудование для КУ – «Е'».

6. Производится выбор способа взаимодействия КУ с УСПД или сервером – дополняется «Е'».

7. Выполняется синтез топологии сети АССПД в виде ряда подграфов $G_i(R, O, E')$ графа территории предприятия, которые покрывают каждое i -е МУУ (при их количестве «М»). При их формировании учитываются свойства и ограничения объектов, а также учитывается одно из выбранных ЛПР требований синтеза топологии АССПД:

а) стоимость установки оборудования не превышает размер заданного ЛПР бюджета b на проект:

$$\sum_{i=1}^M F_c(G_i(R, O, E')) \leq b; \quad (1)$$

б) время установки оборудования не превышает заданного ЛПР времени на реализацию проекта t :

$$\sum_{i=1}^M F_t(G_i(R, O, E')) \leq t; \quad (2)$$

в) минимизация финансовых затрат на установку оборудования:

$$\sum_{i=1}^M F_c(G_i(R, O, E')) \rightarrow \min \quad (3)$$

г) минимизация временных затрат на установку оборудования:

$$\sum_{i=1}^M F_t(G_i(R, O, E')) \rightarrow \min \quad (4)$$

д) минимизация суммарных финансовых затрат при наличии значения стоимости выполнения часа работ $p_{\text{час}}$:

$$\sum_{i=1}^M (F_c(G_i(R, O, E')) + F_t(G_i(R, O, E'))p_{\text{час}}) \rightarrow \min \quad (5)$$

Таким образом, актуальной задачей является осуществление ППР за счёт автоматизации описанных выше шагов. Для решения поставленной задачи в данной работе предлагается новый метод синтеза физической топологии сети АССПД для СЭМ. Он обеспечивает покрытие всех выбранных МУУ сетью сбора и передачи данных с учетом описанных выше требований. Данный метод отличается от существующих следующим: 1) наличие формализации применяемого оборудования, из которого формируется БД устройств для дальнейшего получения их комбинаций; 2) наличие формализации свойств объектов предприятия с применением множества экспертных оценок, получаемых от ЛПР; 3) новое представление совокупности рассматриваемых объектов предприятия в виде взвешенного неориентированного графа; 4) применение генетического алгоритма (ГА) для получения близкой к оптимальной (субоптимальной) комбинации единиц оборудования, мест их размещения и найденных на графе кратчайших путей их объединения в сети сбора и передачи данных.

Степень разработанности темы исследования. Многочисленные исследования на сегодняшний день проведены в направлении повышения эффективности размещения беспроводных сенсорных сетей (БСС) [1, 3, 5, 6, 10]. Однако не во всех работах оценивается экономический эффект от их внедрения, особенно в сравнении с проводным способом или в их комбинации, а также затрачиваемое на установку оборудования время. Лишь небольшое число проведённых исследований было направлено на реализацию АССПД с применением комплекса различных типов технологий сбора и передачи данных с учетом ограничений на объектах предприятия. В [21] представлена архитектура беспроводной сети датчиков и приводов для измерения потребления электроэнергии и управления устройствами в разнообразной среде большого здания. Аналогичная технология передачи данных представлена в разработанной в [8] СЭМ предприятия. Она имеет значительное количество точек сбора данных, распределенных по производственным, техноло-

гическим и прочим участкам. Преимущества описанных выше решений заключаются в гибкости формирования сети и легкости добавления новых узлов. Их недостатком является требование к покрытию здания локальной сетью и устройствами для беспроводного или проводного подключения к ней. Это не всегда практически реализуемо на промышленных предприятиях вследствие больших размеров цехов и отсутствия необходимой инфраструктуры локальных сетей предприятия в целом.

В различных источниках ранее уже рассматривалась задача синтеза физической топологии БСС с применением графов [15]. Системы синтеза сетей на базе беспроводных датчиков рассмотрены в [9]. В ней предложена информационная модель синтеза структуры АССПД. Однако в рамках этих работ применялись только беспроводные способы передачи данных и не учитывалась задача передачи данных на удаленный сервер.

Комбинации проводных и беспроводных сетей предлагались в [23]. Представленные гибридные системы позволяют оптимизировать стоимость их реализации. Но необходимо также рассмотреть ограничения среды на объектах предприятия и большее количество способов передачи данных, особенно популярных в Российской Федерации.

Для поиска комбинаций используемого оборудования и выбора близких к оптимальным (субоптимальных) путей соединения его в сети АССПД из множества потенциально возможных решений эффективно применяется ГА, например, в [27]. В [7] подробно описано применение эволюционных вычислений при решении похожих задач на графах. Так, для БСС задача оптимального покрытия указанной территории может быть решена с помощью использования ГА, а также алгоритмов муравьиных колоний, как показано в [25]. Данные работы демонстрируют, что применение ГА для подобных задач позволяет успешно достигать поставленных целей. Несмотря на это, представленные решения достаточно далеки от рассматриваемых в текущей работе аппаратно-технических решений.

В [11] предложен алгоритм построения структуры БСС, основанный на применении муравьиных, пчелиных и генетических алгоритмов. Продемонстрированы результаты синтеза топологии БСС на объекте с пространственными ограничениями. Однако с помощью данного алгоритма не решается задача подбора оптимального оборудования и не рассмотрено размещение множества приемопередатчиков. Отметим, что этот метод может быть использован в комбинации с предлагаемым в текущей работе методом для решения задачи построения сети датчиков на конкретном объекте. Настоящая статья посвящена решению более глобальной задачи – на множестве разнородных объектов с применением оборудования различных типов и различных способов передачи данных.

Предлагаемый метод. Метод включает в себя последовательность следующих шагов, показанных на рисунке 3.

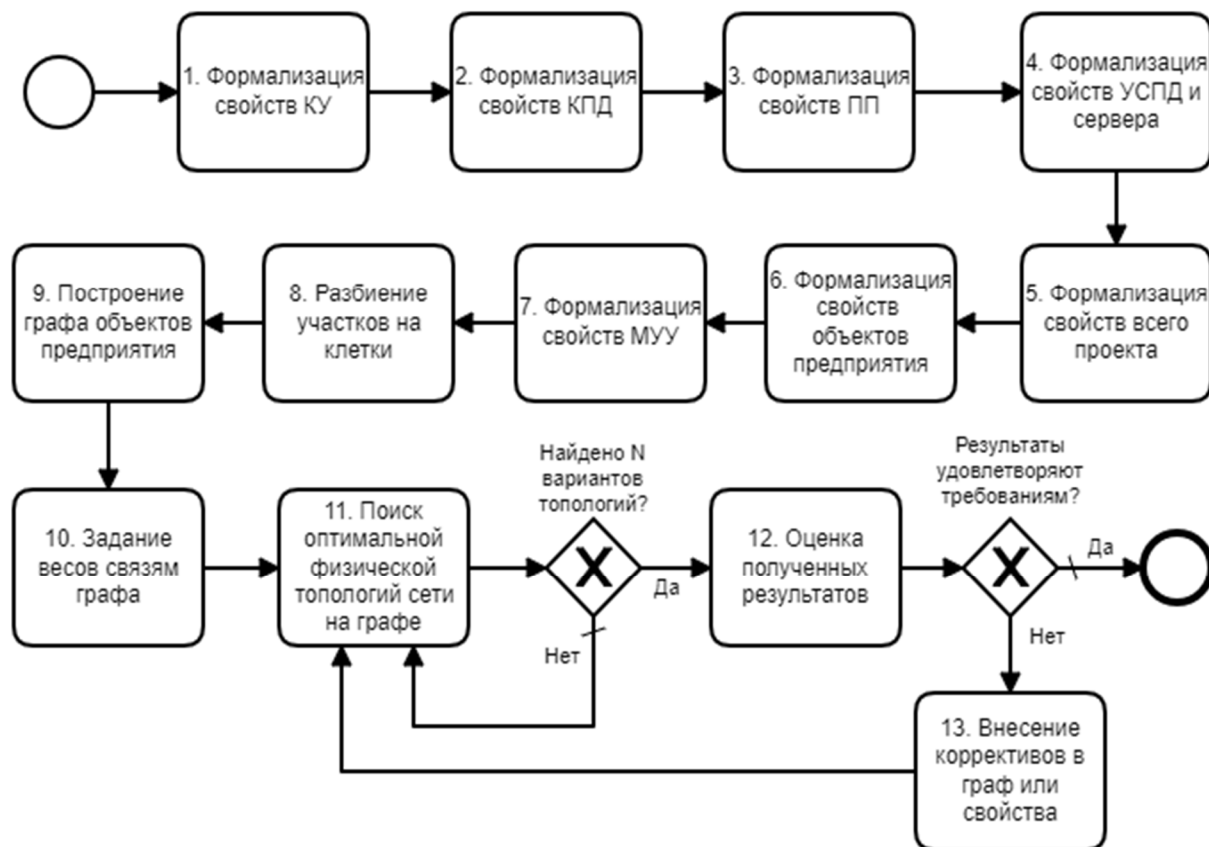


Рисунок 3 – Последовательность шагов предлагаемого метода

Шаг 1 заключается в формализации свойств КУ. Основными из них являются: $S_{КУ}$ – множество способов передачи данных, по которым данное КУ может отправлять данные в КПД, например, RS-485, Bluetooth, ZigBee, электрические импульсы и др.; $M_{КУ}$ – множество всех измерений потребления энергоресурсов данным КУ; $C_{КУ}$ – множество всех управляющих воздействий, которые можно оказывать на оборудование с помощью данного КУ.

Шаг 2 заключается в формализации свойств КПД. К основным из них отнесены: $u_{КПД}$ – логическое значение, обозначающее, является ли КПД беспроводным или нет; $s_{КПД}$ – способ передачи данных, используемый в данном КПД; $r_{КПД}$ – дробное значение максимальной дальности передачи данных по КПД; $n_{КПД}$ – топология связи устройств, допустимая для использования с данным КПД: ячеистая, шина или звезда.

Шаг 3 заключается в формализации свойств ПП, к основным из которых отнесены: $S^R_{ПП}$ – множество доступных способов приёма данных от КУ или КПД; $S^S_{ПП}$ – множество способов отправки данных в другой КПД.

Шаг 4 заключается в формализации свойств сервера и УСПД. Основными из них являются: $S^R_{УСПД}$ – множество доступных способов приёма данных от КПД; $I_{УСПД}$ – множество способов передачи данных на сервер. В работе рассмотрено соединение с помощью проводного и беспроводного подключения к локальной сети предприятия или интернету, а также средствами GSM, GPRS, 3G, 4G или LPWAN. Возможны два варианта соединения КУ с локальным или удалённым сервером (см. рис. 1): 1) к серверу напрямую подключается КПД, и он является одним из УСПД; 2) данные поступают на сервер с помощью совокупности УСПД, принимающих данные из КПД и передающих их на сервер. Причём КУ может объединяться с УСПД, если оно имеет функционал для передачи данных в локальную сеть предприятия или интернет через GSM/GPRS и т.п.

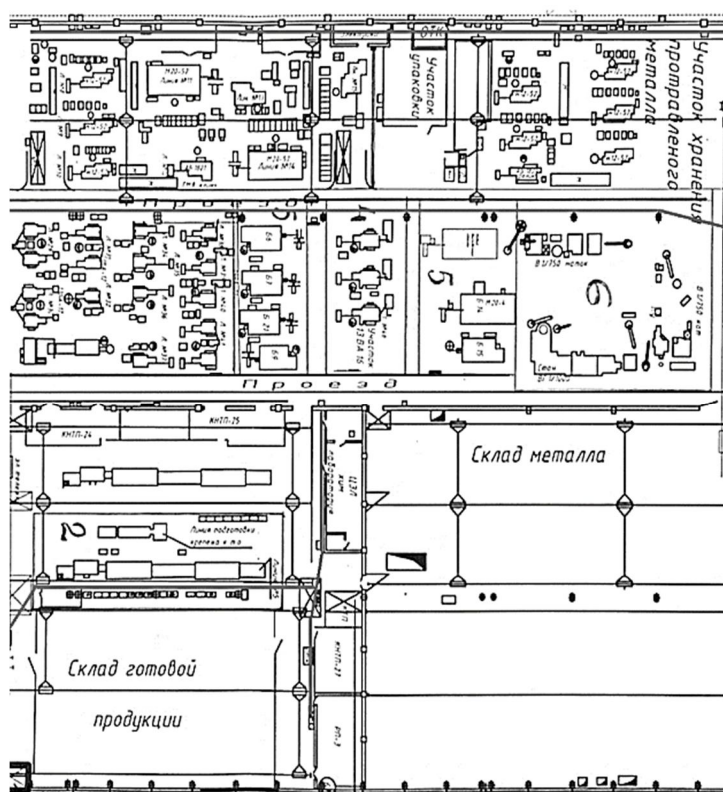
Также у КУ, КПД (если он является проводным), ПП и УСПД имеется ряд одинаковых свойств. В основные из них входят следующие: $p^p_{КУ}$, $p^p_{КПД}$, $p^p_{ПП}$, $p^p_{УСПД}$ – дробные значения стоимости приобретения; $p^l_{КУ}(v)$, $p^l_{КПД}(v)$, $p^l_{ПП}(v)$, $p^l_{УСПД}(v)$ – дробные значения стоимости монтажа в вершине графа v ; $t^l_{КУ}(v)$, $t^l_{КПД}(v)$, $t^l_{ПП}(v)$, $t^l_{УСПД}(v)$ – дробные значения количества часов, затрачиваемых на установку в вершине графа v .

Шаг 5 заключается в описании свойств всего проекта по внедрению АССПД. Основные свойства проекта следующие: b – дробное значение бюджета проекта, который не должен быть превышен; t – дробное значение количества месяцев периода эксплуатации АССПД для расчета затрат на её использование во времени; l – логическое значение, обозначающее, требуется ли использовать локальный сервер, иначе будет использоваться удалённый сервер; i – логическое значение, обозначающее будет ли доступен выход в интернет из локальной сети предприятия; a_b , a_r – дробные значения абонентской платы в месяц за использование локального сервера и предоставляемого удалённого сервера; I – множество способов передачи данных на сервер (GSM/GPRS, 3G, 4G/LTE, LPWAN и др.), доступных на территории предприятия; I_p – множество стоимостей абонентского обслуживания одного УСПД.

Шаг 6 заключается в формализации свойств каждого из рассматриваемых на предприятии объектов. Для этого используются следующие материалы (источники): 1) планы помещений; 2) схемы зданий и цехов (пример схемы показан на рисунке 4а); 3) карты территорий предприятия, прилегающих к объектам; 4) вновь разработанные схемы с соблюдением масштабов, размеров и точности планировок (данная задача ложится на разработчика схемы).

Если объекты предприятия удалены друг от друга на значительные расстояния (более 300 м.), то в диалоге с ЛПР рассматривается вопрос о разбиении проекта. Он делится на множество отдельных проектов по внедрению АССПД для каждого из удалённых объектов предприятия (территориальных частей проекта).

Формируется единая схема указанных объектов предприятия и только прилегающих к ним территорий предприятия. С неё убираются все посторонние обозначения и надписи, и она разбивается на множество участков. Участок ограничивается путем выделения прямоугольной области произвольного размера с однородной средой и общим назначением (например, одно помещение или производственная зона). Участки плотно примыкают друг к другу, без зазоров и учета толщины стен между ними, также они могут быть вложенными друг в друга.



а)

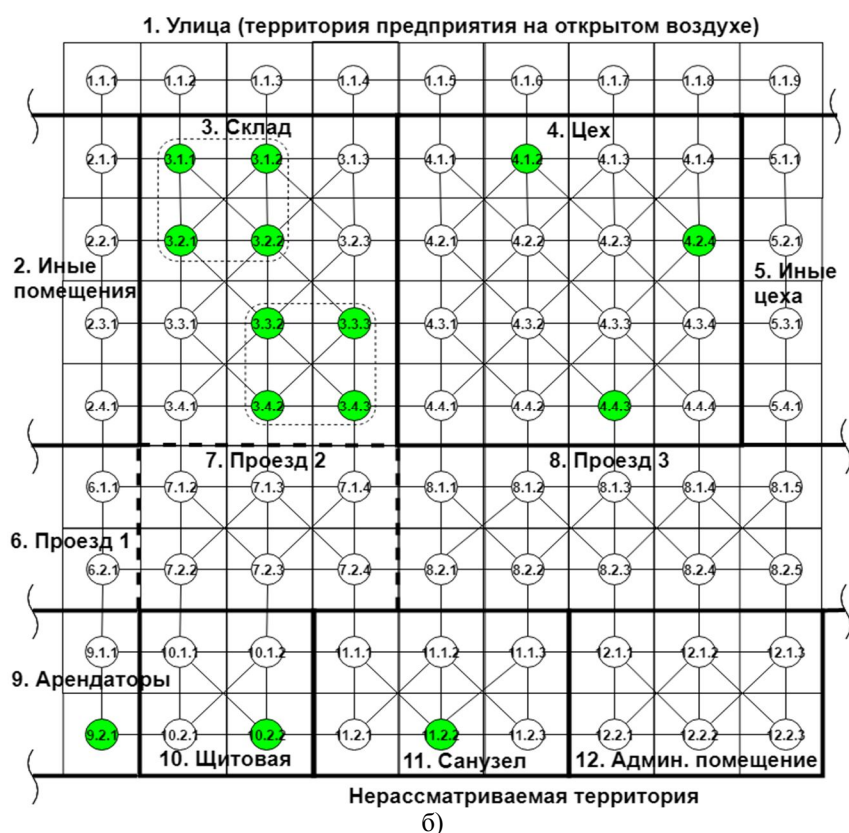


Рисунок 4 – Примеры частей схем предприятия: а) часть исходной схемы; б) часть обработанной схемы с выделенными участками, разбитой на клетки, в которые помещены вершины графа (см. шаги 8 и 9, зелёным цветом выделены МУУ)

Основными свойствами участка являются следующие:

- h_y, w_y – целые числа длины и ширины участка (округляются до 1 метра);
- i_y^e, i_y^w – логические значения, обозначающие наличие на данном участке проводного и беспроводного подключения к локальной сети предприятия;
- $f_{агрессивн.}$ – пять целых значений экспертных оценок агрессивности среды на каждой из границ участка и внутри участка в диапазоне от 1 до 10. Здесь 10 – высокая агрессивность, проведение монтажных работ на данном участке невозможно, 5 – на открытом воздухе или аналогичная по агрессивности среда, где требуются средства защиты от температур, влаги, прямых солнечных лучей и т.п., 1 – офисное помещение;
- $f_{непригодн.}$ – пять целых значений экспертных оценок непригодности каждой из границ участка для размещения на ней КУ, КПА и т.д. и во внутренней части участка. Они обозначают, доступны ли участки в дальнейшем для диагностики, имеется ли доступ к ним только для персонала и т.п. Оценки в диапазоне от 1 до 10, где 10 – непригодно, 5 – пригодно с дополнительными затратами, 1 – пригодно;
- $f_{труд.}$ – пять целых значений экспертных оценок от 1 до 10 трудоемкости проведения монтажных работ вдоль каждой из границ участка и внутри участка. Они определяются при аудите объектов предприятия, где 1 – низкая трудоемкость проведения монтажных работ, 5 – требуются спецсредства для проведения работ, 10 – монтаж невозможен;
- $f_{радио, непроход.}$ – пять целых значений экспертных оценок непроходимости радиоволн через границы между участками и внутри участка. Они также определяются при аудите объектов предприятия и находятся в диапазоне от 1 до 10, где 1 – низкая (преграда для радиоволн незначительна), 5 – имеются затруднения, небольшие шумы или преграды (типовая кирпичная стена толщиной 30 см современного здания), 10 – высокая, сигнал не проходит через стены участка или внутри участка;
- $f_{провод, непроход.}$ – пять целых значений экспертных оценок трудоемкости проведения проводных связей (кабелей) через границы между участками и внутри участка, где 1 – низкая, 5 – имеются затруднения, 10 – высокая.

Шаг 7 заключается в формализации свойств МУУ. Основными из них являются их координаты и размеры (которые будут использованы на шаге 9), а также следующие: g – целое значение экспертной оценки приоритета покрытия данной МУУ сетью АССПД, начиная с 0, где 0 – самый высокий приоритет; $M_{МУУ}$ – множество всех доступных измерений потребления энергоресурсов; $S_{МУУ}$ – множество всех управляющих воздействий. На участке может располагаться одно и более МУУ. На каждом МУУ может размещаться одно и более КУ.

Шаг 8 заключается в разбиении каждого участка схемы на квадратные клетки с длиной стороны клетки, соответствующей «1» или более метров (задается в общих свойствах проекта), как показано на рисунке 4б. Разбиение участков на клетки начинается из одного из углов участка и заканчивается в противоположном. Если не удастся разделить участок на целое количество клеток, то на участке могут остаться неполные клетки (меньшие по размеру прямоугольники). Если одна из длин сторон такой клетки меньше половины заданной длины, то она объединяется с одной из соседних, иначе она остается на схеме в качестве отдельной клетки. Для упрощения работы метода рекомендуется избегать участков со сложной формой и упрощать их на схеме с целью устранения неполных клеток. Также рекомендуется округлять размеры участков до 1 метра – для этого может потребоваться модификация всей схемы.

Шаг 9 заключается в построении графа $G(V, E)$, где V – это множество вершин, которые располагаются в центрах, добавленных на предыдущем шаге клеток, а E – множество ребер графа, которые строятся между всеми соседними вершинами графа (см. рис. 4б, но на нём соединены не все соседние вершины, см. раздел Результаты). Отдельно выделяются те вершины, в которых располагаются МУУ. Одно МУУ может занимать одну вершину или несколько (область).

На 10 шаге необходимо каждой вершине графа задать вес $F_{труд.}$ трудоемкости проведения работ в данной вершине. Каждому ребру графа необходимо задать 3 веса $F_{беспров.}$, $F_{провод.}$, $F_{дистан.}$. Они характеризуют трудоемкость проведения беспроводного КПА, проводного КПА и дистанцию между ребрами графа. Веса рассчитываются с помощью метода взвешенной суммы критериев – описанных выше свойств участков по формуле аддитивной свертки. Также для указанных выше « N » критериев используются весовые коэффициенты w_i , определяющие относительные степени важности отдельных критериев и удовлетворяющие соотношениям:

$$0 \leq w_i \leq 1; \quad i = 1, \dots, N; \quad \sum_{i=1}^N w_i = 1. \quad (6)$$

Весовые коэффициенты критериев назначаются в диалоге с ЛПР. Они в дальнейшем при необходимости могут корректироваться в соответствии с изменением значимости тех или иных оценок на определенном предприятии. Агрегированные веса рассчитываются по следующим формулам.

1. Вес для трудоемкости проведения работ в вершине:

$$F_{\text{труд.}} = w_{\text{труд.}} f_{\text{труд.}} + w_{\text{агрессивн.}} f_{\text{агрессивн.}} + w_{\text{непригод.}} f_{\text{непригод.}} \quad (7)$$

2. Вес для беспроводной связи внутри участка и на границе участка равен экспертной оценке $f_{\text{радио.непроход.}}$ внутри и на границе участка соответственно:

$$F_{\text{беспров.}} = f_{\text{радио.непроход.}} \quad (8)$$

3. Вес для беспроводной связи через границу между двумя участками равно среднему значению экспертных оценок непроходимости радиоволн через границу из первого участка во второй и из второго участка в первый:

$$F_{\text{беспров.}} = (f_{\text{радио.непроход.1}} + f_{\text{радио.непроход.2}}) / 2 \quad (9)$$

4. Вес для проводной связи внутри участка и на границе участка:

$$F_{\text{пров.}} = w_{\text{труд.}} f_{\text{труд.}} + w_{\text{агрессивн.}} f_{\text{агрессивн.}} + w_{\text{непригод.}} f_{\text{непригод.}} \quad (10)$$

5. Вес для проводной связи через границу между двумя участками равен среднему значению сумм экспертных оценок трудоемкости проведения проводных связей через границу из первого участка во второй и из второго участка в первый и весов проводной связи через границу:

$$F_{\text{пров.}} = \frac{(w_{\text{пров.непрох.}} f_{\text{пров.непрох.1}} + w_{\text{пров.}} F_{\text{пров.1}}) + (w_{\text{пров.непрох.}} f_{\text{пров.непрох.2}} + w_{\text{пров.}} F_{\text{пров.2}})}{2} \quad (11)$$

$F_{\text{дистан.}}$ рассчитывается с учетом того, что ребра графа характеризуют длину, равную заданной на предыдущем шаге длине стороны клеток.

На шаге 11 необходимо найти один или более подграфов исходного графа (секций), покрывающих все КУ на МУУ. Они связывают их напрямую или через ПП с УСПД (в каждом подграфе участвует один УСПД). Все связи между устройствами являются кратчайшими путями на графе. Оборудование выбирается такое, чтобы минимизировать один из следующих параметров в зависимости от приоритетного для ЛПР требования: финансовые затраты на его приобретение и монтаж; временные затраты на монтаж; финансовые затраты на обслуживание системы; суммарные затраты при наличии значения стоимости выполнения часа работ. Для поиска данных комбинаций используется ГА, который состоит из описанной далее последовательности шагов [7, 22], показанной на рисунке 5.

Шаг 11.1 (для алгоритма по рис. 5) заключается в следующем: (1) инициализация параметров алгоритма, таких как размер популяции, типы мутации и скрещивания, коэффициенты их вероятностей, тип селекции, критерий остановки алгоритма и др., (2) задание фитнес-функции (функции приспособленности особей популяции) и (3) формирование начальной популяции – генерация набора исходных, случайных решений [7, 22]. Гены хромосомы представляют собой следующий массив целых чисел, разделённых на «М» секций для каждой МУУ:

$$\{ \{ \langle D, V_D, C_0 \rangle, \langle T_1, V_{T1}, C_1 \rangle, \langle T_2, V_{T2}, C_2 \rangle, \langle A, V_A \rangle \}_1, \dots, \{ \langle D, V_D, C_0 \rangle, \langle T_1, V_{T1}, C_1 \rangle, \langle T_2, V_{T2}, C_2 \rangle, \langle A, V_A \rangle \}_M \},$$

где D – представление выбранного КУ, частично или полностью покрывающего МУУ; V_D – представление вершины графа, в которой располагается КУ; C_i – представление i -го КПД ($i = 0, 1, 2$), который используется для отправки данных из КУ или из i -го ПП; T_i – представление i -го ПП ($i = 1, 2$), может быть равно 0, в случае, когда одного или обоих ПП может не быть в хромосоме, т.е. связь КУ с УСПД удалось реализовать только с одним ПП или вообще без них); V_{T1} – представление вершины графа, в которой располагается i -й ПП, аналогично может быть равно 0; A – представление УСПД; V_A – представление вершины графа, в которой располагается УСПД.

В качестве описанных представлений сущностей выступают либо уникальные идентификаторы оборудования или вершин графа, либо индексы их позиций в упорядоченных массивах. Каждая секция формируется для одного и более КУ, связанного с УСПД, на каждом МУУ.

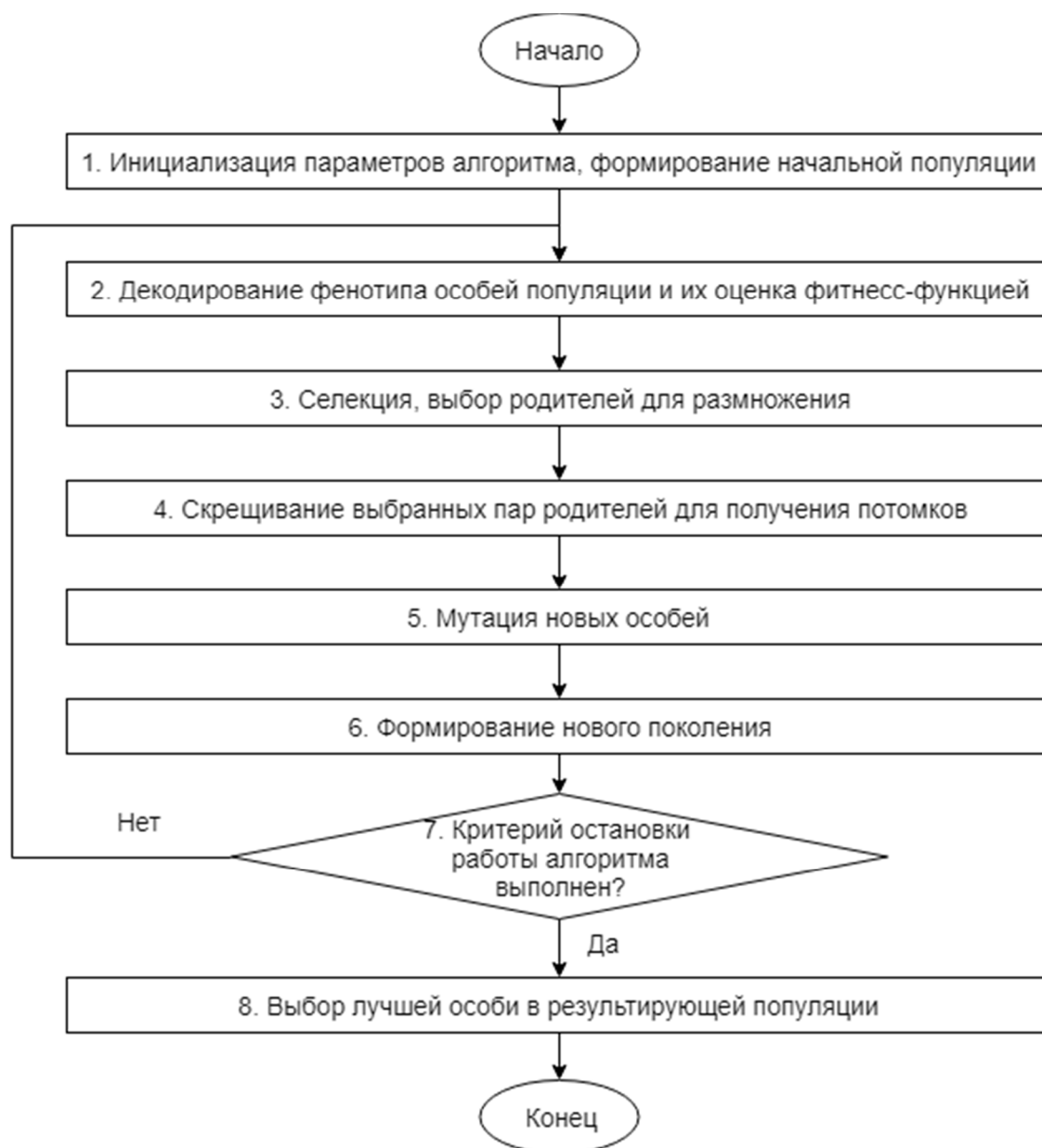


Рисунок 5 – Блок-схема используемого в данной работе генетического алгоритма

Для сужения пространства поиска выбор генов при формировании хромосом особей осуществляется не полностью случайным, а эвристическим способом. Он заключается в соблюдении следующих правил выбора случайных сущностей:

- D из множества КУ подходят для покрытия МУУ, исходя из его $M_{КУ}$ и $C_{КУ}$;
- V_D располагаются в границах МУУ на участках;
- способы передачи данных C_i входят во множества $S_{КУ}$, $S_{ПШ}$, $S_{ПШ}^S$, $S_{УСПД}^R$;
- способы приема данных от КУ в T_i и A ($S_{ПШ}^R$, $S_{УСПД}^R$) входят во множества $S_{КУ}$;
- V_T и V_A выбираются на случайных участках, но из имеющихся вершин на участках выбираются случайные из лучших.

Дальнейшие шаги алгоритма выполняются в цикле, моделируя «эволюционный процесс». Он продолжается несколько поколений, пока не будет выполнен критерий остановки алгоритма.

Шаг 11.2 (по рис. 5) заключается в вычислении приспособленности особей текущего поколения с помощью функции оценки пригодности – фитнес-функции. Её алгоритм показан на рисунке 6.

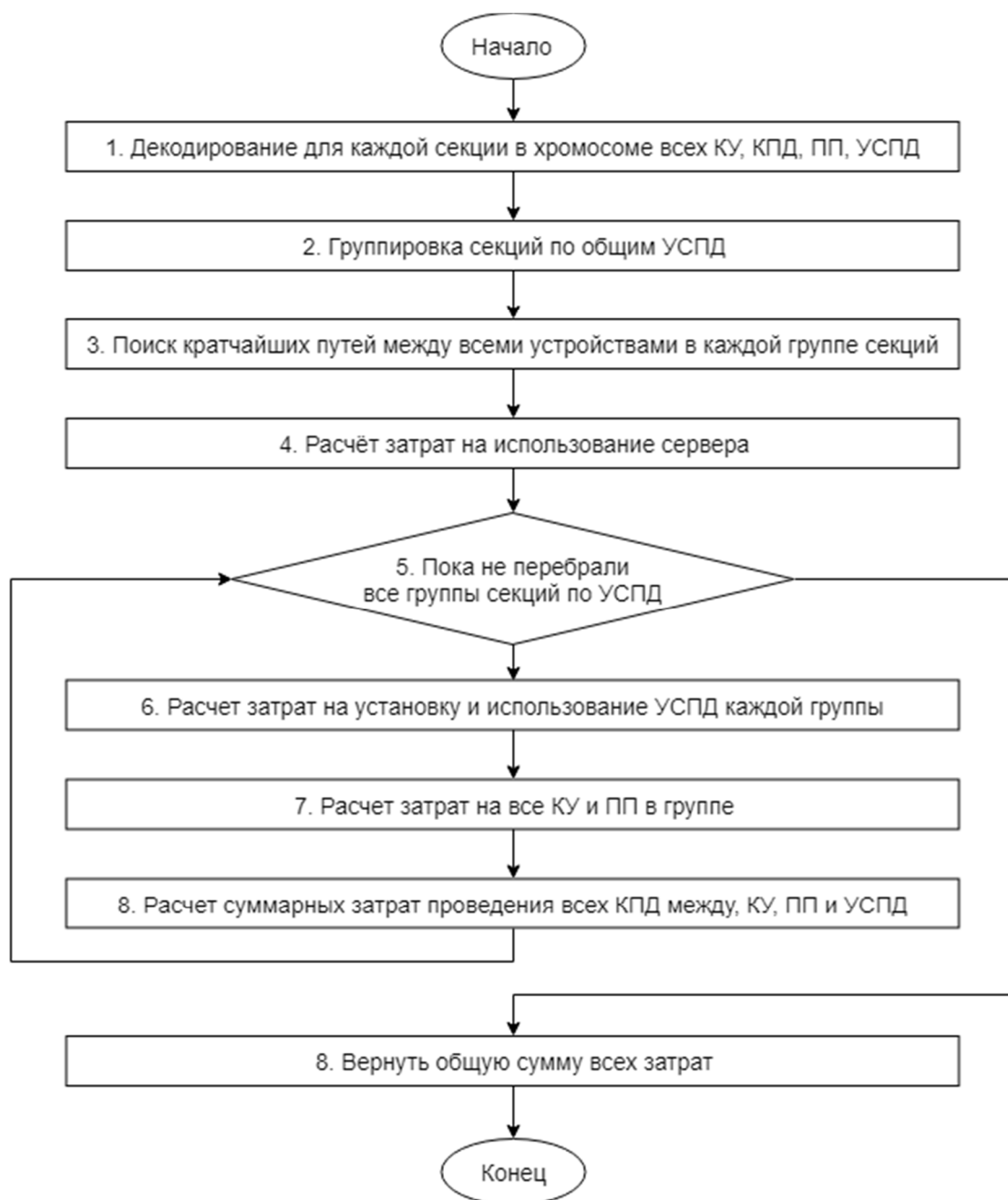


Рисунок 6 – Алгоритм используемой фитнес-функции

В данной работе значение фитнес-функции соответствует суммарной стоимости приобретения и монтажа оборудования, установки и проведения КПД между оборудованием и зависит от параметров проекта. Чем вычисленное значение меньше, тем более приспособлена особь. В алгоритм функции входит этап декодирования – это процесс преобразования хромосомы с решением из генотипа в фенотип. В данной работе генотип – это вышеуказанный массив целых чисел, а фенотип – соответствующие элементам массива сущности БД КУ, КПД, ПП, УСПД, характеристики которых комплексно учитываются фитнес-функцией. Отличительной особенностью предложенной в данной работе эволюционной модели является сужение пространства поиска за счёт процедуры группировки нескольких УСПД. Если на одном участке были размещены одинаковые УСПД, то они объединяются в одно, расположенное в случайной из лучших вершин графа на участке (шаг 2 на рис. 6).

Далее с помощью алгоритма поиска кратчайшего пути на графе находятся связи между всеми устройствами в сгруппированных секциях по выбранным КПД. Кратчайшим является путь с наименьшим суммарным весом. Он рассчитывается путём суммирования весов ребер графа с учётом следующих свойств: 1) $u_{\text{КПД}}$ – выбирается вес проводной или беспроводной связи ребер ($F_{\text{беспров.}}$ или $F_{\text{провод.}}$); 2) $n_{\text{КПД}}$ –

топология КПД, выбираемая алгоритмом поиска при соединении множества вершин; 3) суммарное расстояние всех $F_{дистан}$ между выбранными вершинами. Если дальность суммарного пути превышает допустимую $r_{КПД}$, то данный путь неприемлем – значение фитнес-функции для данной хромосомы задается равным максимально допустимому значению.

В итоге вычисляется стоимость сформированного решения в хромосоме путём суммирования следующих значений: 1) стоимость использования выбранного сервера; 2) затраты на использование УСПД в каждой группе; 3) затраты на использование ПП и на установку или замену КУ; 4) стоимость монтажа проводных КПД между устройствами (стоимость монтажа беспроводных КПД равна нулю). Все стоимости установки оборудования и проведения связей рассчитываются с учётом весов вершин ($F_{мпрод.}$) и ребер графа ($F_{беспров.}$, $F_{пров.}$). Таким образом учитываются дополнительные затраты на проведение работ в условиях агрессивности среды на участках.

Шаг 11.3 (по рис. 5) заключается в выборе хромосом-родителей для формирования нового поколения. В данной работе предлагается включать в новое поколение лучшие родительские особи (с наименьшим значением фитнес-функции).

Шаг 11.4 (по схеме на рис. 5) заключается в применении оператора скрещивания. В данной работе решено использовать однородное скрещивание (универсальный кроссинговер). В нём значение каждого гена в хромосоме потомка определяется случайным образом из соответствующих генов родителей [7].

На шаге 11.5 применяется оператор мутации с вероятностью $0 < X < 1$. В данной работе была выбрана однородная мутация. В ней, аналогично оператору скрещивания, каждый ген с вероятностью «X» может быть заменён новым значением, полученным описанным выше эвристическим способом [24].

Шаг 11.6 заключается в формировании нового поколения из лучших потомков и родителей.

На шаге 11.7 осуществляется проверка останова алгоритма. В данной работе использован критерий останова по достижению заданного количества сформированных поколений.

В конце алгоритма (рис. 5) на шаге 11.8 будет возвращена хромосома с наименьшим значением фитнес-функции.

В данной работе предлагается выполнять алгоритм по рисунку 5 многократно и выбирать лучшее решение из ряда сформированных вариантов. После этого производится оценка полученного решения и проверка удовлетворения решения требованиям, поставленным ЛПР.

Если полученные решения частично или полностью неприменимы на рассматриваемом предприятии, то должны быть внесены коррективы в граф предприятия, в свойства оборудования, участков предприятия или всего проекта в соответствии с выявленными недостатками решений. После этого поиск необходимо производить повторно.

Одним из преимуществ предлагаемого метода, выявленных путём его тестирования с использованием свойств множества различных предприятий и учреждений г. Волгограда, является расчет близкого к оптимальному количества используемых УСПД. Его увеличение повышает стоимость обслуживания системы, а уменьшение – усложняет описанную выше цепочку применяемого оборудования (КУ, КПД, ПП, УСПД). Соответственно, усложняется физическая топология сети. Эффективность решения оценивается путём подсчёта количества используемых в решении КУ, КПД, ПП, УСПД и расчёта их суммарной стоимости при достижении выбранного ЛПР требования.

Описанная выше оптимизация количества используемых УСПД, устраняющая избыточные УСПД, способствует уменьшению количества точек доступа в сеть извне. Это ведёт к снижению вероятности несанкционированного проникновения в локальную сеть предприятия через УСПД и саму сеть сбора и передачи данных. Предполагается, что сервер и УСПД уже имеют необходимое аппаратное и программное обеспечение для подключения к локальной сети предприятия или интернету, защищающее их от несанкционированного проникновения и получения доступа к оборудованию и данным. Другие вопросы безопасности, а также такие параметры сети АССПД, как отказоустойчивость, быстродействие и объемы передачи данных в данной работе на текущий момент не рассматриваются. Однако предполагается, что они будут рассмотрены в дальнейших исследованиях.

Результаты. Для тестирования предложенного метода в рамках данной работы разработан прототип программного решения [26]. Он реализует метод с некоторыми ограничениями (на данный момент в программе не рассматриваются ПП). Программное решение разработано на языке C# с применением .NET Framework 4.6.1. В программе используется библиотека ГА GeneticSharp [18]. Для поиска кратчайших путей на графе выбран алгоритм Дейкстры. Для реализации работы с графами и применения алгоритма Дейкстры использована библиотека QuickGraph [17]. Для визуализации графов применено приложение Graphviz [19].

При синтезе сети в рамках ГА использовался размер популяции в количестве 1000 особей. Каждой парой особей создавались потомки с 50% вероятностью как скрещивания, так и мутации. Однако разработанная программа позволяет изменять все описанные выше параметры ГА. Критерием останова в программе служило ограничение по количеству сгенерированных популяций. Также для ускорения работы метода было реализовано кэширование уже найденных кратчайших путей между вершинами графа, чтобы не про-

изводить их поиск повторно. С помощью описываемой программы был проведен ряд вычислительных экспериментов. Были синтезированы физические топологии сетей, близкие к оптимальным, с тестовой базой данных используемого оборудования. Для каждого графа выполнялся многократный запуск программы и выбирались наиболее часто встречающиеся (близкие) результаты по следующим критериям: (1) совпадают или близко выбраны места оптимального размещения КУ и УСПД, найденные вручную и с помощью программы; (2) совпадает или близко значение фитнес-функции, вычисленной вручную, с тем результатом, который выдает программа. Эти эксперименты проводились на следующих компьютерах:

- персональный компьютер с параметрами: процессор Intel Core i3-7100, 3.9 ГГц, 16 ГБ оперативной памяти;

- сервер с параметрами: Intel Xeon E5530, 2 процессора по 2.4 ГГц, 12 ГБ оперативной памяти.

Расчёт решения с вышеуказанным размером популяции в среднем занимал от 15 до 120 минут на тестовых примерах с различными размерами графа. Графы для экспериментов строились на основе аудита ряда предприятий г. Волгограда. Один из полученных результатов показан на рисунке 7.

Показанный граф построен на основе свойств метизного и пружинного цехов Волгоградского метизного завода. На нём производилась установка устройств учёта потребления электроэнергии, датчиков неинвазивного измерения потребления электроэнергии станками завода; реализация проводного и беспроводного сбора и передачи данных. В примере, результат которого показан на рисунке 7, было формализовано 12 участков – различные помещения цехов, а исходный граф состоял из 81 вершины и 196 граней.

На рисунке желтым цветом выделены вершины, располагающиеся на границах участков, зеленым – вершины с МУУ. Грани, проходящие через границы участков, выделены красным цветом, вдоль границ – оранжевым. Вершины в виде прямоугольников со сторонами, окрашенными в синий цвет, обозначают КУ. Вершины в виде прямоугольников со сторонами, окрашенными в красный цвет, обозначают УСПД. Если КУ и УСПД совмещены в одно устройство, то вершина с таким устройством обозначается в виде шестигранника. Для облегчения визуального анализа результирующего графа для каждого КПД добавляются дополнительные грани. Они изображают связи между устройствами и окрашены в один случайный цвет. В сгенерированном решении было выбрано единственное УСПД, которое размещено в одном из наиболее оптимальных мест. Это можно было определить визуально, исходя из весов трудоемкости вершин $F_{труд}$. В результате был выбран способ получения данных на УСПД проводным способом по стандарту RS-485 и в виде электрических импульсов. В действительности данное решение было реализовано на предприятии в качестве оптимального. Тем не менее в ряде экспериментов на других объектах удавалось найти субоптимальные решения с применением беспроводных технологий.

Этот и другие проведённые вычислительные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что с помощью предлагаемого метода можно за время, не превышающее 120 минут, найти решения, близкие к оптимальным или даже оптимальные, для задач средней размерности (больше 50 вершин и 150 граней в графе) и большой размерности (больше 150 вершин и 400 граней в графе). Для повышения эффективности работы метода в дальнейшем необходимо реализовать собственный алгоритм селекции. В нём на каждом шаге скрещивание будет производиться только в рамках одной секции или группы секций (см. шаг 11 алгоритма), чтобы итеративно улучшать каждую из них в отдельности. Также было выявлено, что добавление только прямых (вертикальных и горизонтальных, но не диагональных) граней между узлами соседних участков (см. шаг 9), значительно упрощает граф. Это уменьшает количество связей между вершинами и исключает спорные ситуации при расчётах весов рёбер на стыках нескольких участков и в углах участков, где не всегда ясно, какую экспертную оценку брать для грани. Это приводит к погрешности при расчете расстояний беспроводных связей. Однако в рамках данного метода высокой точностью при расчете расстояний можно пренебречь, округляя их в большую сторону. Это позволит исключить ситуации «недостижимости» вершин КПД.

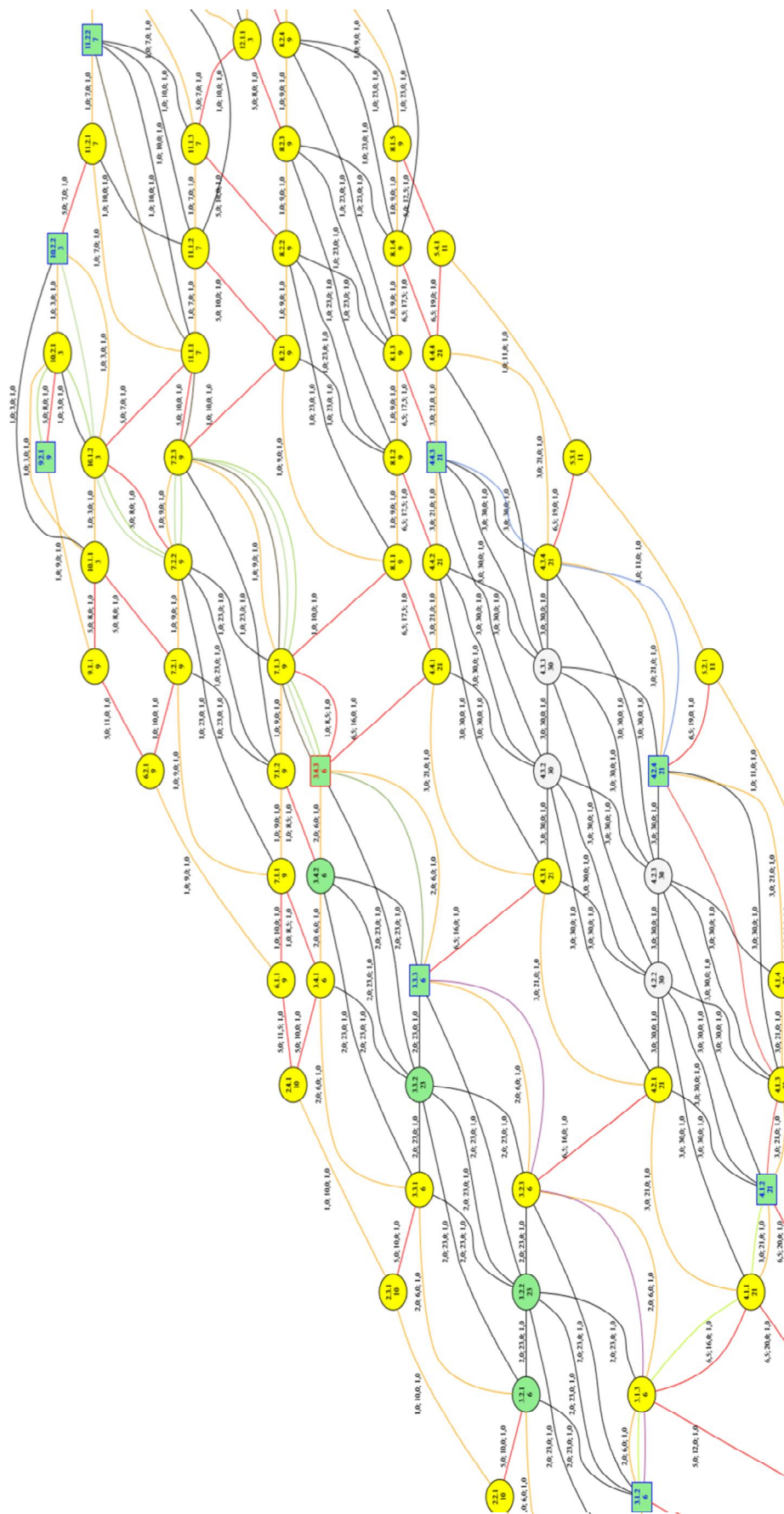


Рисунок 7 – Часть результирующего графа с выделенной различными цветами предлагаемой топологией сети

Заключение. В данной работе представлен новый метод ППР синтеза физической топологии сети АССПД для СЭМ. Он обеспечивает покрытие МУУ, указанных ЛПР на объектах машиностроительного предприятия, субоптимальной или оптимальной комбинацией устройств учёта потребления энергоресурсов и управления, а также сетью сбора и передачи данных с них. Синтез осуществляется так, чтобы минимизировать один из следующих параметров: финансовые затраты на приобретение и монтаж оборудования для системы; временные затраты на его монтаж; финансовые затраты на обслуживание системы; суммарные затраты при наличии значения стоимости выполнения часа работ. Предложенный метод отличается от существующих следующими достоинствами: (1) наличие формализации единиц применяемого оборудования для реализации дальнейшей их комбинации; (2) наличие формализации свойств объектов предприятия с применением множества экспертных оценок; (3) новое представление совокупности рассматриваемых объектов предприятия в виде взвешенного неориентированного графа; (4) применение ГА для получения близкой к оптимальной комбинации единиц оборудования, мест их размещения и найденных на графе кратчайших путей их объединения в сети сбора и передачи данных.

Для тестирования предложенного метода в рамках работы был разработан прототип программного решения, реализующего данный метод. С помощью программы был проведен ряд вычислительных экспериментов по синтезу оптимальной физической топологии сети. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что метод позволяет найти субоптимальные и оптимальные решения задач средней и большой размерности за время, не превышающее 120 минут.

Тестирование разработанного метода проводилось с использованием тестовой БД оборудования, а также свойств ряда различных предприятий и учреждений г. Волгограда, полученных путём их аудита, в частности, Волгоградского метизного завода. Одним из преимуществ разработанного метода является возможность получения близкого к оптимальному количеству используемых УСПД, что позволяет найти компромисс между сложностью физической топологии сети, а также стоимостью её реализации. Эффективность решения оценивается путём подсчёта количества используемых в решении КУ, КПД, ПП, УСПД и расчёта их суммарной стоимости при достижении выбранного ЛПР требования. Также оптимизация количества используемых УСПД способствует уменьшению количества точек доступа в сеть извне. Это ведёт к снижению вероятности несанкционированного проникновения в локальную сеть предприятия через УСПД и саму сеть сбора и передачи данных. Тем не менее, другие параметры безопасности, отказоустойчивость, быстродействие и объёмы передачи данных в данной работе не рассматриваются, однако они будут рассмотрены в дальнейших исследованиях.

Библиографический список

1. Байчаров С. Выбор технологии беспроводного обмена данными для решения задач автоматизации систем жизнеобеспечения офисно-производственных помещений / С. Байчаров // Беспроводные технологии. – 2009. – № 2. – С. 58–61.
2. Брумштейн Ю. М. Коммунальные системы городов: анализ целей и возможностей интеллектуализации управления на основе использования информационно-коммуникационных технологий / Ю. М. Брумштейн, В. Ю. Гайфитдинова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 1. – С. 39–52. – Режим доступа: [http://hi-tech.asu.edu.ru/files/1\(37\)/39-52.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/1(37)/39-52.pdf), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Важаев К. В. Интеллектуальная система жилых зон на основе информационно-измерительных систем управления / К. В. Важаев, В. Х. Абдрахманов, Р. Б. Салихов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – Т. 12, № 2. – С. 70–75.
4. Зыков Д. Д. Обзор комплексных решений в сфере учета энергоресурсов / Д. Д. Зыков, Д. Р. Уразаев, Н. Ю. Хабибулина // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2017. – Т. 20, № 4. – С. 131–133.
5. Камаев В. А. Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. Бребельс // Открытое образование. – 2011. – № 2–2. – С. 227–231.
6. Камаев В. А. Конвергентная модель сбора и распределенной обработки данных в системах энергетического мониторинга / В. А. Камаев, Е. А. Финогеев, А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, А. А. Финогеев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 58–75.
7. Курейчик В. В. Теория эволюционных вычислений / В. В. Курейчик, В. М. Курейчик, С. И. Родзин. – Москва : Физматлит, 2012.
8. Кычкин А. В. Долгосрочный энергомониторинг на базе программной платформы OpenJEEvis / А. В. Кычкин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 1 (9). – С. 5–15.
9. Кычкин А. В. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков / А. В. Кычкин // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 1. – С. 15–20.
10. Москвитин С. П. Построение систем телеметрии промышленного назначения с использованием беспроводных сенсорных сетей / С. П. Москвитин, Д. В. Комраков // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В. И. Вернадского. – 2014. – № 52. – С. 87–91.
11. Мочалов В. А. Гибридный бионический алгоритм синтеза структуры беспроводной сенсорной сети / В. А. Мочалов // T-COMM: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 10. – С. 72–77.

12. Николаев П. Л. Архитектура интегрированной в облачную среду системы управления умным домом / П. Л. Николаев // Программные продукты и системы. – 2015. – № 2 (110). – С. 65–69.
13. Сергушев А. Г. Отказоустойчивая сенсорная сеть для систем безопасности потенциально опасных промышленных объектов / А. Г. Сергушев // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015. – № 12 (173). С. 149–161.
14. Троицкий-Марков Т. Е. Принципы построения системы мониторинга энергоэффективности / Т. Е. Троицкий-Марков, Д. В. Сенновский // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – Т. 4. – С. 34–39.
15. Шахов В. В. Эффективный метод генерации случайных геометрических графов для моделирования беспроводных сетей / В. В. Шахов, А. Н. Юргенсон, О. Д. Соколова // Прикладная дискретная математика. – 2016. – № 4 (34). – С. 99–109.
16. Alahakoon D. Smart Electricity Meter Data Intelligence for Future Energy Systems: A Survey / D. Alahakoon, X. Yu // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2016. – vol. 12, № 1. – P. 425–436.
17. Generic Graph Data Structures and Algorithms for .NET. – Режим доступа: <https://github.com/YaccConstructor/QuickGraph>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 14.10.2018).
18. GeneticSharp is a fast, extensible, multi-platform and multithreading C# Genetic Algorithm library that simplifies the development of applications using Genetic Algorithms (GAs). – Режим доступа: <https://github.com/giacomelli/GeneticSharp>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (Дата обращения: 14.10.2018).
19. Graphviz – Graph Visualization Software. – Режим доступа: <https://www.graphviz.org/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 14.10.2018).
20. Ilic D. Sensing in power distribution networks via large numbers of smart meters / D. Ilic, S. Karnouskos, P. G. D. Silva // 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe). – 2012. – P. 1–6.
21. Jiang, X. Design and implementation of a high-fidelity ac metering network / X. Jiang, S. Dawson-Haggerty, P. Dutta, D. Culler // Proceedings of the 2009 International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN '09. – 2009. – P. 253–264.
22. McCall J. Genetic algorithms for modelling and optimization / J. McCall // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2005. – Vol. 184, issue 1. – P. 205–222.
23. Ni D. C. Integration of wired and wireless lighting control systems for green energy management / D. C. Ni, P. Chen // International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC). – 2017. – P. 206–210.
24. Soni N. Study of Various Mutation Operators in Genetic Algorithms / N. Soni, T. Kumar // (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies. – 2014. – Vol. 5 (3). – P. 4519–4521.
25. Tian J. Wireless sensor network node optimal coverage based on improved genetic algorithm and binary ant colony algorithm / J. Tian, M. Gao, G. Ge // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2016. – P. 104.
26. Topology-model, Alexander Sokolov. – Режим доступа: <https://github.com/SashkaCosmonaut/topology-model>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 14.02.2019).
27. Valli P. Genetic Algorithm based equipment selection method for construction project using MATLAB tool / P. Valli, C. A. Jeyasehar // International Journal of Optimization in Civil Engineering. – 2012. – Vol. 2 (2). – P. 235–246.

References

1. Baycharov S. Vybor tekhnologii besprovodnogo obmena dannymi dlya resheniya zadach avtomatizatsii sistem zhizneobespecheniya ofisno-proizvodstvennykh pomeshcheniy [The choice of wireless data exchange technology for solving problems of automating life support systems for office and production premises]. *Besprovodnye tekhnologii* [Wireless Technologies], 2009, no. 2, pp. 58–61.
2. Brumshteyn Yu. M., Gayfitdinova V. Yu. Kommunalnye sistemy gorodov: analiz tseley i vozmozhnostey intellektualizatsii upravleniya na osnove ispolzovaniya informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy [Municipal systems of the cities: the analysis of the purposes and opportunities of intellectualization of management on the basis of use of information and communication technologies]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 1, pp. 39–52. Available at: [http://hi-tech.asu.edu.ru/files/1\(37\)/39-52.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/1(37)/39-52.pdf).
3. Vazhdaev K. V., Abdrakhmanov V. Kh., Salihov R. B. Intellektualnaya sistema zhilykh zon na osnove informatsionno-izmeritelnykh sistem upravleniya [Intellectual system of residential zones based on information-measuring control systems]. *Elektrotehnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy* [Electrotechnical and Information Systems and Systems], 2016, vol. 12, no. 2, pp. 70–75.
4. Zykov D. D., Urazaev D. R., Khabibulina N. Yu. Obzor kompleksnykh resheniy v sfere ucheta energoresurosov [Overview of Integrated Solutions in the Field of Energy Accounting]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2017, vol. 20, no. 4, pp. 131–133.
5. Kamaev V. A., Shcherbakov M. V., Brebels A. Intellektualnye sistemy avtomatizatsii upravleniya energosberezheniem [Intelligent Energy Saving Control Automation Systems]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education], 2011, no. 2–2, pp. 227–231.
6. Kamaev V. A., Finogeev E. A., Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev A. A. Konvergentnaya model sbora i raspredelennoy obrabotki dannykh v sistemakh energeticheskogo monitoringa [Convergent model of collection and distributed data processing in energy monitoring systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 3, pp. 58–75.
7. Kureychik V. V., Kureychik V. M., Rodzin S. I. *Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy* [Evolutionary Theory]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2012.

8. Kychkin A. V. Dolgosrochnyy energomonitoring na baze programmnoy platformy OpenJEVis [Long-Term Energy Monitoring Based on the Openjevis Software Platform]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Electrical Engineering, Information Technology, Control Systems], 2014, no. 1 (9), pp. 5–15.
9. Kychkin A. B. Model sinteza struktury avtomatizirovannoy sistemy sbora i obrabotki dannykh na baze besprovodnykh datchikov [Model of Synthesis of the Structure of an Automated Data Acquisition and Processing System Based on Wireless Sensors]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and Modern Technology], 2009, no. 1, pp. 15–20.
10. Moskvitin S. P., Komrakov D. V. Postroenie sistem telemektrii promyshlennogo naznacheniya s ispolzovaniem besprovodnykh sensornykh setey [Building Telemetry Systems for Industrial Use Using Wireless Sensor Networks]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet imeni V. I. Vernad'skogo* [Questions of Modern Science and Practice. V. I. Vernadsky University], 2014, no. 52, pp. 87–91.
11. Mochalov V. A. Gibridnyy bionicheskiy algoritim sinteza struktury besprovodnoy sensornoy seti [Hybrid Bionicle Algorithm for Synthesizing the Structure of a Wireless Sensor Network]. *T-COMM: Telekommunikatsii i transport* [T-COMM: Telecommunications and Transportation], 2013, vol. 7, no. 10, pp. 72–77.
12. Nikolaev P. L. Arkhitektura integrirovannoy v oblachnuyu sredu sistemy upravleniya umnym domom [Architecture of the Smart Home Control System Integrated into the Cloud Environment]. *Programmye produkty i sistemy* [Software Products and Systems], 2015, no. 2 (110), pp. 65–69.
13. Sergushev A. G. Otkazoustoychivaya sensornaya set dlya sistem bezopasnosti potentsialno opasnykh promyshlennykh obektov [Fail-safe Sensor Network for Security Systems of Potentially Hazardous Industrial Facilities]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of Southern Federal University. Technical Science], 2015, no. 12 (173), pp. 149–161.
14. Troickiy-Markov T. E., Sennovskiy D. V. Printsipy postroeniya sistemy monitoringa energoefektivnosti [Principles of Building an Energy Efficiency Monitoring System]. *Monitoring. Nauka i bezopasnost* [Monitoring. Science and Security], 2011, vol. 4, pp. 34–39.
15. Shakhov V. V., Yurgenson A. N., Sokolova O. D. Effektivnyy metod generatsii sluchaynykh geometricheskikh grafov dlya modelirovaniya besprovodnykh setey [Efficient Method of Generating Random Geometric Graphs for Modeling Wireless Networks]. *Prikladnaya diskretnaya matematika* [Applied Discrete Mathematics], 2016, no. 4 (34), pp. 99–109.
16. Alahakoon D., Yu X. Smart Electricity Meter Data Intelligence for Future Energy Systems: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2016, vol. 12, no. 1, pp. 425–436.
17. Generic Graph Data Structures and Algorithms for .NET. Available at: <https://github.com/YaccConstructor/QuickGraph> (accessed 14.10.2018).
18. GeneticSharp is a fast, extensible, multi-platform and multithreading C# Genetic Algorithm library that simplifies the development of applications using Genetic Algorithms (GAs). Available at: <https://github.com/giacomelli/GeneticSharp> (accessed 14.10.2018).
19. Graphviz – Graph Visualization Software. Available at: <https://www.graphviz.org/> (accessed 14.10.2018).
20. Ilic D., Karnouskos S., Silva P. G. D. Sensing in power distribution networks via large numbers of smart meters. *3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, 2012, pp. 1–6.
21. Jiang, X., Dawson-Haggerty S., Dutta P., Culler D. Design and implementation of a high-fidelity ac metering network. *Proceedings of the 2009 International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN '09*, 2009, pp. 253–264.
22. McCall J. Genetic algorithms for modelling and optimization. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2005, vol. 184, issue 1, pp. 205–222.
23. Ni D. C., Chen. P. Integration of wired and wireless lighting control systems for green energy management. *International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC)*, 2017, pp. 206–210.
24. Soni N., Kumar T. Study of Various Mutation Operators in Genetic Algorithms. *(IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2014, vol. 5 (3), pp. 4519–4521.
25. Tian J., Gao M., Ge G. Wireless sensor network node optimal coverage based on improved genetic algorithm and binary ant colony algorithm. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2016, pp. 104.
26. Topology-model, Alexander Sokolov. Available at: <https://github.com/SashkaCosmonaut/topology-model> (accessed 14.02.2019).
27. Valli P., Jeyasehar C. A. Genetic Algorithm based equipment selection method for construction project using MATLAB tool. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 2012, vol. 2 (2), pp. 235–246.

УДК 004.5:[629.039+62-7]

FORMALIZATION OF THE INFORMATION ON THE CONDITION OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM IN RISK-BASED MAINTENANCE STRATEGY

The article was received by editorial board on 21.02.2019, in the final version – 10.03.2019.

Gostyunin Yuriy Anatolyevich, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

post-graduate student, e-mail: gostyuninyua@gmail.com

Stanishevskaya Alina Vladimirovna, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

graduate student, e-mail: a.stanishevskaya@gmail.com

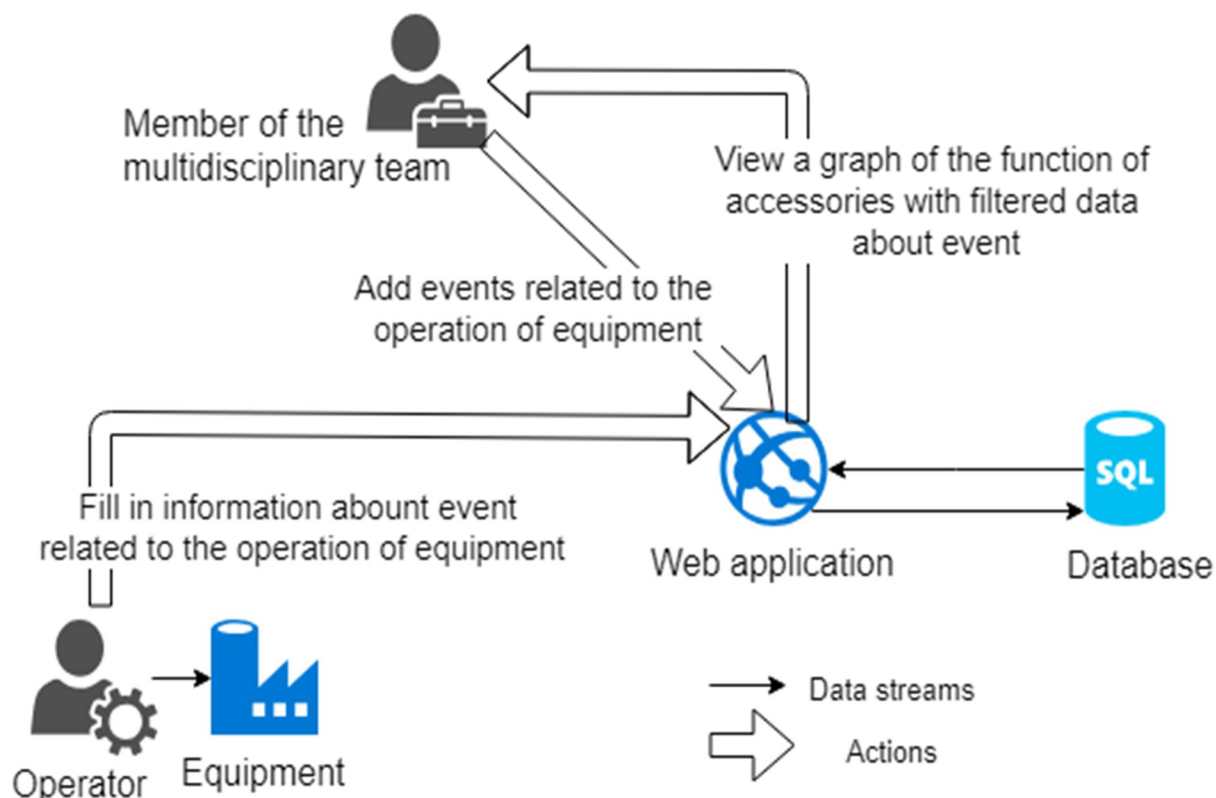
Azhmukhamedov Iskandar Maratovich, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: iskander_agm@mail.ru

Modern electric power systems belong to the category of complex power systems, the reliable and safe functioning of which requires a solid assessment of their technical condition. Maintenance of power systems is often implemented on the basis of risk assessment. At the same time, it is difficult to collect basic data, which are mostly of verbal (non-numeric) character. Based on the abovementioned, the article considers the problem of using expert assessments in a risk-oriented maintenance strategy applied to the electric power systems operation process. The paper provides an example of the formalization of information on malfunction occurrence frequency in one of electric power system objects. The article describes a developed software product, which automates the formalization process of fuzzy expert information obtained for risk assessment.

Key words: equipment maintenance, linguistic variable, fuzzy parameter value, term set, membership function, expert assessment, risk-based maintenance strategy

Graphical annotation (Графическая аннотация)



ФОРМАЛИЗАЦИЯ СВЕДЕНИЙ О СОСТОЯНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Статья поступила в редакцию 21.02.2019, в окончательной варианте – 10.03.2019

Гостюнин Юрий Анатольевич, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, аспирант, e-mail: gostyuninyua@gmail.com

Станишевская Алина Владимировна, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, магистрант, e-mail: a.stanishevskaya@gmail.com

Ажмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, доктор технических наук, профессор, e-mail: iskander_agm@mail.ru

Современные электроэнергетические системы относятся к разряду сложных энергетических систем, надежное и безопасное функционирование которых требует достоверной оценки их технического состояния. Техническое обслуживание электроэнергетических систем чаще всего реализуется на основе оценки рисков. При этом возникают трудности со сбором исходных данных, которые в основном носят вербальный (нечисловой) характер. Исходя из этого, в статье рассмотрена проблема использования экспертных оценок в риск-ориентированной стратегии технического обслуживания применительно к процессу эксплуатации электроэнергетических систем. Приведен пример формализации сведений о частоте возникновения неисправностей на одном из объектов электроэнергетической системы. Описан разработанный программный продукт, позволяющий автоматизировать процесс формализации нечеткой экспертной информации, полученной для оценки рисков.

Ключевые слова: обслуживание оборудования, лингвистическая переменная, нечеткое значение параметра, терм-множество, функция принадлежности, экспертная оценка, риск-ориентированная система технического обслуживания

Introduction. Modern electric power systems (EPS) and their constituent facilities (power plants, electrical networks) are classified as complex technical systems (CTS). Reliable and safe operation of an EPS is feasible only when prompt and reliable assessment of the technical condition of the equipment, its operational reliability and reasonable and adequate decisions on its further operation are provided [3].

The operation of an EPS is a complex process that is subject to numerous and varied risks due to the influence of various random factors and the presence of many uncertainties in all aspects of the undertaking. In summary, the risks characterize the probability and possible damage during the operation of an EPS [9]. The nature of the damage may be different and can be expressed not only in the form of economic values, but in a form other than that, as well. During the operation of an EPS, risk management strategies based on RBM (Risk-Based Maintenance) are increasingly used. However, the application of such a strategy leads to considerable difficulties at the stage of collecting initial data, which are mainly of verbal (non-numeric) nature [4].

Based on this, the purpose of this work was the development of a methodology for formalizing basic information about the status of an EPS for assessing their operation risks and the development of appropriate software to implement the proposed methodology.

Materials and methods. As the initial data for risk assessment are of a verbal (non-numeric) nature, it is advisable to use methods of the fuzzy sets theory in conjunction with the methods of probability theory and mathematical statistics for their formalization and further consideration when making management decisions.

Results and Discussion. The RBM strategy is based on the RBI (Risk Inspection) methodology, which is described in the standards of the American Petroleum Institute (API), the American Community of Mechanical Engineers (ASME), the independent classification and certification society Det Norske Veritas [7,8]. According to this methodology, the probability of equipment failure and the consequences of this failure are estimated, the magnitude of the risk is defined as their multiplication:

$$R = DP, \quad (1)$$

in which R – risk value; D – value, characterizing the severity of the undesirable event. It can be described by specific parameters (consequences of failure, damage). The range of parameters, used in this process, can be quite wide – from economic values to human victims; P is the probability of a possible equipment failure.

According to the RIMAP (Risk based Inspection and Maintenance Procedures), to determine the D and P values in formula (1), different data sources have to be used. One can use equipment statistics and failures, technical conditions and consequences of failures, simulation results, expert estimates as information sources [5].

In practice, the collection of input data to determine the desired values of D and P is a rather time-consuming task. Usually if there are models, suitable for the analysis of failures and their consequences, they

describe only the most critical elements. Moreover, the models that are created quickly lose their relevance due to the introduction of new production technologies.

Statistical data is another important source of information, which may be used to determine the probability of equipment failure and the consequences of failure. Availability of well-structured statistical information on operation process and equipment failures, facilitates the analysis carried out in accordance with the RIMAP procedure. It is possible to use statistics on a similar object, taking into account a possible error, caused by a lack of statistical information about the object [6].

However, for practical consideration, only an approach to statistical information analyzing is required [2].

A multidisciplinary team, specialists, who should be qualified to inspect it or another system, can give an expert assessment of the power system condition.

The group of experts should make a collective decision, that is why it is possible to use in their work the methods of collective expert assessment: the Delphi method, the brainstorming method, the court method, the round table etc.

The multidisciplinary team should be able to interact with the staff that services the equipment. A person, who directly handles maintenance of technical objects, can provide valuable information about equipment in the subjective form. It is often difficult for the interviewed employee to evaluate an object numerically based on a certain criterion. Usually experts use their native language words when verbally describing many characteristics of the objects. Thus, the source information contains significant subjective uncertainty. For this reason, it is advisable to use the apparatus of the fuzzy sets theory to formalize the information, received from maintenance staff.

When a person perceives information, he or she does not use concrete numbers, but translates it into his or her concepts - the values of a linguistic variable. Each value of the linguistic variable is described by the membership function, which is unique for every person. Suppose when an employee observes the equipment or system for some time, he fixes his attention n times on the presence or absence of fact A . An event consisting of n fact existence checks A is called an evaluative. Suppose that the fact A has occurred in the k checks. Then, the operator registers the frequency $p = k/n$ of the occurrence of fact A and evaluates it using with the words "often", "rarely" etc.

Assume that at the stage of input data collecting, the multidisciplinary team suggests that the operator evaluate the occurrence frequency of a maintained equipment malfunction in terms of a linguistic variable. It is necessary to design an individual membership function of linguistic terms for the numerical interpretation of information from the operator. For this purpose, it is possible to use a method that is based on statistical data processing.

Consider the following example.

The table 1 presents an estimate of the equipment malfunction frequency in terms of the linguistic variable for a particular operator of the EPS object, collected prior to the start of the multidisciplinary group work. It is necessary to place the linguistic variable values: "very rarely", "rarely", "not rarely, not often", "often", "very often" on the universal scale $[0,1]$. As an example, let us divide the time interval into 20 segments, for which statistics was collected, that characterize how often a person uses these words to express his or her evaluations.

Table 1 – Estimation of the equipment malfunction frequency in terms of linguistic variable

Value	Time interval (segment)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Very rarely	3	7	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Rarely	0	0	1	0	4	1	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Not rarely, not often	0	0	0	0	0	0	0	2	2	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Often	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	0	7	5	2	3	0	0	0
Very often	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	5	7	5	2

Using the properties of the membership function, we must pre-process the data in Table 1 in such a way as to reduce the distortions, introduced by the experiment. The natural properties of the membership functions are the presence of one maximum and smooth fading to zero. For statistical data processing, we can use the so-called hint matrix. Firstly, it is necessary to remove obviously erroneous elements from table 1 (for example, the element "very rarely" in column 18). The removal criterion is the presence of several zeros in the string around this element [1].

Elements of the hint matrix are calculated by the formula:

$$k_j = \sum_{i=1}^5 b_{ij}, j = 1 \dots 20, \quad (2)$$

in which k_j – element of the matrix, j – number of the column (time interval), i – number of the row (value).

The hint matrix is a string $\|3\ 7\ 4\ 0\ 5\ 1\ 6\ 6\ 3\ 5\ 10\ 8\ 0\ 7\ 6\ 4\ 9\ 7\ 5\ 2\|$. In the row of table 1, we must select the maximum element: $k_{max} = \max k_j$ and then all the elements are converted by the formula:

$$c_{ij} = \frac{b_{ij} k_{max}}{k_j}, i = 1 \dots 5, j = 1 \dots 20, \quad (3)$$

in which c_{ij} – transformed element of the matrix

For columns, where $k_j = 0$, linear approximation is applied:

$$c_{ij} = \frac{c_{ij-1} + c_{ij+1}}{2}, i = 1 \dots 5, j = 1 \dots 20. \quad (4)$$

It is necessary to find the maximum elements in the rows of table 1 to build membership functions: $c_{i \max} = \max c_{ij}, i = 1 \dots 5, j = 1 \dots 20$. The membership function is calculated by the formula:

$$\mu_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_{i \max}}. \quad (5)$$

There are the calculated values of the membership functions in a table 2. After approximation, this data may be presented in graphical form as the membership function (fig. 1).

Table 2 – Values of the membership function

μ_i	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
μ_1	1	1	0.75	0.47	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
μ_2	0	0	0.25	0.52	0.8	1	1	0.67	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
μ_3	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0.67	1	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
μ_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1	1	1	0.83	0.5	0.33	0	0	0
μ_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0.5	0.55	1	1	1

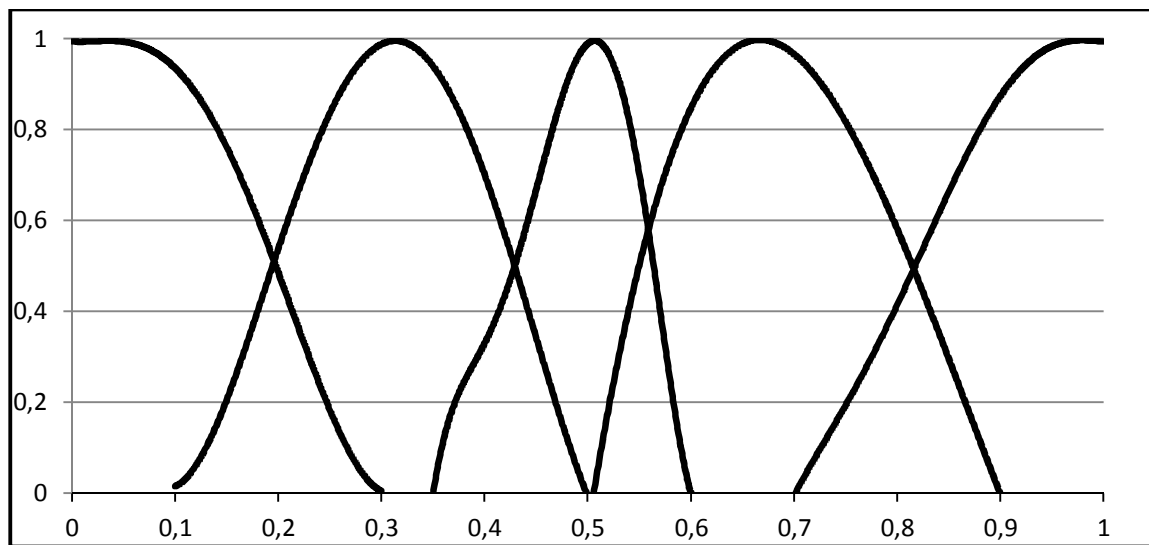


Figure 1 – Membership functions of linguistic variable values

As members of a multidisciplinary team and operators can be geographically located at the considerable distance from each other, a web application has been developed to make their interaction more comfortable. This enable all users to have access to the system, regardless of their location. The web application also allows users to receive all updates in the system instantly, without the need for further actions by users.

The application was developed in C# programming language with the use of Visual Studio 2017. Frontend was developed using HTML, CSS, Bootstrap, JQuery. MS SQL Server 2017 is used as a database.

The system must provide two types of users:

- Member of a multidisciplinary team;
- Equipment service operator.

A member of a multidisciplinary team has the following functionality:

- manage events related to the operation equipment;
- manage users;
- view the membership function graph.

The operator in charge of the equipment maintenance can enter data on the frequency of the event, related to the maintenance of the equipment, for the further analysis by members of the multidisciplinary group.

The Use-Case diagram is shown in Figure 2.

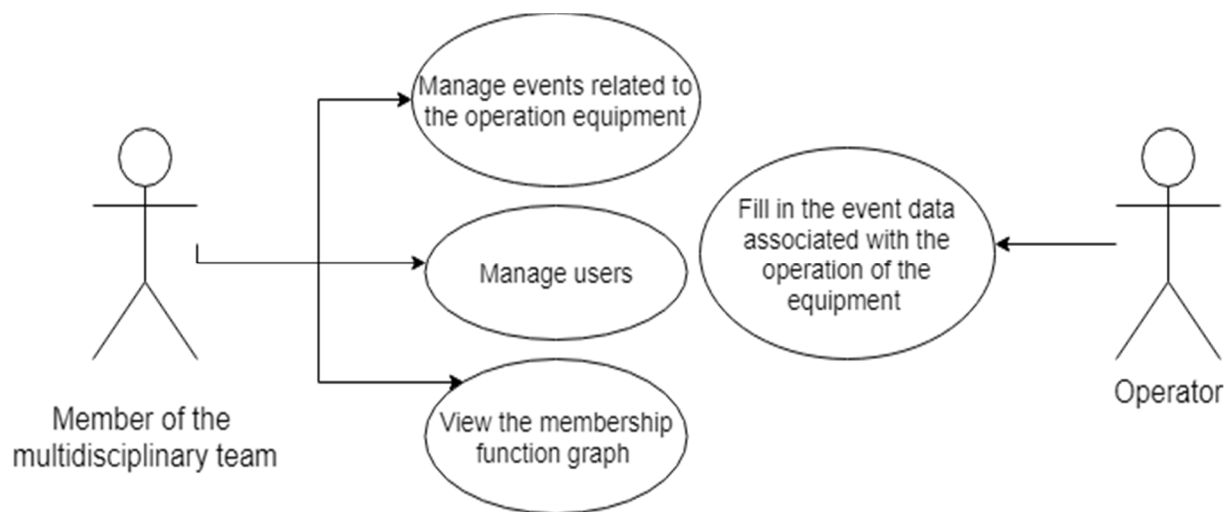


Figure 2 – The Use-Case diagram

When the user logs in for the first time, he or she have to authorize. There is no possibility to register in system, because the system is closed and all users are created by the members of the multidisciplinary group.

The authorization form is shown on the Figure 3.

Please sign in

Email address
Password

☐ Remember me

[Sign in](#)

© 2019

Figure 3 – The authorization form

After a successful authorization, a member of the multidisciplinary group in the Events section can create, edit and delete events, characterizing the power system condition (figure 4).

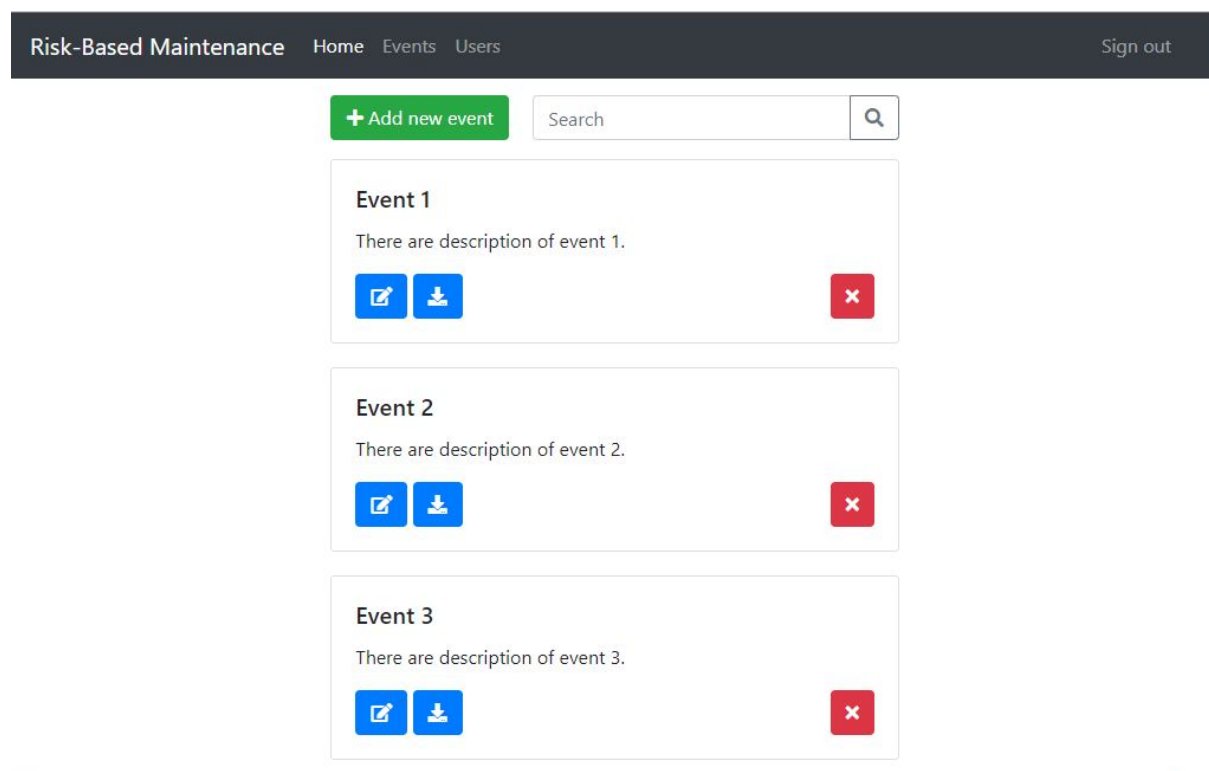


Figure 4 – Event management

The operator has to fill in the information about the occurrence frequency of an event, associated with the equipment operation (figure 5).

The form displays a table for 'Event A' with the description 'There are description of event 1.'. The table has two main sections: 'Values' and 'Interval'. The 'Interval' section has columns numbered 1 to 20. The 'Values' section has rows for different frequency levels. The data is as follows:

Values	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
very rarely	3	7	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
rarely	0	0	1	0	4	1	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
not rarely, not often	1	2	3	4	5	6	7	2	2	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
often	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	0	7	5	2	3	0	0	0
very often	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	5	7	5	2

At the bottom right of the table, there are two buttons: 'Save' (green) and 'Cancel' (grey).

Figure 5 – Information on the frequency of events, related to equipment maintenance

After processing the data, entered by the operator, the members of the multidisciplinary group get the processed results, presented as a membership function (Figure 1).

Conclusion. Thus, the paper proposes a methodology and software that implements it, which allows to formalize information about the current condition of the equipment. The developed web application enables us-

ers to report on the occurrence frequency of events related to the equipment maintenance at long distances and not to be dependent on the location of operators and multidisciplinary team members.

The data provided by the program helps the expert team understand the actual configuration and operating conditions of equipment operation, to assess the effectiveness of inspection and maintenance programs, to identify details of problems and possible failures.

Библиографический список

1. Andrzej Piegat. *Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables* / Andrzej Piegat. – Heidelberg ; New York : Physica-Verlag, 2001.
2. Ажмухамедов И. М. Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования сетей связи на предприятиях нефтегазового комплекса / И. М. Ажмухамедов, Ю. А. Гостюнин // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2. – С. 102. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4202>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Гостюнин Ю. А. Процесс оценки риска при эксплуатации электротехнических систем / Ю. А. Гостюнин, Н. В. Давыдчук // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2018. – № 1. – С. 36–38.
4. Davidyuk N. Improving Reliability of Electric Power Systems Based on Application of Risk Assessment Model / N. Davidyuk, O. Vybornova, Yu. Gostyunin. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8501725>, ограниченный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
5. Ratnayake R. M. C. Application of a fuzzy inference system for functional failure risk estimation: RBM of rotating equipment and instrumentation / R. M. C. Ratnayake // International Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2014. – Vol. 29. – P. 216–224.
6. Henan Li. Research on the Application of Risk-based Inspection for the Boiler System in Power Plant / Henan Li. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/274/1/012086/pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
7. Risk based inspection of offshore topsides static mechanical equipment. – Режим доступа: rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/codes/docs/2010-10/RP-G101.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
8. Risk-Based Inspection Requirements for Pressure Equipment. – Режим доступа: absa.ca/wp-content/uploads/2015/04/AB505_Risk_Based_Inspection_Programs_for_Pressure_Equipment.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
9. Учаев Д. Ю. Анализ и управление рисками, связанными с информационным обеспечением человеко-машинных АСУ технологическими процессами в реальном времени / Д. Ю. Учаев, Ю. М. Брумштейн, И. М. Ажмухамедов, О. М. Князева, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 2 (34). – С. 82–97.

References

1. Andrzej Piegat. *Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables*. Heidelberg, New York, Physica-Verlag Publ., 2001.
2. Azhmukhamedov I. M., Gostyunin Yu. A. *Vybor strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya setey svyazi na predpriyatiyakh neftegazovogo kompleksa* [Selection of the strategy for maintenance and repair of communications equipment at oil and gas enterprises]. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4202>.
3. Gostyunin Yu. A., Davidyuk N. V. Process otsenki riska pri ekspluatatsii elektroenergeticheskikh sistem [The process of risk assessment in the operation of electric power systems]. *Avtomatizatsiya i IT v energetike* [Automation and IT in power engineering], 2018, no. 1, pp. 36–38.
4. Davidyuk N., Vybornova O., Gostyunin Yu. *Improving Reliability of Electric Power Systems Based on Application of Risk Assessment Model*. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8501725>.
5. Ratnayake R. M. C. Application of a fuzzy inference system for functional failure risk estimation: RBM of rotating equipment and instrumentation. *International Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2014, issue 29, pp. 216–224.
6. Henan Li. *Research on the Application of Risk-based Inspection for the Boiler System in Power Plant*. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/274/1/012086/pdf>.
7. *Risk based inspection of offshore topsides static mechanical equipment*. Available at: rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/codes/docs/2010-10/RP-G101.pdf.
8. *Risk-Based Inspection Requirements for Pressure Equipment*. Available at: absa.ca/wp-content/uploads/2015/04/AB505_Risk_Based_Inspection_Programs_for_Pressure_Equipment.pdf.
9. Uchaev D. Yu., Brumshteyn Yu. M., Azhmukhamedov I. M., Knyazeva O. M., Dyudikov I. A. Analiz i upravlenie riskami, svyazannymi s informacionnym obespecheniem cheloveko-mashinnykh ASU tekhnologicheskimi processami v real'nom vremeni [Analysis and management of risks associated with the information support of man-machine automated process control systems of technological processes in real time]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 2 (34), pp. 82–97.

ИНФОРМАЦИЯ О ПРЕДСТОЯЩИХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ

Приведена информация о предстоящих научных мероприятиях: Международный научно-практический форум «КАСПИЙ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ»; Conference CIT&DS 2019 Creativity in Intelligent Technologies & Data Science. Volgograd, Russia. September 16–19, 2019; Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-32» (июнь-ноябрь 2019 г., Санкт-Петербург, Саратов, Минск); молодежная школа-конференция «Информационные технологии и моделирование процессов в фундаментальных и прикладных исследованиях» 13–15 ноября 2019 года, г. Астрахань, АГАСУ; Ежегодная Всероссийская научная школа-семинар «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине» (г. Саратов, 1–15.11.2019); SLET-2019 «Инновационные подходы применения цифровых технологий в образовании и в научных исследованиях»; YSIP-2019 Международная молодежная школа «Тенденции развития информационных технологий».

Ключевые слова: научные мероприятия, тематика, направления, объявления, информационные технологии

1. Международный научно-практический форум «КАСПИЙ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ». 24–25 мая 2019 г., г. Астрахань. Цель форума: обсуждение актуальных проблем цифровой экономики и права, расширение взаимодействия в области цифровизации науки и образования; разработка концепции сотрудничества образовательных учреждений прикаспийского региона в условиях цифровизации экономики.

Основные направления работы форума: трансграничное сотрудничество прикаспийских государств в условиях развития цифровой экономики; цифровые технологии: образование, наука, бизнес; кибербезопасность в виртуальном мире; этические и социокультурные аспекты цифровизации общества; юридическое образование в эпоху цифровой революции: тенденции и перспективы; право в виртуальном мире.

Подробная информация о форуме размещена на официальном сайте: <http://digicasp.asu.edu.ru>

2. **Third Conference CIT&DS 2019 Creativity in Intelligent Technologies & Data Science.** Volgograd, Russia. September 16–19, 2019. Main topics of the conference: 1. Artificial Intelligence & Deep Learning Technologies for Creative tasks. 2. Cyber-Physical Systems & Big Data-driven world. 3. Intelligent Technologies in Social Engineering. Contributions are solicited for the following categories: full research papers describing research accomplishments (approximately 5000 words, 10–12 pages in the LNCS/CCIS onecolumn page format) <http://www.springer.com/computer/lncs?SGWID=0-164-6-793341-0>, demonstrations and short communications; proposals for workshops, tutorials and panels. Submission of full papers deadline: April 14, 2019. Early-bird fee: for partion: €250.00 until July 10, 2019. Site: <http://citds2019.ru/>

3. XXXII Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-32». 3–7 июня 2019 г., Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Россия, 21–25 октября 2019 г., Белорусский национальный технический университет (БНТУ), Минск, Беларусь, 30 октября – 1 ноября 2019 г., Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия.

4. III Международная молодежная школа-конференция «Информационные технологии и моделирование процессов в фундаментальных и прикладных исследованиях» 13–15 ноября 2019 г., г. Астрахань, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет.

Основные направления. «Информационные технологии в фундаментальных и прикладных исследованиях», «Моделирование процессов автоматизации в производственной и научно-технической отрасли». По результатам конференции будет выпущен сборник трудов, который будет индексироваться в РИНЦ. Участие в конференции, опубликование статей в сборнике материалов конференции БЕСПЛАТНОЕ. Лучшие доклады на английском языке могут быть опубликованы в сборнике трудов, который будет подан для индексации в Скопус. Сайт: <http://school2019.aucu.ru/>

5. **Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине** – Ежегодная Всероссийская научная школа-семинар (г. Саратов, 14–15 ноября 2019 г., на базе Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского). Секции. 1. Оборудование для биологии и медицины. 2. Моделирование биофизических явлений. 3. Обработка сигналов и изображений, научное программное обеспечение. 4. Материалы для биологии и медицины. 5. Методы медицинской диагностики. 6. Биоинформатика. Сайт: <http://biomedseminar.ru/>

6. **SLET-2019.** Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ) совместно с Университетом Люблины (Словения) с 20 по 23 мая 2019 г. проводит Международную научную конференцию по педагогическим исследованиям в области информационных технологий «Инновационные подходы применения цифровых технологий в образовании и в научных исследованиях» («Innovative Approaches to the Application of Digital Technologies in Education and Research») – SLET-2019. Основные направления работы конференции связаны с педагогическими исследованиями в области информационных технологий.

Все статьи, принятые к участию в конференции и представленные в очном формате, будут опубликованы в CEUR Workshop Proceedings с индексацией в базе данных Scopus. Рабочий язык конференции: английский.

Сайт: <https://easychair.org/cfp/SLET-2019>

Ответственный секретарь: Лапина Мария Анатольевна, телефон: +7-918-761-00-38, e-mail: mlapina@ncfu.ru

7. **YSIP-2019.** Северо-Кавказский федеральный университет совместно с Международным центром вычислительной логики Технического университета Дрездена (Германия) с 17 по 20 сентября 2019 г. проводит **Международную молодежную школу «Тенденции развития информационных технологий»** (Young Scientist's Third International Workshop on Trends in Information Processing), YSIP-2019. К участию в работе школы приглашаются студенты, магистры и аспиранты, а также молодые ученые, занимающиеся исследованиями в ИТ-сфере.

Сайты: <http://ysip3.computational-logic.org/>; <http://ysip.ncfu.ru/>; <https://easychair.org/conferences/?conf=ysip3>

Все статьи, принятые к участию в школе, будут опубликованы в CEUR Workshop Proceedings с индексацией в базе данных Scopus. Рабочий язык конференции: английский.

Ответственный секретарь: Лапина Мария Анатольевна, телефон: +7-918-761-00-38, e-mail: mlapina@ncfu.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале публикуются материалы на английском и русском языках по тематике, соответствующей утвержденным для журнала отраслям наук, группам специальностей.

2. В список соавторов работ включаются только те лица, которые внесли творческий вклад в подготовку представленных материалов. Лицам, оказавшим только техническую помощь, можно выразить благодарность в конце статьи. Один человек может быть автором (соавтором) не более чем двух статей в одном номере журнала, причем единственным автором он может быть только в одной статье.

3. Объем публикаций для научных статей должен быть не менее 8 страниц, а количество источников в библиографическом списке (списке литературы) – не менее 15 позиций.

4. Содержание каждой статьи должно включать следующие элементы: УДК; название статьи; сведения об авторах, включая их место работы, должность, адрес электронной почты; аннотацию объемом от 100 до 250 слов, ключевые слова (от 9 до 13); графическую аннотацию, отражающую содержание статьи; название статьи, сведения об авторах, аннотацию и ключевые слова на английском языке (для англоязычных статей – на русском языке); введение – оно должно заканчиваться формулировкой цели работы в явной форме; собственно текст статьи – очень желательна его сегментация на разделы, имеющие содержательные заголовки; выводы или заключение (должны соответствовать формулировке цели статьи).

5. Для русскоязычных статей приводится два библиографических списка: на языке оригинала статьи; список с транслитерацией русскоязычных источников на латиницу и (дополнительно) приведением в квадратных скобках переводов названий статей и названий источников на английский язык.

В «русскоязычном» библиографическом списке (списке литературы) порядок следования источников – по алфавиту фамилий авторов (сначала русскоязычные источники, потом иноязычные). На все источники, включенные в библиографический список, должны быть даны ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. При необходимости авторы могут указывать номера страниц в источниках, на которые даются ссылки. Приветствуются ссылки на иноязычные источники, а также на материалы, опубликованные ранее в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии». Однако в последнем случае количество таких ссылок не должно превышать 20 % от общего количества источников, включенных в библиографический список. Для источников, имеющих DOI, целесообразно его указывать. При ссылках на статьи, опубликованные в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии», целесообразно в конце библиографического описания источника в круглых скобках указывать гиперссылку, указывающую на место размещения статьи на страничке сайта Астраханского государственного университета.

Ссылки в библиографическом списке на материалы, размещенные в Интернете, допускаются при соблюдении следующих условий: если у материала, на который дается ссылка, имеется автор и/или название, то они должны быть указаны для этого источника; должен быть приведен полный маршрут доступа к источнику в Интернете; должна быть указана дата обращения (дступа) к источнику.

Ограничения по списку литературы: доля самоцитирований для любого из авторов статьи, а также по совокупности всех авторов статьи, не должна превышать 25 %; доля ссылок на статьи с участием одного автора, не являющегося автором (соавтором) статьи, не должна превышать 25 %.

6. Суммарная доля таблиц и иллюстраций в общем объеме представляемой статьи не должна превышать 40 %. Под иллюстрациями понимаются следующие объекты: диаграммы; графики; рисунки; эскизы; фотографии; карты и т.п.

7. Доля оригинального текста в статьях (оцениваемого через систему «Антиплагиат» на сайте www.antiplagiat.ru) должна быть не менее 80 %.

8. Указание на то, что работа финансируется по какому-либо гранту, в рамках Федеральной целевой программы, государственного заказа и пр. дается в виде постраничной сноски после заголовка (названия) работы.

9. В сведения об авторах работ помимо места работы и должности целесообразно включать ORCID автора и гиперссылку на страничку с его личными наукометрическими показателями на сайте www.elibrary.ru. По желанию можно привести также ссылки на странички с наукометрическими показателями на Scopus, в ResearchGate; на личную страничку, размещенную на сайте организации.

10. Основные технические требования к оформлению статей (материалов):

10.1. Текст должен быть расположен по ширине страницы формата А4 с учётом полей (все поля по 2,5 см), набран шрифтом Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1.0. В таблицах, подрисовочных надписях допускается уменьшенный шрифт – вплоть до 10 кегля. Альбомная ориентация страниц допускается только в порядке исключения для следующих случаев: широкоформатные таблицы с большим количеством колонок; иллюстрации большого размера, которые не умещаются на странице с книжной ориентацией.

Абзацные отступы одинаковы по всему тексту – 1,25 см. Кавычки («»), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть аналогичными на протяжении всего предоставляемого для публикации материала.

10.2. Все таблицы, рисунки, формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Заголовки таблиц пишутся над ними и должны включать в себя номер таблицы и ее содержательное наименование.

10.3. Формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Для формул желательно избегать «многоэтажных конструкций». Нумероваться могут только те формулы, на которые есть ссылки в статье. Размеры шрифтов для формул в MS Equation Editor: основные символы – 14 пт.; подстрочные и надстрочные индексы – 10 пт.; дополнительные индексы для подстрочных и надстрочных индексов – 8 пунктов. Константы в формулах записываются прямым шрифтом, переменные – курсивом (наклонным шрифтом); векторные и матричные величины – полужирным шрифтом. Матричные величины могут указываться в квадратных скобках, векторные величины (наборы скаляров) – в фигурных скобках.

Дополнительная информация для авторов статей

Основная тематика журнала и требования к научному уровню представляемых статей – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trebovaniya.pdf>.

Адрес и телефоны редакционно-издательского дома – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/address.pdf>.

Пример оформления текста статьи – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/primer.pdf>.

Рекомендации по оформлению графических аннотаций – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/graf_ann.pdf, дополнительных материалов к статьям – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_mat.pdf.

Подробные правила оформления таблиц – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/tables.pdf>, оформления формул – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/formul.pdf>, оформления иллюстраций – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/ilustr.pdf>.

Пример оформления основного списка литературы к статье – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/spisok_liter.pdf, транслитерированного списка – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trasn_spisok_liter.pdf.

Дополнительные документы к статьям, представляемые авторами – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_doc.pdf.

Переписка с авторами и порядок рецензирования статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_recenz.pdf.

Условия и порядок оплаты статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_oplaty.pdf.

RULES FOR THE AUTHORS – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/en-rules/rules-for-authors.pdf>.

**Подписка на наши издания осуществляется
по Объединенному каталогу «Пресса России»**

Журнал фундаментальных и прикладных исследований *«Естественные науки»*
Подписной индекс – 11108

Журнал публикует теоретические, обзорные (проблемного характера), а также экспериментально-исследовательские статьи по всему спектру естественнонаучных проблем химии, биологии, экологии, краткие сообщения и информацию о новых методах экспериментальных исследований, а также работы, освещающие современные технологии преподавания естественных наук.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 2420 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Журнал фундаментальных и прикладных исследований *«Гуманитарные исследования»*
Подписной индекс – 11109

В журнале публикуются статьи по широкому спектру проблем гуманитарного знания. Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Язык. Коммуникации», «Проблемы художественного слова», «Воспитание. Образование. Школа», «Юридическая практика. Теория права».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 2000 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал *«Геология, география и глобальная энергия»*
Подписной индекс – 11173

Редколлегия журнала принимает к рассмотрению статьи по проблемам геологии, нефтегазоносности различных регионов, охватывающие важнейшие и крайне полезные для науки и производства, а также для обучения студентов естественного направления.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 3930 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Научный журнал *«Каспийский регион: политика, экономика, культура»*
Подписной индекс – 11170

Профиль журнала – анализ проблем настоящего, прошлого и будущего Каспийского региона в их взаимосвязи с современным развитием мира.

Издание имеет многоплановый, междисциплинарный характер, знакомит читателя с исследованиями и дискуссиями во всех областях социальных и гуманитарных знаний по проблемам Каспийского региона.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 2710 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал *«Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии»*
Подписной индекс – 73313

Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Системный анализ, управление и обработка информации», «Управление в социальных и экономических системах», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», «Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 4145 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Предлагаем всем желающим разместить в наших изданиях рекламу.

Адрес Издательского дома «Астраханский университет»:

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а;

Тел. (8512) 24-64-95; тел./факс (8512) 24-68-37,

e-mail: asupress@yandex.ru

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**2019
№ 1 (45)**

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Федеральной службы по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия
ПИ № ФС77-31932 от 16 мая 2008 г.

Учредитель
Астраханский государственный университет
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Адрес редакции:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20

Адрес издателя:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Подписной индекс – 73313
По Объединенному каталогу «Пресса России»

Редактирование, компьютерная правка
Н.Н. Сахно

Дата выхода в свет 30.04.2019 г.

Цена свободная
Уч.-изд. 18,8. Усл. печ. л. 26,3.
Заказ № 4021. Тираж 500 экз. (первый завод – 24 экз.)

Оттиражировано на базе Издательского дома «Астраханский университет»
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
Тел. (8512) 24-64-95, тел./факс (8512) 24-68-37
E-mail: asupress@yandex.ru