

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2020

№ 2 (50)

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»

2020

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Астраханского государственного университета

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2020
№ 2 (50)

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. Бруштейн, 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. Разакова (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)

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. Никульчев, 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 САИР 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 Казанстан, 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. Филист, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Биомедицинская инженерия» Юго-Западного государственного университета (г. Курск)

Л.Р. Филопова, 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.mbd-fr.org)

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

© Астраханский государственный университет,
Издательский дом «Астраханский университет», 2020
© Свиридов В. Б., дизайн обложки, 2020

ASTRAKHAN STATE UNIVERSITY

PRIKASPIYSKIY ZHURNAL:
Upravlenie i Vysokie Tekhnologii

CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

2020
No. 2 (50)

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”
2020

Recommended by the Editorial and Publishing Board
of Astrakhan State University

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**2020
No. 2 (50)**

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 – KA»

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. Brumshcheyn, 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. Razza-kov (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)

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.mbds-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», 2020
© V. B. Sviridov, cover design, 2020

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Агабубаев А. Т.</i>	<i>10–21</i>	<i>Нуриев Н. К.</i>	<i>44–58</i>
<i>Ажмухамедов И. М.</i>	<i>118–126</i>	<i>Орлова Ю. А.</i>	<i>22–32</i>
<i>Алексеев А. В.</i>	<i>22–32</i>	<i>Осипян В. О.</i>	<i>108–117</i>
<i>Андреев А. Е.</i>	<i>71–85</i>		<i>127–135</i>
<i>Анохин А. О.</i>	<i>85–99</i>	<i>Парыгин Д. С.</i>	<i>85–99</i>
<i>Багдасарян Р. Х.</i>	<i>127–135</i>	<i>Печеный Е. А.</i>	<i>44–58</i>
<i>Власов Р. С.</i>	<i>108–117</i>	<i>Подгорнова Ю. А.</i>	<i>136–147</i>
<i>До Тхань Лич</i>	<i>10–21</i>	<i>Подрезов Д. Р.</i>	<i>32–43</i>
<i>Егунов В. А.</i>	<i>71–85</i>	<i>Розалиев В. Л.</i>	<i>22–32</i>
<i>Жизняков А. Л.</i>	<i>136–147</i>	<i>Садовникова Н. П.</i>	<i>85–99</i>
<i>Заболеева-Зотова А. В.</i>	<i>22–32</i>	<i>Садыков С. С.</i>	<i>136–147</i>
<i>Завьялова Е. Е.</i>	<i>118–126</i>	<i>Старыгина С. Д.</i>	<i>44–58</i>
<i>Катаев А. В.</i>	<i>85–99</i>	<i>Темкин И. О.</i>	<i>10–21</i>
<i>Кравец А. Г.</i>	<i>59–70</i>	<i>Ульев А. Д.</i>	<i>22–32</i>
<i>Кузнецова В. Ю.</i>	<i>118–126</i>	<i>Vurlakov M. E.</i>	<i>100–107</i>
<i>Ле Динь Хиеу</i>	<i>10–21</i>	<i>Ivkin A. N.</i>	<i>100–107</i>
<i>Лукащик Е. П.</i>	<i>108–117</i>		
<i>Марков А. К.</i>	<i>59–70</i>		

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Ле Динь Хиеу, И. О. Темкин, До Тхань Лич, А. Т. Агабубаев

Оптимизация управления режимами пуска скребкового конвейера
на основе анализа результатов имитационного моделирования..... 10–21

**В. А. Розалиев, А. В. Заболева-Зотова, Ю. А. Орлова,
А. Д. Ульев, А. В. Алексеев**

Автоматическая система контроля активности покупателей в магазине
с модулями оценки работы его сотрудников..... 22–32

Д. Р. Подрезов

Методы и модели идентификации запасов технологических блоков
рудника подземного скважинного выщелачивания урана 32–43

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

С. Д. Старыгина, Н. К. Нуриев, Е. А. Печеньй

Разработка платформы для проектирования образовательных систем
с цифровыми технологиями..... 44–58

А. К. Марков, А. Г. Кравец

Анализ данных социальной сети «ВКонтакте»
о местах проживания пользователей
некоторых тематических групп Волгоградской области 59–70

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

В. А. Егунов, А. Е. Андреев

Векторизация алгоритмов выполнения собственного
и сингулярного разложений матриц
с использованием преобразования хаусхолдера 71–85

**А. О. Анохин, Н. П. Садовникова,
А. В. Катаев, Д. С. Парыгин**

Моделирование поведения агентов для реализации
игрового искусственного интеллекта 85–99

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

А. N. Ivkin, M. E. Burlakov

Realization of expert intrusion detection system based
on the results of datasets and machine learning algorithm analysis 100–107

Р. С. Власов, Е. П. Лукащик, В. О. Осипян

Разработка механизма безопасной коммуникации
на базе методов машинного обучения 108–117

И. М. Ажмухамедов, Е. Е. Завьялова, В. Ю. Кузнецова

Методы автоматизации анализа текстовой информации на русском языке
с целью выявления ее семантической направленности..... 118–126

Р. Х. Багдасарян, В. О. Осипян

К вопросу о защите и проверке достоверности информации
при ее передаче по открытым каналам связи 127–135

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю. А. Подгорнова, А. Л. Жизняков, С. С. Садыков

Повышение контраста маммограмм, содержащих области рака
молочной железы на фоне жировой инволюции 136–147

ИНФОРМАЦИЯ О ПРЕДСТОЯЩИХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ 148

ПАМЯТИ БРУМШТЕЙНА ЮРИЯ МОИСЕЕВИЧА 149

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 150

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER TECHNIQUE AND CONTROL

SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

Le Dinh Hieu, I. O. Temkin, Do Thanh Lich, A. T. Agabubaev

Optimization of scrapper conveyor run modes control
based on the analysis of imitation modeling..... 10–21

***V. L. Rozaliev, A. V. Zaboлева-Zotova, Yu. A. Orlova,
A. D. Ulyev, A. V. Alexeev***

Automatic system for monitoring the activity of customers
in the store with modules for evaluating the work of the store employee..... 22–32

D. R. Podrezov

Methods and models of identification of reserves
of technological units of uranium well leaching mine..... 32–43

CONTROL IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

S. D. Starygina, N. K. Nuriev, E. A. Pecheny

Platform development for the design
of educational systems with digital technologies 44–58

A. K. Markov, A. G. Kravets

Analysis of data of the social network VKontakte
about places of residence of users of some thematic groups
of the Volgograd region 59–70

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM SYSTEMS

V. A. Egunov, A. E. Andreev

Vectorization of algorithms for solving
of eigenvalues and singular value problems
using the householder transformations..... 71–85

A. O. Anokhin, N. P. Sadovnikova, A. V. Kataev, D. S. Parygin

Modeling of agents behavior to implement
gaming artificial intelligence 85–99

INFORMATION SAFETY AND INFORMATION PROTECTION

A. N. Ivkin, M. E. Burlakov

Realization of expert intrusion detection system
based on the results of datasets
and machine learning algorithm analysis 100–107

R. S. Vlasov, E. P. Lukashchik, V. O. Osipy

Development of secure communication mechanism
based on machine learning methods..... 108–117

I. M. Azhmukhamedov, E. E. Zavyalova, V. Yu. Kuznetsova

Methods of automation of analysis of text information
in Russian in order to identify its semantic direction 118–126

R. Kh. Bagdasaryan, V. O. Osipyán

On the development of the method of checking
the data reliability in the transmission of information..... 127–135

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

MEDICAL INSTRUMENTS, SYSTEMS AND ITEMS

Yu. A. Podgornova, A. L. Zhiznyakov, S. S. Sadykov

Contrast enhancement mammograms containing the field
of breast cancer on the background of fatty involution 136–147

INFORMATION ON FORTHCOMING SCIENTIFIC EVENTS 148

IN MEMORY OF BRUMSHTEIN YURI MOISEEVICH 149

RULES FOR THE AUTHORS..... 150

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

DOI 10.21672/2074-1707.2020.50.2.010-021
УДК 004.942

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ПУСКА СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Статья получена редакцией 12.02.2020, в окончательном варианте – 23.05.2020.

Ле Динь Хиеу, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, 4, HueIC-Vietnam, аспирант, e-mail: hieuhuech@gmail.com

Темкин Игорь Олегович, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, 4, доктор технических наук, профессор, e-mail: igortemkin@yandex.ru

До Тхань Лич, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, 4, аспирант, e-mail: lichdalat@gmail.com

Агабубаев Аслан Такабудинович, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, 4, аспирант, e-mail: agabubaev@yandex.ru

В статье рассмотрены основные принципы управления динамическими характеристиками скребкового конвейера, проведено моделирование различных режимов пуска скребкового конвейера. Целью работы является проведение сравнительного анализа современных режимов пуска скребкового конвейера для определения наиболее безопасного и надежного способа регулирования ключевых параметров конвейерной установки. На основе технических характеристик СК типа SGZ-800/630 и параметров работы конвейера на выемочных участках было проведено моделирование различных режимов пуска в среде моделирования динамических систем Simulink (MATLAB). Выполнен анализ процесса управления динамическими характеристиками входного сигнала, проведено имитационное моделирование начальных характеристик пуска скребкового конвейера, которое позволило выделить характеристики, оказывающие наибольшее влияние на процесс пуска системы в целом. В результате исследований установлено, что управление скребковым конвейером с использованием двухступенчатого пуска является наиболее эффективным способом. Оно позволяет значительно снизить уровень колебания натяжения цепи и повысить надежность работы установки при критических моментах нагрузки.

Ключевые слова: скребковый конвейер, контроль запуска, контроль натяжения цепи, математическое моделирование, динамический процесс, промышленный конвейер, моделирование в MATLAB, электропривод

OPTIMIZATION OF SCRAPER CONVEYOR RUN MODES CONTROL BASED ON THE ANALYSIS OF IMITATION MODELLING

The article was received by the editorial board on 12.02.2020, in the final version – 23.05.2020.

Le Dinh Hieu, National University of Science and Technological “MISiS”, 4 Leninskiy Prospekt, Moscow, 119049, Russian Federation, HueIC-Vietnam, postgraduate student, e-mail: hieuhuech@gmail.com

Temkin Igor O., National University of Science and Technological “MISiS”, 4 Leninskiy Prospekt, Moscow, 119049, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: igortemkin@yandex.ru

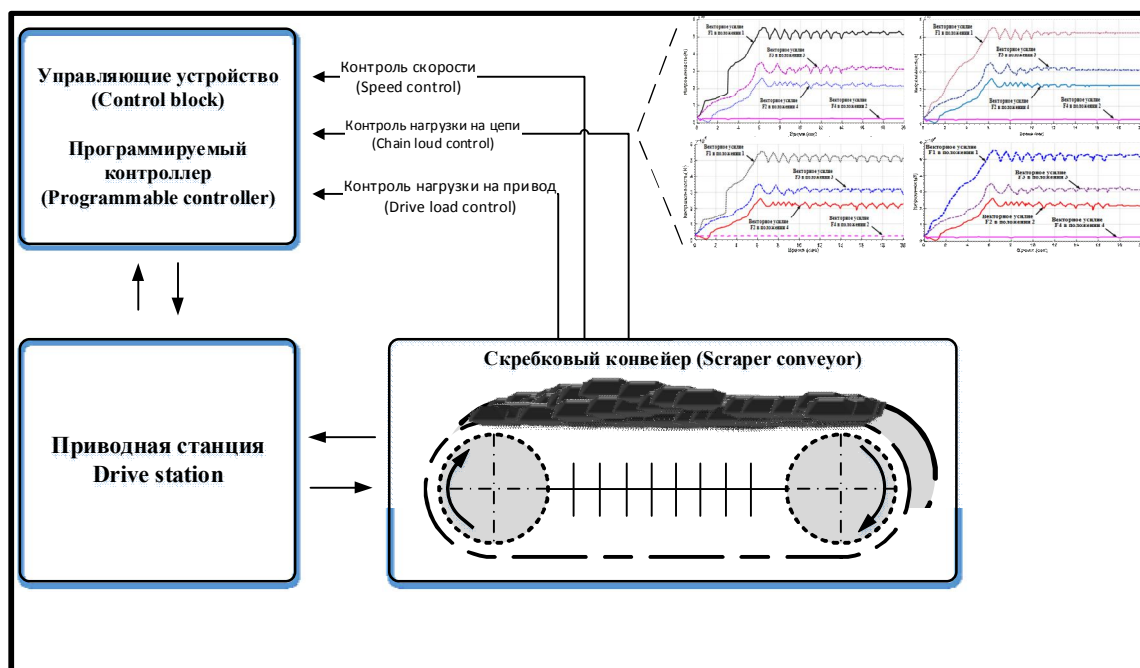
Do Thanh Lich, National University of Science and Technological “MISiS”, 4 Leninskiy Prospekt, Moscow, 119049, Russian Federation, postgraduate student, e-mail: lichdalat@gmail.com

Agabubaev Aslan T., National University of Science and Technological “MISiS”, 4 Leninskiy Prospekt, Moscow, 119049, Russian Federation, postgraduate student, e-mail: agabubaev@yandex.ru

The article discusses the basic principles of controlling the dynamic characteristics of the scraper conveyor, modeling of various modes of starting the conveyor. The purpose of this research work is to conduct a comparative analysis of modern start-up modes of the scraper conveyor, to determine the safest and most reliable way to control key parameters of the conveyor installation. Based on the technical characteristics of the scraper conveyor type SGZ-800/630 and the parameters of the conveyor in the excavation areas, various modes of the scraper conveyor start-up were simulated in the dynamic simulation environment of complex Simulink systems (MATLAB). As a result of the research, an analysis of the control of the dynamic characteristics of the input signal is shown, a simulation of the initial characteristics of the start-up of the scraper conveyor is carried out, which made it possible to single out the characteristics that have a greater influence on the process of starting the system as a whole. Upon completion of the work, it was revealed that the control of the scraper conveyor using a two-stage start-up is the most effective way, it can significantly reduce the level of fluctuations in the chain tension and increase the reliability of the installation at critical load moments.

Keywords: scraper conveyor, start control, chain tension control, mathematical modeling, dynamic process, industrial conveyor, modeling in MATLAB, electric drive

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. В настоящее время Вьетнам является одной из быстроразвивающихся стран. Рост экономических показателей страны в значительной степени опирается на потенциал горнодобывающей отрасли. Развитие современных промышленных предприятий страны напрямую зависит от эффективного освоения богатых угольных месторождений, которые во Вьетнаме разрабатываются подземным способом. Потенциал темпов развития экономики страны определяется с учетом результатов анализа горно-геологических условий залегания угольных пластов. Эти результаты показывают, что общие ресурсы наиболее крупного угольного бассейна Куанг Нинь составляют более 3,6 млрд тонн. Однако извлечение этих запасов требует использования адекватных технических решений, позволяющих обеспечить достаточно высокую производительность труда. В данной статье мы рассматриваем вопрос автоматизации одного из комплексных транспортно-технологических процессов подземной добычи угля в сложных горно-геологических условиях республики.

В угледобывающей промышленности Вьетнама сегодня можно выделить более 20 крупных шахт. Семь из них имеют производственную мощность более 2 миллионов тонн в год: Мао Кхе, Ванг Данх, Нам Мау, Ха Лам, Мон Дуонг, Кхе Чам и Дуонг Хай. Уровень добычи на других угледобывающих предприятиях составляет 800 000 тонн – 1 миллион тонн в год. На рисунке 1 представлена карта расположения крупнейших горнодобывающих предприятий Вьетнама.

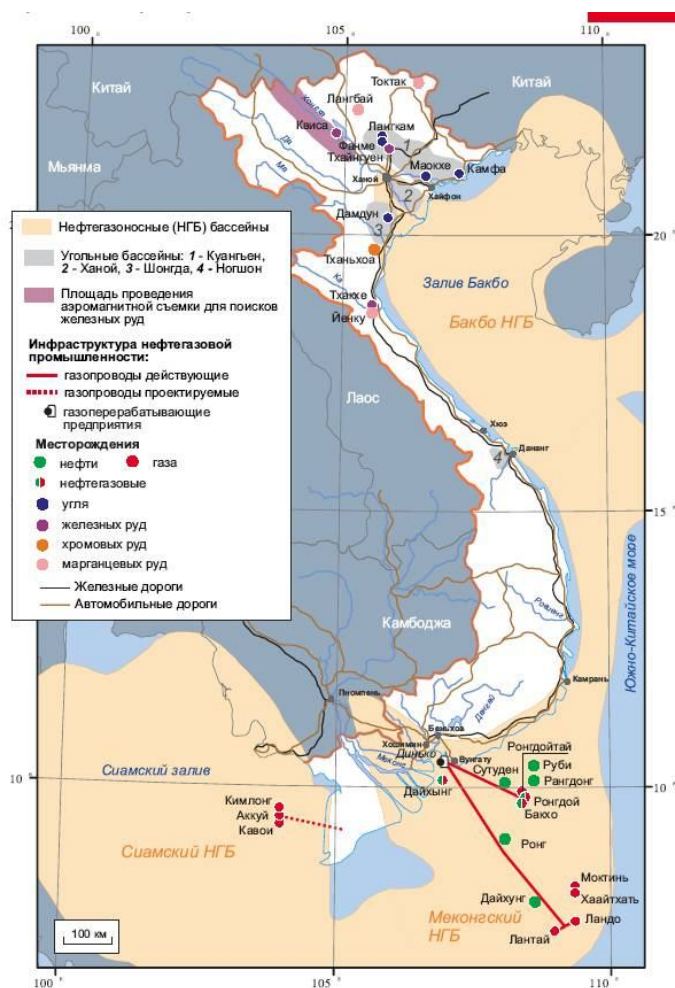


Рисунок 1 – Крупнейшие горнодобывающие предприятия во Вьетнаме

Как видно из рисунка, угольные месторождения расположены преимущественно на Севере, Северо-Востоке и в центральной части страны. Специфика данных областей – гористая местность. Это, в свою очередь, определяет сложные горно-геологические условия освоения угольных бассейнов. В подобных условиях при подземном способе разработки месторождений, горнодобывающие предприятия для повышения производительности и безопасности добычи угля, активно внедряют современные средства механизации горных работ. В частности, делается акцент на повышение надежности транспортировочных комплексов. Их модернизация позволит расширить зону эксплуатации месторождений и оптимизирует производственные этапы, включающие процессы отработки и выемки породы в забоях. Эффективное внедрение современных программно-технических средств предполагает рациональный выбор режимов работы технологического оборудования для обеспечения надежности его эксплуатации. В свою очередь выбор таких режимов требует комплексного анализа процессов работы оборудования, проведения математического моделирования и/или выполнения натуральных экспериментов над ним.

Рост технологического потенциала отрасли обеспечивается за счет внедрения механизированной и других современных технологий выемки угля. Сравнительный анализ показывает следующее:

- рост нагрузки при механизированной отработке на очистных забоях превышает предыдущие показатели в 1,32–3,17 раз [7];
- удельная протяженность подготовленных выработок в механизированных забоях возросла на 44–61 % по сравнению с забоями, разрабатываемыми на основе применения буровзрывного способа отработки [7];
- производительность труда при механизированных способах выемки повысилась в 1,5–4 раза по сравнению с гидравлическим и буровзрывным способами выемки.

Дальнейшее увеличение объемов добычи угля требует расширения зоны очистных работ и оптимизации процессов на всех этапах работы на забойных участках, включая повышение производительности и эффективности транспортных операций [2, 3].

Одним из надежных и эффективных элементов процесса транспортировки угля на шахтах Вьетнам являются «скребковые конвейеры» (СК). Данная технология обладает рядом достоинств: гибкая настройка длины конвейера, удобное интегрирование в конструкцию крепи, возможность использования комбайна в качестве опоры, высокая производительность.

Однако в процессе эксплуатации забойных СК обозначился ряд проблем, связанных со сложностью запуска загруженных конвейеров и недостаточной надежностью электроприводов, которые при высокой нагрузке выходят из строя. Большинство случаев, связанных с поломкой конвейерной установки, относятся к неисправности тягового органа. Данная проблема требует исследования режимов пуска и торможения цепи, поскольку именно в эти моменты образуются наиболее высокие динамические усилия, которые влияют на прочность и надежность работы установки в целом.

Схема управления СК включает следующие основные блоки:

- управляющее устройство (программируемый контроллер), является исполнителем алгоритмов управления и контроля процесса транспортировки;
 - конвейерная лента, включающая в себя цепь (предназначена для соединения скребков с приводом) и скребки (представлены пластинами, которые передают механическое воздействие материалу на момент его транспортировки);
 - датчики контроля процесса транспортировки:
 - Д1 – датчик контроля скорости рабочего органа конвейера;
 - Д2 – датчик температуры;
 - Д3 – датчик заполнения спрессованной горной массой полостей и зазоров;
 - Д4 – датчик обрыва цепи;
 - приводная станция (представлена сочетанием электрического двигателя и привода, который передает вращение);
 - концевая головка (предназначена для передачи усилия на основной элемент конструкции).
- На рисунке 2 представлена блок-схема процесса организации управления СК.

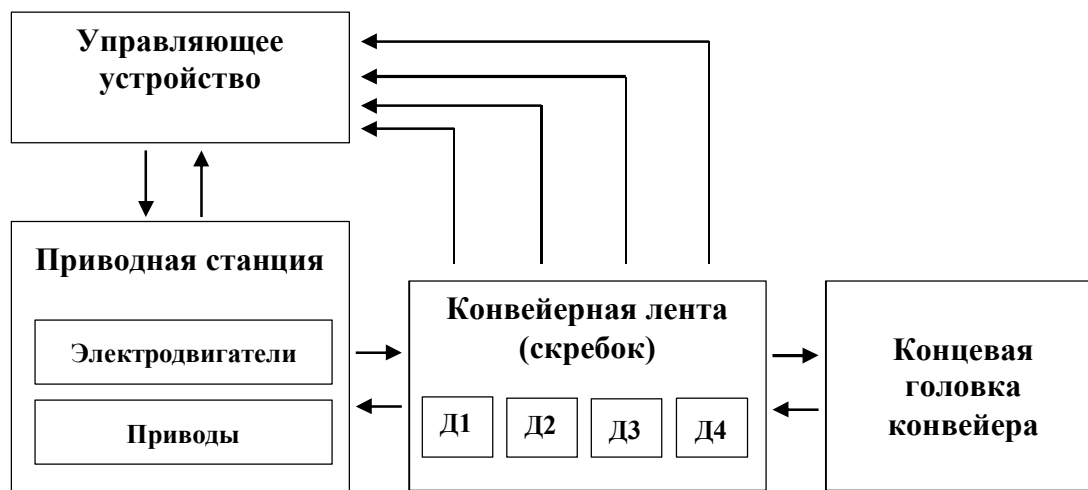


Рисунок 2 – Блок-схема организации управления СК

В настоящее время перспектива повышения эффективности и надежности процесса управления СК связана с возможностью изменять пусковые режимы многоприводных конвейеров путем управления электродвигателями головного и хвостового приводов, в том числе путем последовательного включения первой и второй скоростей. Нами было проведено теоретическое исследование режимов управления СК с целью построения более эффективных алгоритмов пуска и остановки конвейерной ленты.

Материалы и методы. Основные динамические характеристики СК: натяжение, скорость, смещение, ускорение и общее сопротивление движению. В качестве внешних возмущающих воздействий рассматриваются движущая сила, тормозное усилие, эффект многоугольника, смещение с автоматической регулировкой системы натяжения, изменения объема породы на конвейере

и другие факторы, которые напрямую влияют на нагрузки [4, 12]. Основная задача управления динамическими характеристиками СК заключается в контроле запуска установки в соответствии с разницей между установленным выходным заданием и фактическим выходом. При этом необходимо, чтобы выходные параметры удовлетворяли определенным требованиям [5]. В данной работе рассматривается решение задачи двухступенчатого пуска СК, что в конечном итоге сводится к поиску оптимальных характеристик выходного сигнала на приводные установки [12].

Суть двухступенчатого пуска заключается в следующем. Цепное колесо СК работает на низкой скорости в течение некоторого времени, затем начинает ускоряться и в результате достигает стабильной скорости вращения V_1 (м/с) [6]. Схематически этот процесс показан на рисунке 3.

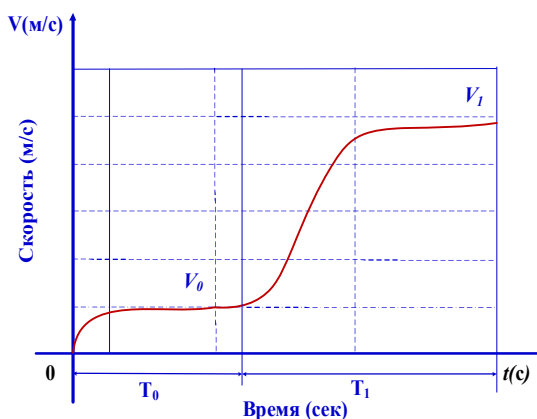


Рисунок 3 – Управляемая стартовая оптимизированная кривая

Как показано на этом рисунке, $V_0 = 0,1 \times V_1$ и $V_0 \times T_0 \geq \Delta l$, где V_0 – начальная скорость медленного пуска на первом уровне, T_0 – время пуска при скорости V_0 ; Δl – минимальный путь, проходимый СК (расстояние пробега), который больше или равен упругому удлинению цепи.

Из-за сложности математической модели системы СК оптимизация процесса пуска конвейера по параметру скорости рассматривается с применением теории вязкоупругой динамики. Предполагается, что конвейер предварительно запускается последовательными микроперемещениями перед полным пуском. При запуске СК направление силы трения не изменяется, а цепь рассматривается как линейное вязкоупругое тело. Сегмент соединения звеньев цепи может быть описан моделью Фойгта [10, 12–14, 18]. Предполагается, что сила тяги, действующая по данной модели, и изменение отклика представляются в виде синусоидальной функции и между ними существует разность фаз φ_0 [6, 14, 18]:

$$F = F_0 \cdot e^{j\omega \cdot t} = E \cdot dl + \eta \frac{d(dl)}{dt} = (E \cdot l_0 + j \cdot \eta \cdot \omega \cdot l_0) \cdot e^{j\omega \cdot t}, \quad (1)$$

$$dl = dl_0 \cdot e^{j\omega \cdot t - \varphi_0} = l_0 \cdot e^{j\omega \cdot t}$$

где F – упругое удлинение цепи под действием нагрузки:

$$L_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n l_{0i} = F_0 * \sum_{i=1}^n I_{ai} \cdot e^{-j\varphi_i} = I_{\Sigma} * F_0 = I_{\Sigma} * L_{\Sigma} * E_{ai(\omega)} e^{-j\varphi_{\Sigma(\omega)}}. \quad (2)$$

Приложенная нагрузка выражается произвольной периодической функцией. Далее представлено разложение функции в ряд Фурье:

$$F_{(t)} = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} c_n \cdot e^{j\omega_0 \cdot n \cdot t}; \quad c_n = \frac{1}{T} \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} F_{(t)} \cdot e^{-j\omega_0 \cdot n \cdot t}; \quad \omega_0 = \frac{2}{\pi}. \quad (3)$$

Положительная частота в уравнении (2) может быть равна $1\omega_0, 2\omega_0, 3\omega_0, \dots, n\omega_0$. Соответствующая амплитуда возмущения является суммой величин коэффициентов $c_1, c_2, c_3 \dots c_n$.

Необходимо провести настройку процесса запуска и торможения СК для различных вариантов возмущающей нагрузки.

Следует отметить, что «идеальное» возмущение может быть представлено простым гармоническим возбуждением:

$$\begin{aligned} F_{(t)} &= F_0 \sin \omega_0 t ; \Delta L_{(t)} = \Delta L_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi) , \\ U_{(t)} &= A_1 \cdot L_0 \cdot x_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi) + f(t) + B \end{aligned} \quad (4)$$

Первичным результатом оптимизации, на основании представленных выше формул, является величина горизонтальной скорости, передаваемой на цепь колесом. Из-за ограниченного количества зубьев цепного колеса скорость цепи отличается от тангенциальной скорости круга, что приводит к затруднению определения скорости цепи при фактическом управлении. Это связано с тем, что в точке крепления колеса, многоугольный эффект оказывает большое влияние на наиболее удаленный скребок, передающий маневренную нагрузку – особенно во время процесса запуска. При данных ограничениях участки тяговой цепи, которые находятся на различных расстояниях от цепного колеса привода, начинают движение поэтапно (друг за другом), вследствие чего наиболее удаленный скребок цепи начинает движение с отклонением по времени, поэтому скорость конвейера может отличаться от фактической.

Как показано в работе [11], добавление люфта в моделируемую систему с большой инерцией объекта (загруженная конвейерная линия) практически не влияет на его скорость движения в установившемся режиме. Вопросы учета больших динамических нагрузок на механический редуктор привода в момент выхода из зоны люфта (мертвой зоны, не имеющей реакции на воздействия) не рассматривались в данной работе.

$$\dot{U}(t) = 2 \cdot \pi \cdot R_e \cdot n_{(t)} ; n_{(t)} = \frac{\dot{U}(t)}{2 \cdot \pi \cdot R_e} = \begin{cases} \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_e} \left[\frac{V_0 t}{T} - \frac{V_0}{2 \cdot \pi} \sin \omega_0 t \right] , & t \leq T \\ \frac{V_0}{2 \cdot \pi \cdot R_e} , & t \geq T \end{cases} ; R_e = \frac{1}{2} R_0 \left[1 + \cos\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) \right] ; \varphi = \frac{\pi}{Z} \quad (5)$$

где R_e – эквивалентный радиус шага звездочки (м); Z_0 – фактический радиус цепного колеса (м); Z – число зубьев цепного колеса.

Увеличение времени запуска T позволяет эффективно снизить динамическую нагрузку запуска СК. Однако время запуска ограничено требованиями экономии энергоресурсов и возможным повышением температуры привода. Поэтому момент запуска должен быть ограничен по времени. В настоящее время достаточно мощные пускатели с регулируемой скоростью оснащены производительной системой охлаждения, которая используется для решения проблемы повышения температуры во время запуска.

Приведенные выше выражения определяют предпусковое состояние конвейера. Предварительный запуск изменяет состояние распределения натяжения цепи до стабилизации ускорения цепного колеса СК. Для реализации данного режима запуска следует разделить процесс на двухступенчатый старт. В нем первый этап назовем предстартовым, а на втором этапе приводы будут выходить на полную мощность. Предполагается, что цепное колесо работает на очень низкой скорости в течение некоторого периода времени; затем входит во вторую ступень; далее начинает ускоряться и в итоге достигает стабильной скорости вращения V_0 . В нормальных условиях $V_0 \approx \Delta l$. Вследствие этого можно гарантировать следующее условие: $V_0 T_0 \geq \Delta l$. Дистанция пробега цепного колеса привода больше или равна упругому удлинению цепи. Также учитывается следующее условие:

$$T_1 = (2 - 3) 2l / c ,$$

где c – скорость распространения волны напряжения в цепи (м/с).

Исследование процесса запуска скребкового конвейера осуществлялось на базе транспортера шабера SGZ-800/630 [12]. На рисунке 4 представлена расчетная схема для построения имитационной модели в виде принципиальной схемы конвейерной линии. Четыре нумерованные точки представляют собой позиции, в которых напряжение конвейерной цепи изменяется наиболее заметно. Точка «1» – это пересечение головной части цепи и цепного колеса. Точка «3» – это пересечение хвостовой части цепи и звездочки. Точки 4 и 2 – это соответствующие им точки разделения.

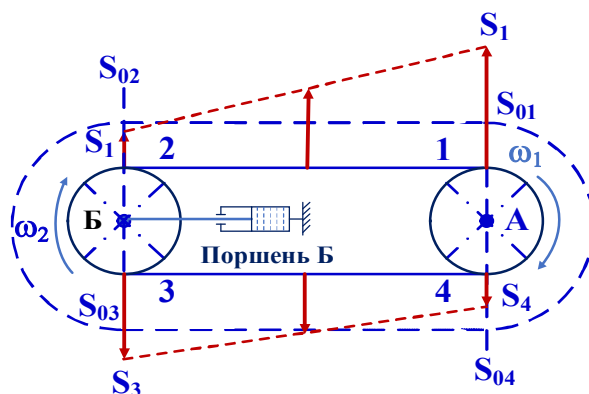


Рисунок 4 – Расчетная схема задачи

Для моделирования были использованы следующие параметры [1]: длина транспортера шабера $L = 240$ (м); транспортировочная мощность конвейера $Q = 1950$ (т/ч); скребок номинальный цепной ленточный со скоростью движения $v_0 = 1,3$ (м/с); угол наклона конвейера: $\beta = 1^\circ$; длина центральной канавки $L_c = 1,5$ (м); ширина средней канавки $B = 1$ (м); высота верхней и средней канавки $h_1 = 0,122$ (м); допустимый угол поворота средней канавки $\alpha = 1^\circ$; горизонтальный шаг опережения конвейера $a = 0,8$ (м); КПД передаточного устройства: $\eta = 0,86$; коэффициент перегрузки двигателя $\lambda_m = 2,5$; коэффициент натяжения цепи $\lambda = 1$; вес породы на метр длины скребкового конвейера $q_b = 0,95$ (кН/м); насыпная плотность сырого угля $\rho = 1000$ (кг/м³); высота угля, загруженного на среднюю плиту: $H = 0,47$ (м); высота угля, загруженного на корыто $h = 0,305$ (м); коэффициент трения стали об сталь в движении $\mu_{ss} = (0,0375 \div 0,28) \mathcal{V}$, коэффициент трения цепи и угля по секционным желобам $\mu_{sc} = (0,00625 \div 0,39) \mathcal{V}$, коэффициент внутреннего груза породы $\mu_\alpha = 0,84$.

Средствами управления для двух систем привода являются синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ), которые контролируют скорость вращения цепного колеса СК в соответствии с известным методом [15, 16].

Эквивалентная мощность двух систем привода СДПМ: $P_A = P_B = 200$ (кВт) передаточное отношение редуктора; номинальные параметры двигателя $n_0 = 1500$ (об/мин); радиус окружности шага звездочки $R_e = 0,252$ (м); число зубьев $z = 9$; цепь – круглозвенная горно-шахтная, типоразмер 34 x 126 [8]. Учитывая быструю скорость передачи волны напряжения в цепи, два приводных устройства в голове и хвосте цепи запускаются одновременно.

Настройка мощности двух приводных систем имеют следующие значения: $P_A = P_B = 200$ (кВт).

При данных мощностях момент передачи волны напряжения в цепи происходит за достаточно короткий период времени. При этом синхронно запускаются два приводных устройства (головное и хвостовое) конвейера. Для устранения вибрации, вызванной сопротивлением сухому трению, применяется технология предварительного запуска. При этом электропривод работает на небольшой скорости в течение 5–6 секунд, прежде чем входит в фазу ускорения с основным периодом 10 секунд.

Модель системы скребкового конвейера была построена в программной среде MATLAB. Структура имитационной модели СК представлена на рисунке 5.

Результаты и их обсуждение. Результаты имитационного моделирования представлены на рисунках 6–11. Из графиков реализаций запуска конвейера видно, что режим старта существенно сказывается на напряжениях в ключевых точках конвейерной ленты, определенных для исследования.

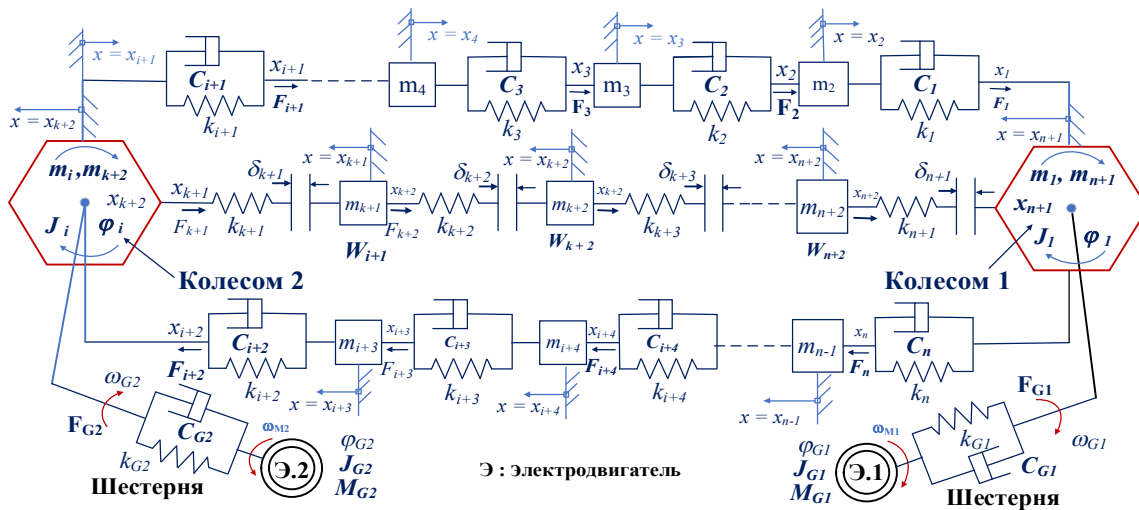


Рисунок 5 – Модель системы скребкового конвейера

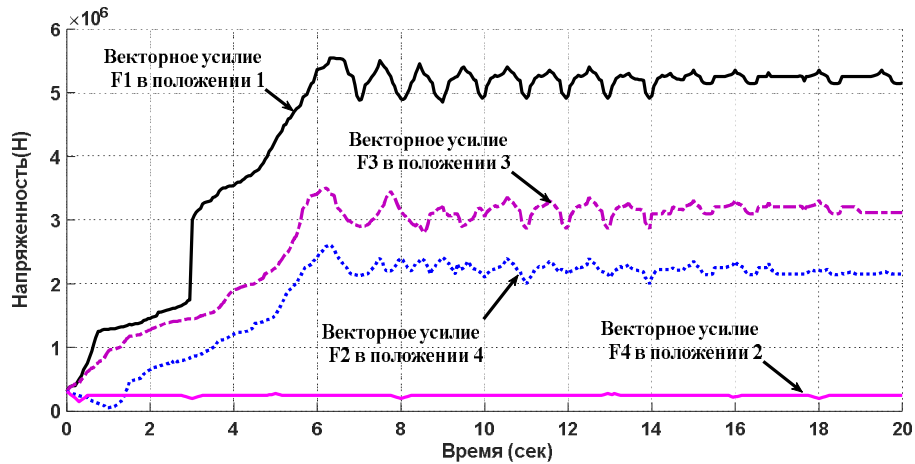


Рисунок 6 – Линейный старт натяжения с предварительным запуском

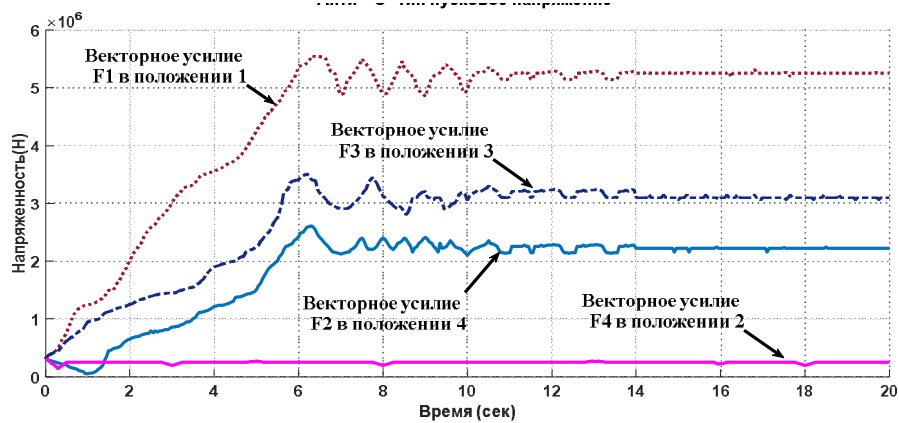


Рисунок 7 – Анти-«S» тип пусковое напряжение

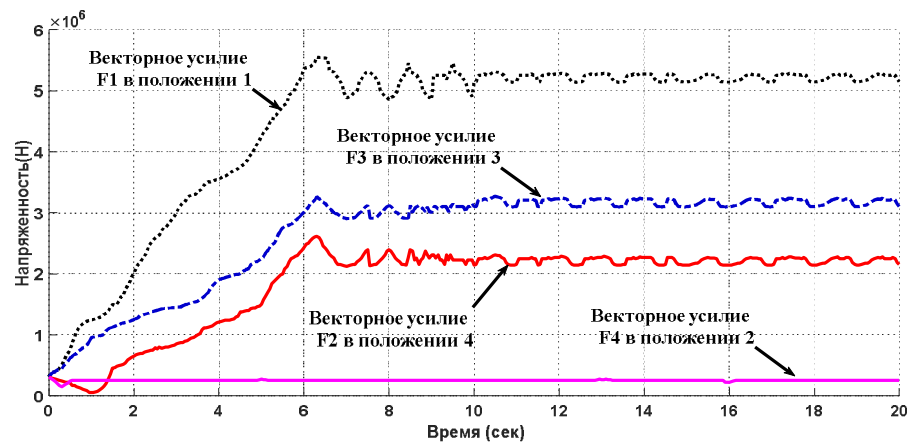


Рисунок 8 – Синусоидальное пусковое напряжение с предварительным запуском

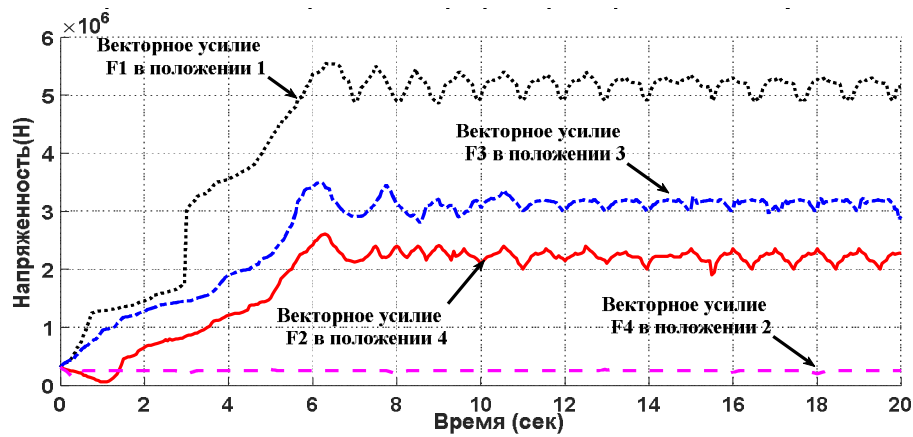


Рисунок 9 – Параболическое напряжение стартера с предварительным запуском

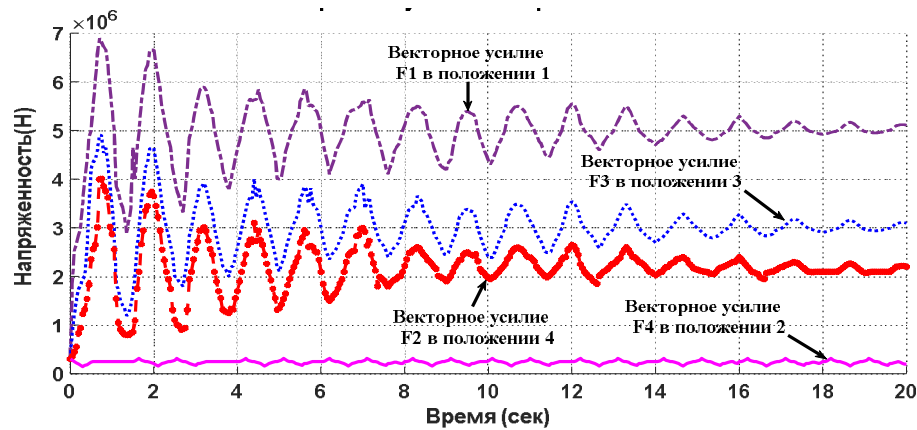


Рисунок 10 – Прямое пусковое напряжение

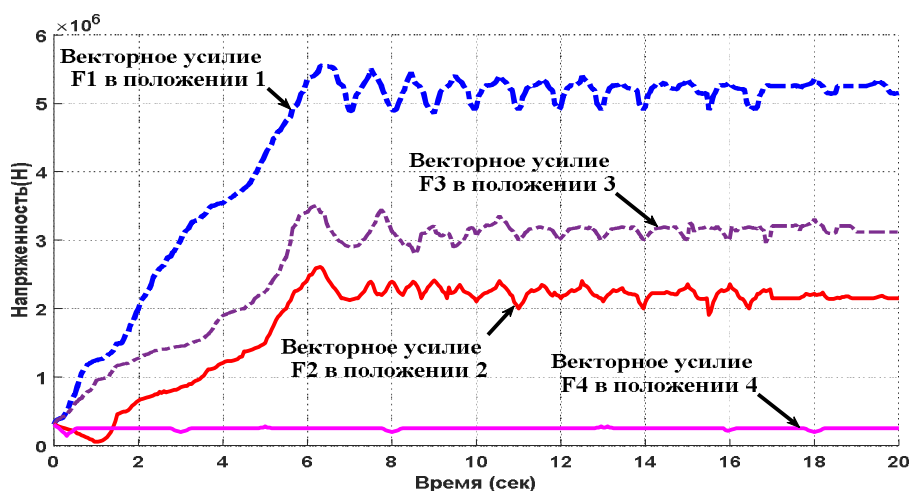


Рисунок 11 – Анти-«S» тип пускового натяжения без предварительного запуска

На этих рисунках показано начальное натяжение (напряженность) в точке 1, а также в других ключевых точках при различных режимах запуска системы. Моделировались следующие режимы запуска: линейный, параболический, синусоидальный и анти-«S» варианты изменения напряжения стартера с предварительным запуском, а также прямой и анти-«S» варианты без предварительного запуска.

Для всех вычислительных экспериментов параметры модели не менялись, варьировались только режимы старта и функции изменения напряжения стартера после предварительного запуска. Для сравнительного анализа полученных в ходе имитационного моделирования диаграмм использовались достаточно «грубые» оценочные критерии, а именно следующие.

К1. Отклонение результатов моделирования силы натяжения $F1$ на временном интервале (0–6 с) от функции, соответствующей некоторой «идеальной» кривой старта конвейера (рис. 3), относящейся определенному оптимальному переходу с низкой скорости за период T_0 на вторую ступень скорости за период T_1 .

К2. Суммарное значение величины колебаний по всем траекториям (ключевым точкам) для различных режимов пуска.

К3. Минимальное время достижения условия $|F_r(t_i + 1) - F_r(t_i)| < e, r = 1,2,3,4$.

Как показано на рисунке 10, во время прямого пуска системы приводных колес с электроприводом процесс запуска имеет максимальное динамическое натяжение и амплитуда колебания цепи крайне велика. В то же время в случае типа «S» запуск происходит более плавно по сравнению с прямым запуском.

Управление с S-образным типом изменения напряжения (даже без предварительного запуска) является весьма эффективным и превосходит все остальные варианты по критерию «К1», а также не уступает большинству из них по критерию «К3». Однако использование режима предварительного старта существенно снижает интегральную ударную нагрузку на конвейерную ленту. Диаграммы наглядно демонстрируют, что двухступенчатый запуск оказывает положительное влияние на систему в целом. Причина – при этом реализуется планомерная нагрузка на цепь СК, что в конечном итоге приводит к эффективному использованию транспортировочной ленты в целом.

Выводы. Стартовые характеристики скребкового конвейера оказывают большое влияние на его динамические характеристики. Использование оптимального управления процессом запуска может снизить динамические воздействия на скребковый конвейер в условиях запуска. На основании теоретического анализа процесса запуска скребкового конвейера были определены параметры аномальной нагрузки на цепь в точках сочленения с электроприводами. Показано, что двухступенчатый запуск с «S»-образным изменением скорости является наиболее рациональным и может рассматриваться как основа для проектирования мощных и высоконадежных скребковых конвейеров.

Библиографические список

1. Васильченко В. А. Скребковый конвейер. Тяговый расчет : методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Машины непрерывного транспорта» для студентов специальности 190602. – Владивосток : Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, 2009. – С. 48.
2. Гончаренко С. Н. Управление производственными параметрами основных технологических циклов горнорудного предприятия / С. Н. Гончаренко, Н. И. Федунец // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 9, – С. 230–239.

3. Гончаренко С. Н. Оценка влияния эффективности использования технологического оборудования на результаты производственно хозяйственной деятельности горнодобывающего предприятия / С. Н. Гончаренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №10. – С. 194–202.
4. Ещин Е. К. Динамика скребковых конвейеров. Обзор / Е. К. Ещин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – С. 28.
5. Ещин Е. К. Моделирование и управление динамическим состоянием скребковых конвейеров / Е. К. Ещин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – С. 118–121.
6. Ещин Е. К. Управление динамической нагруженностью забойных скребковых конвейеров / Е. К. Ещин // Записки Горного института. – 2019. – Т. 239. – С. 570–575.
7. Казанин О. И. Состояние и перспективы развития технологий подземной добычи угля в бассейне Куангнинь Вьетнама / О. И. Казанин, Ле Ван Хау // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – С. 15–20.
8. Кожушко Г. Г. Расчет и проектирование ленточных конвейеров: учебно-методическое пособие / Г. Г. Кожушко, О. А. Лукашук. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016. – С. 232.
9. Кондрахин В. П. Обоснование конечно-элементной модели тягового органа скребкового конвейера / В. П. Кондрахин, В. Б. Борисенко, А. А. Мельник, В. В. Косарев, И. И. Косарев // Научные труды Донецкого национального технического университета. – 2005. – С. 97–103.
10. Кондрахин В. П. Математическая модель для исследования нагрузок в двухскоростном многодвигательном приводе и тяговом органе скребкового забойного конвейера / В. П. Кондрахин, В. Б. Борисенко, А. А. Мельник, В. В. Косарев, И. В. Стадник, И. И. Косарев // Научные труды Донецкого национального технического университета. – 2008. – С. 132–140.
11. Листопадова Ю. И. Моделирование люфта электропривода в программной среде NI Multisim при управлении скоростью движения / Ю. И. Листопадова, В. Т. Николаев, Л. Б. Сапожникова // Электронные информационные системы. – 2015. – № 2. – С. 19–31.
12. Серов В. А. Угловой скребковый конвейер проходческо-очистного комплекса / В. А. Серов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – С. 205–206.
13. Технология синхронизированной механизации: повышение производительности добычи угля // NSCL. – 17 июля 2017. – Режим доступа: <http://nscl.vn/cong-nghe-co-gioi-hoa-dong-bo-nang-cao-nang-suat-khai-thac-than/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 20.04.2020).
14. Cenacewicz K. Modeling and simulation of longwall scraper conveyor considering operational faults / K. Cenacewicz, A. Katunin // Studia Geotechnica et Mechanica. – 2016. – Vol. 38. – P. 15–27.
15. Hieu L. D. Application of PSO and Bacterial Foraging Optimization to Speed Control PMSM Servo Systems / L. D. Hieu and I. O. Temkin // 2018 IEEE Seventh International Conference on Communications and Electronics (ICCE). – Hue City, Vietnam, 2018. – P. 196–201.
16. Hieu L. D., Application of Adaptive PSO and Adaptive Fuzzy Logic Controllers to Speed Control PMSM Motor Servo Systems / L. D. Hieu and I. O. Temkin // IEEE-ICMCS 2018-International Conference on Mechanical, System and Control Engineering. – Moscow, Russian Federation, 2018. – P. 1–8.
17. Lu E. Composite sliding mode control of a permanent magnet direct-driven system for a mining scraper conveyor / E. Lu, W. Li, X. Yang, and S. Xu // IEEE Access. – 2017. – Vol. 5. – P. 22399–22408.
18. Lu E. Simulation study on speed control of permanent magnet direct-driven system for mining scraper conveyor / E. Lu, W. Li, X. Yang, and S. Xu // International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation. – 2018. – Vol. 10. – P. 1–11.

References

1. Vasilchenko V. A. *Skrebkovyy konveyer. Tyagovyy raschet* [Scraper conveyor. Traction calculation]. Vladivostok, Admiral G. I. Nevelsky Maritime State University Publ., 2009, p. 48.
2. Goncharenko S. N., Fedunets N. I. Upravlenie proizvodstvennymi parametrami osnovnykh tekhnologicheskikh tsiklov gornorudnogo predpriyatiya [Management of production parameters of the main technological cycles of the mining enterprise]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2007, no. 9, pp. 230–239.
3. Goncharenko S. N. Otsenka vliyaniya effektivnosti ispolzovaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya na rezultaty proizvodstvenno hozyaystvennoy deyatelnosti gornodobyvayushhego predpriyatiya [Evaluation of the impact of the efficiency of technological equipment use on the results of production and economic activities of a mining enterprise]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2007, no. 10, pp. 194–202.
4. Eshchin E. K. Dinamika skrebkovykh konveerov. Obzor [Dynamics of scraper conveyors. Review]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], 2015, p. 28.
5. Eshchin E. K. Modelirovanie i upravlenie dinamicheskim sostoyaniem skrebkovykh konveerov [Modeling and control of a dynamic condition of conveyors]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], 2015, pp. 118–121.
6. Eshchin E. K. Upravlenie dinamicheskoy nagruzhennostyu zaboynykh skrebkovykh konveerov [Management of dynamic loading of downhole scraper conveyors]. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2019, vol. 239, pp. 570–575.

7. Kazanin O. I., Le Van Khau. Sostoyanie i perspektivy razvitiya tehnologiy podzemnoy dobychi uglja v bassejne Kuangnin Vjetnama [State and prospects of development of underground coal mining technologies in the Quang NIN basin of Vietnam]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2014, pp. 15–20.
8. Kozhushko G. G., Lukashuk O. A. *Raschet i proektirovanie lentochnykh konveerov* [Calculation and design of conveyor belts]. Yekaterinburg, Ural University Publ., 2016, p. 232.
9. Kondrakhin V. P., Borisenko V. B., Melnik A. A., Kosarev V. V., Kosarev I. I. Obosnovanie konechno-elementnoy modeli tyagovogo organa skrebkovogo konveera [Justification of the finite element model of the traction body of the scraper conveyor]. *Nauchnye trudy Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Donetsk National Technical University], 2005, pp. 97–103.
10. Kondrakhin V. P., Borisenko V. B., Melnik A. A., Kosarev V. V., Stadnik I. V., Kosarev I. I. Matematicheskaya model dlya issledovaniya nagruzok v dvuhskorostnom mnogodvigatelnom privode i tyagovom organe skrebkovogo zaboynogo konveyera [Mathematical model for the study of loads in a two-speed multi-motor drive and traction organ of a scraper bottom-hole conveyor]. *Nauchnye trudy Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Donetsk National Technical University], 2008, pp. 132–140.
11. Listopadova Yu. I., Nikolaev V. T., Sapozhnikova L. B. Modelirovanie lyufta elektroprivoda v programmnoy srede NI Multisim pri upravlenii skorostyu dvizheniya [Modeling of electric drive backlash in the software environment NI multisim when controlling the speed of movement]. *Elektronnyye informatsionnyye sistemy* [Electronic Information Systems], 2015, no. 2, pp. 19–31.
12. Serov V. A. Uglovoy skrebkovyy konveer prokhodchesko-ochistnogo kompleksa [Angular scraper conveyor of the tunneling and cleaning complex]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2000, pp. 205–206.
13. *Tekhnologiya sinkhronizirovannoy mekhanizatsii: povyshenie proizvoditelnosti dobychi uglja* [Technology of synchronized mechanization: increasing the productivity of coal mining]. NSCL, July 17, 2017. Available at: <http://nsc.l.vn/cong-nghe-co-gioi-hoa-dong-bo-nang-cao-nang-suat-khai-thac-than/> (accessed 20.04.2020).
14. Cenacewicz K., Katunin A. Modeling and simulation of longwall scraper conveyor considering operational faults. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 2016, vol. 38, pp. 15–27.
15. Hieu L. D., Temkin I. O. Application of PSO and Bacterial Foraging Optimization to Speed Control PMSM Servo Systems. *2018 IEEE Seventh International Conference on Communications and Electronics (ICCE)*. Hue City, Vietnam, 2018, pp. 196–201.
16. Hieu L. D., Temkin I. O. Application of Adaptive PSO and Adaptive Fuzzy Logic Controllers to Speed Control PMSM Motor Servo Systems. *IEEE-ICMSC 2018-International Conference on Mechanical, System and Control Engineering*. Moscow, Russian Federation, 2018, pp. 1–8.
17. Lu E., Li W., Yang X., Xu S. Composite sliding mode control of a permanent magnet direct-driven system for a mining scraper conveyor. *IEEE Acces.*, 2017, vol. 5, pp. 22399–22408.
18. Lu E., Li W., Yang X., Xu S. Simulation study on speed control of permanent magnet direct-driven system for mining scraper conveyor. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, 2018, vol. 10, pp. 1–11.

DOI 10.21672/2074-1707.2020.50.2.022-032
УДК 004.81

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ АКТИВНОСТИ ПОКУПАТЕЛЕЙ В МАГАЗИНЕ С МОДУЛЯМИ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ЕГО СОТРУДНИКОВ¹

Статья получена редакцией 26.02.2020, в окончательном варианте – 05.06.2020.

Розалиев Владимир Леонидович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, кандидат технических наук, доцент, ORCID 0000-0002-7372-8364, e-mail: vladimir.rozaliev@gmail.com

Заболеева-Зотова Алла Викторовна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, доктор технических наук, профессор, ORCID 0000-0003-1918-667X, e-mail: zabzot@gmail.com

Орлова Юлия Александровна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, доктор технических наук, доцент, ORCID 0000-0003-4854-7462, e-mail: yulia.orlova@gmail.com

Ульев Андрей Дмитриевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, магистрант, e-mail: ulyev-ad@yandex.ru

Алексеев Алексей Владимирович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, аспирант, e-mail: alekseev.yeskela@gmail.com

В статье представлен метод автоматического распознавания изображений продавцов-консультантов на основе каскада нейросетей и уточняющих алгоритмов, а также рассмотрены методы контроля поведения продавца-консультанта. Описана технология захвата и ведения покупателя между камерами, а также способы интеграции в программный продукт системы идентификации личности для возможной работы с уникальными предпочтениями покупателя, такими как: история покупок, формирование интересных товаров, добавление покупателя в «черный список» и т.д. Кроме того, в статье представлены средства определения уровня взаимодействия продавца-консультанта с покупателем магазина, способные в автоматическом режиме дать оценку качеству оказания услуг продавцом. Проведен краткий обзор систем с похожими функциональными характеристиками. Представлено описание предлагаемой методики, показаны полученные результаты и пути их улучшения.

Ключевые слова: нейронная сеть, искусственный интеллект, распознавание позы человека, мониторинг поведения

AUTOMATIC SYSTEM FOR MONITORING THE ACTIVITY OF CUSTOMERS IN THE STORE WITH MODULES FOR EVALUATING THE WORK OF THE STORE EMPLOYEE

The article was received by the editorial board on 26.02.2020, in the final version – 05.06.2020.

Rozaliev Vladimir L., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID 0000-0002-7372-8364, e-mail: vladimir.rozaliev@gmail.com

Zaboleeva-Zotova Alla V., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, ORCID 0000-0003-1918-667X, e-mail: zabzot@gmail.com

Orlova Yulia A., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID 0000-0003-4854-7462, e-mail: yulia.orlova@gmail.com

Ulyev Andrey D., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, master student, e-mail: ulyev-ad@yandex.ru

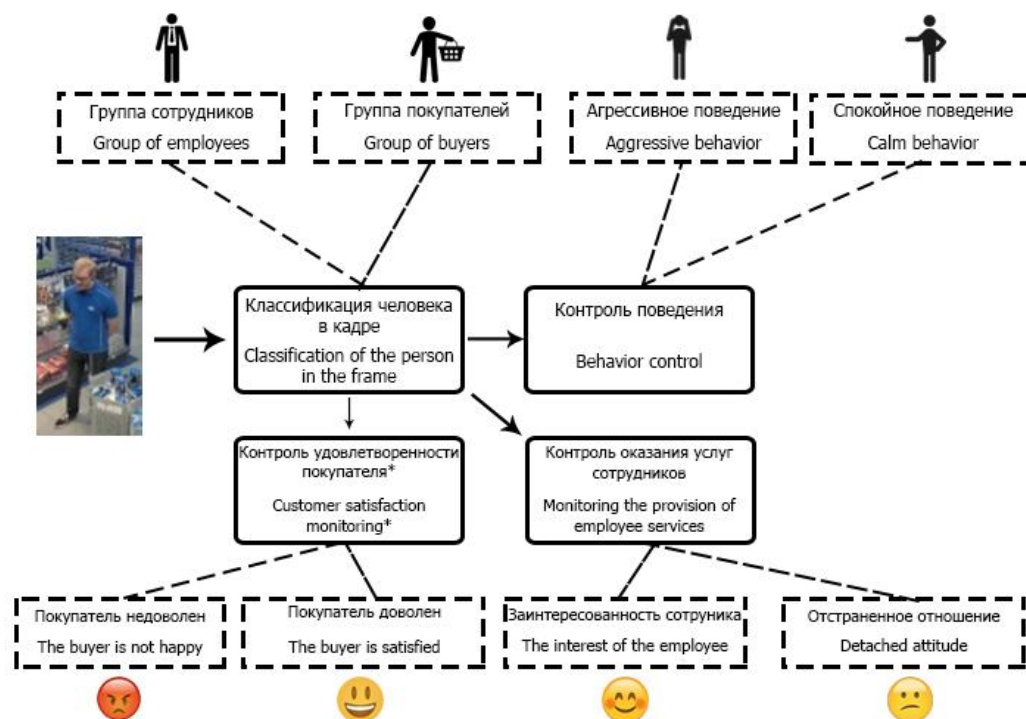
Alekseev Alexey V., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, postgraduate student, e-mail: alekseev.yeskela@gmail.com

¹ Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и администрации Волгоградской области (гранты 18-07-00220, 19-47-343001, 19-47-340003, 19-07-00020, 19-47-340009, 19-37-90060).

The article presents a method for automatic recognition of sales consultants based on a cascade of neural networks and clarifying algorithms, as well as methods for controlling the behavior of a sales consultant. The article describes the technology of capturing and leading the buyer between cameras, as well as ways to integrate an identity identification system into the software product for possible work with unique preferences of the buyer, such as: purchase history, formation of interesting products, adding the buyer to the "black list", etc. In addition, the article presents tools for determining the level of interaction between the seller-consultant and the buyer of the store, which can automatically assess the quality of services provided by the seller. A brief overview of systems with similar functional characteristics is given. The proposed method is described, the results obtained and ways to improve them are shown.

Keywords: neural network, artificial intelligence, recognition of human pose, behavior monitoring

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Современная эпоха характеризуется переходом от экономики производителей к экономике потребителей. В условиях ужесточения конкуренции в сфере торговли и оказания услуг особое значение приобретают клиентоориентированные сервисы.

Основной проблемой внедрения таких сервисов является человеческий фактор, контроль за которым проблематичен в связи с отсутствием готовых программных продуктов.

Обеспечение должного качества оказания услуг становится основной задачей рыночной стратегии развития бизнеса.

Для повышения качества обслуживания предлагается разработка и внедрение программного продукта для контроля за деятельностью продавцов-консультантов посредством анализа их работы с использованием оборудования для видеофиксации, а также для идентификации и анализа заинтересованности покупателя.

Работа программного продукта основана на алгоритме Pose Estimator [10], который позволяет определить позу человека [11]; на уточняющих алгоритмах; на использовании вспомогательных нейросетей, которые помогают идентифицировать покупателя и продавца-консультанта, а также определить качество оказываемых им услуг.

Предлагаемая методика. Для решения поставленной проблемы мы предлагаем использовать каскад из двух нейронных сетей, а также ряд методов и алгоритмов:

- быстрая нейронная сеть Fast Pose Estimator, обученная на архитектуре mobilenet;
- алгоритм стабилизации «ключевых» точек, позволяющий определить те точки туловища человека, которые не смогла распознать нейросеть;
- нейронная сеть для определения характера поведения продавца-консультанта и сотрудника магазина;
- алгоритмы отслеживания людей в кадре;
- библиотека «Face Recognition» для идентификации покупателей и продавцов.

На рисунке 1 представлена общая архитектура программы. «Модуль 1» (нейронная сеть для распознавания позы человека) запускается параллельно с «модулем 2» (нейронная сеть для идентификации покупателей и продавцов). После распознавания данные от «модуля 2» обрабатываются в «модуле 3» и передаются в «модуль 1».

В «модуле 1» последовательно вызываются метод 5 для стабилизации «ключевых точек» и метод 6 для распознавания сотрудника по внешнему виду. После чего последовательно вызывается метод для межкамерного трекинга, который получает данные из потока работы «модуля 3» для идентификации покупателя и сотрудника.

Затем «модули 4 и 8» запускаются параллельно.

Зеленым цветом на диаграмме выделены разработанные и успешно протестированные модули, красным цветом – модули, находящиеся в стадии проектирования.

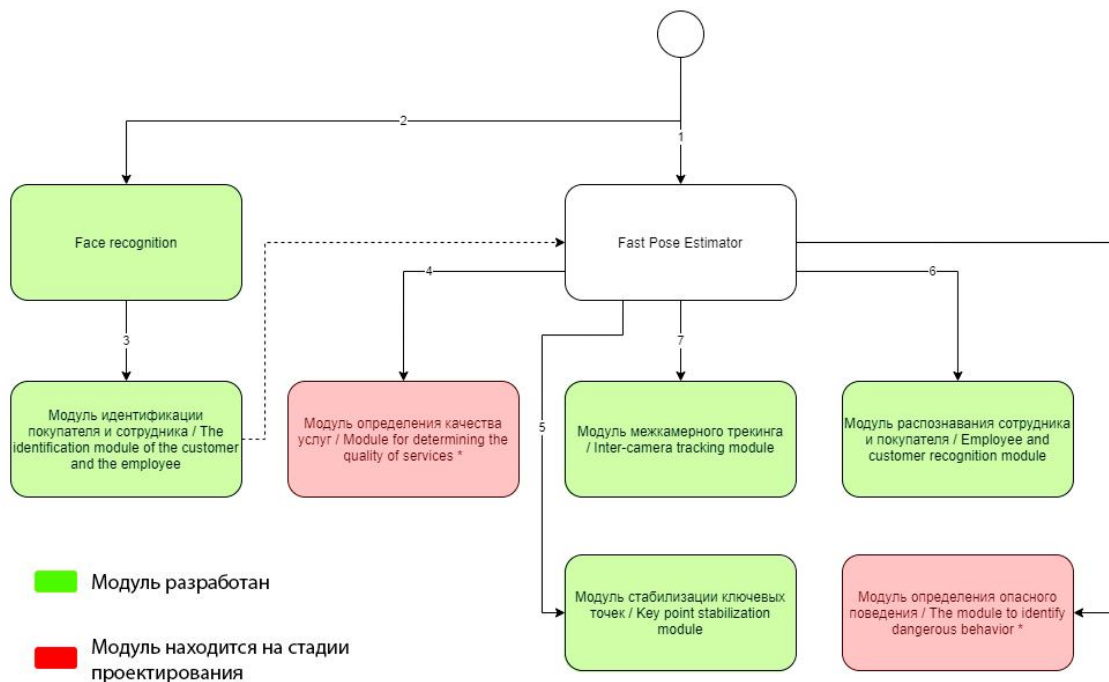


Рисунок 1 – Общая архитектура программы

Обзор аналогов. Стоит отметить, что готовых программных продуктов, позволяющих решить рассмотренные в этой статье проблемы автоматического распознавания сотрудника и покупателя, а также обеспечить видеоконтроль за качеством оказания услуг, нет. Аналогичные программные продукты выполняют лишь часть необходимых задач.

Простейшим примером интеллектуального видеонаблюдения является обнаружение движения и некоторого события в кадре. В 2000-х гг. появились первые системы видеоналитики, способные распознавать объекты и события в кадре. Большинство решений работают с технологиями распознавания лиц. Решения в этой области разрабатывают фирмы Apple, Facebook, Google, Intel, Microsoft и другие технологические гиганты. Системы видеонаблюдения с автоматической идентификацией пассажиров установлены в некоторых аэропортах США [1]. В Австралии разрабатывают биометрическую систему распознавания лиц и отпечатков пальцев в рамках программы, предназначенной для автоматизации паспортного и таможенного контроля. Есть интересный проект компании NTechLab [12]. Она показала систему, способную распознавать пол, возраст и эмоции в реальном времени, используя изображение с видеокamеры. Система может оценивать реакцию аудитории в реальном времени. Поэтому можно идентифицировать эмоции, которые посетители испытывают во время презентаций или трансляции рекламных сообщений. Все проекты NTechLab построены на самообучающихся нейронных сетях. В нашей системе на текущем этапе работы мы не используем данные о лице человека. Мы планируем внедрить эту часть в дальнейшей работе над проектом.

В других существующих системах используется функция отслеживания объектов – трекинг. Работа модулей отслеживания связана с работой детектора движения. Для построения траекторий движения выполняется последовательный анализ каждого кадра, на котором присутствуют движущиеся объекты. В общем случае несколько движущихся объектов могут присутствовать

в одном кадре. Поэтому программе необходимо не только создавать траектории, но и различать объекты и их перемещения. В простейшей реализации отслеживания рассматривается два кадра и строится траектория движения объекта. На начальном этапе отмечаются движения на текущем и предыдущем кадрах. Затем, с использованием анализа скорости, определяется направление движения объектов, а также их размеры, вероятности перехода объектов из одной точки траектории в другую точку. Наиболее вероятные движения назначаются каждому объекту и добавляются к траектории. Объекты в кадре могут двигаться по-разному: их траектории могут пересекаться, они могут исчезать и снова появиться. Программа создает графики – анализирует переходы объектов из одного состояния в другое. Чтобы понять, к какому объекту движется человек, анализируются скорости и направления движения, положение тела, цветовые характеристики объекта. В результате образуется множество наиболее вероятных перемещений объекта между кадрами, образующих траекторию. Мы используем этот подход в нашей системе.

В качестве аналогов может выступить работа с GPS-трекерами. Данные системы работают на основе использования геолокации. Для реализации данного решения необходимо каждого из сотрудников оснастить отдельными GPS-трекерами, данные с которых с некоторым интервалом времени будут поступать на сервер. Однако такое решение имеет ряд минусов.

1. Решение экономически затратное, поскольку необходимо закупить GPS-трекеры для всего персонала.

2. Нельзя исключать ситуацию, при которой продавец может отдать свой GPS-трекер напарнику, чтобы «обмануть» систему.

3. Такое решение не является универсальным. В то же время при идентификации продавцов-консультантов через камеру возможно расширить функционал, определять уровень и время взаимодействия продавца с покупателем и многое другое.

Также к аналогам относятся системы подсчета количества посетителей на видеопотоке [8, 14], позволяющие определять траектории движения посетителей. Данные системы также имеют ряд недостатков, главным из которых является невозможность определения продавцов-консультантов и качества оказываемых ими услуг. Пример работы таких продуктов представлен на рисунке 2.

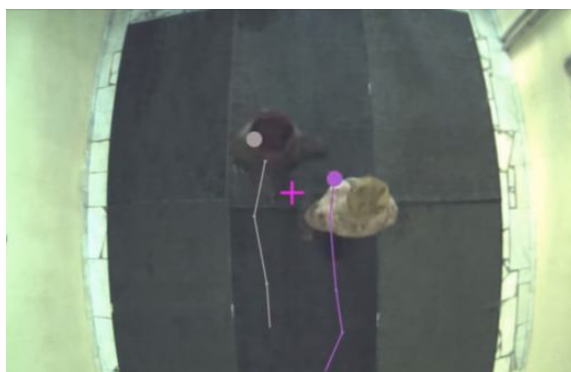


Рисунок 2 – Пример вывода траектории движения программы для подсчета количества посетителей

Итак, на текущий момент не существует единого программного средства, способного в полной мере осуществить слежение за сотрудниками магазина, оценить уровень их взаимодействия с покупателем, выявить «опасных» покупателей в магазине.

Разработанные и протестированные модули. Первый этап – использование нейросети «Fast Pose Estimation». Основной задачей этой нейронной сети является установление позы человека путем непараметрического представления, названного разработчиками Part Affinity Fields (PAFs), для дальнейшего определения местоположения униформы продавца консультанта (фирменная футболка, кепка и т.д.). Работа нейросети осуществляется на группе камер с разрешением от 360px, при этом входная камера для идентификации личности должна иметь разрешение 720px и более.

Главное преимущество нейросети заключается в высокой скорости работы. После разработки модуля в процессе тестирования нами было установлено, что один кадр обрабатывается за 1–2 секунды на GPU (вычисления производятся на видеокарте устройства) и 5–8 секунд на CPU (вычисления производятся на процессоре устройства). В качестве главного недостатка можно выделить уменьшение качества работы по сравнению с классической версией Pose Estimator.

Входными данными для алгоритма «Pose Estimator» является графическое изображение продавца-консультанта, на выходе – изображение с выделенными частями тела человека.

Модели позы человека CNN обычно состоят из нескольких повторяющихся «строительных блоков» с идентичной структурой. Среди них «Hourglass» являются одним из наиболее распространенных строительных блоков.

Разработчиками Pose Estimation была предложена архитектура CNN из 8-ми ступеней песочных часов, каждая из которых имеет 9 остаточных блоков с 256 каналами в каждом слое.

При тщательном эмпирическом исследовании разработчики неожиданно обнаружили, что половины числа этапов достаточно для достижения более 95 % способности обобщать модель в крупномасштабном тесте MPII. Кроме того, каналы для каждого слоя также считаются избыточными, а уменьшение половины их числа (128) приводит только к менее чем 1%-му падению производительности.

Основываясь на этом результате анализа, разработчики создали очень легкую архитектуру CNN для оценки позы всего с одной шестой вычислительной стоимостью исходного проекта.

Результат работы данной нейросети можно увидеть на рисунке 3.



Рисунок 3 – Пример результата работы нейросети Fast Pose Estimator с выделенными частями тела человека

Второй этап работы – алгоритм стабилизации «ключевых» точек туловища человека. Скелет человека строится от начальной точки, находящейся под горлом. Далее распознаются глаза, плечи и таз [7]. От плечей достраиваются руки, от точек таза – ноги, от глаз – уши. Таким образом, ключевой для построения является точка под горлом – далее будем называть ее начальной. Ввиду высокого качества работы, нейросеть способна определять позу человека в любом положении.

Необходимо определить доминирующий цвет футболки продавца. Для повышения качества работы предлагается следующий алгоритм нахождения недостающих «ключевых» точек, основанный на информации о структуре строения тела человека. Рассмотрим один из вариантов нахождения недостающей «ключевой» точки туловища.

Если было распознано только одно плечо человека, то второе плечо можно достроить. Алгоритм нахождения точки плеча: отложить равный отрезок от проекции начальной точки на нормаль точки найденного плеча в сторону «найденного плеча» с размером, равным размеру расстояния от проекции точки на нормаль точки найденного плеча до точки найденного плеча. На этапе тестирования разработанного модуля в общей архитектуре приложения было выявлено улучшение качества работы программы за счет использования этого алгоритма на 17 %.

Пример работы алгоритма стабилизации ключевых точек представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Пример нахождения отсутствующей точки второго плеча

Таким образом, используя информацию об анатомическом строении тела человека, можно определить примерное расположение недостающих точек плечей и таза. При наличии только начальной точки предлагается определять некоторую область фиксированного размера на туловище человека – путем отложения области ниже ключевой точки на N пикселей.

Третий этап – определение доминантного цвета на участке униформы. Основной задачей данного этапа является установление доминантного цвета на участке униформы человека для отнесения его в группу продавцов-консультантов. В рамках данного алгоритма на вход поступает изображение от «Fast Pose Estimator» с положениями «ключевых точек» частей тела человека. На основе них происходит выделение необходимого участка одежды человека [13, 15]. Пример работы модуля представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Выделение участка одежды продавца-консультанта

Для реализации определения доминантного цвета в установленной области можно использовать следующие методы: определение отношения принадлежности пикселя к заданному набору цветов и кластеризация методом k -средних [3]. В работе мы используем метод k -средних.

Обучение внешнему виду продавцов консультантов. Определить только лишь цвет одежды человека недостаточно для отнесения его к группе продавцов-консультантов. Необходимо учесть различные условия освещенности помещения в разное время суток, а также вероятность того, что в помещении могут быть освещенные и затемненные участки. Таким образом, распознанный цвет формы может варьироваться.

Для решения этой проблемы необходимо обучить систему всем возможным цветам, которые могут быть «считаны» с одежды продавца-консультанта.

Администратор системы в начале работы с программой должен запустить режим обучения. С его помощью устанавливаются преобладающие цвета униформы случайно движущегося по магазину продавца-консультанта, «воспринимаемые» видеокамерой.

На основе преобладающих цветов одежды продавца-консультанта формируется «средний доминирующий цвет». Он является опорной точкой в формировании цветового диапазона для отнесения человека к группе продавцов-консультантов. Цветовой диапазон формируется с учетом погрешности, установленной администратором, путем откладывания равных отрезков по векторам H , S , V в положительном и отрицательном направлениях. В процессе тестирования модуля качество работы (точность распознавания продавца-консультанта) составило 87 %.

Межкамерный трэкинг. Для контроля за перемещением сотрудников и клиентов в помещениях магазина предлагается использовать ряд алгоритмов и методов межкамерного слежения. Указанный модуль позволит «провести» человека «между кадрами» одной камеры, а также распознать человека, если он покинул зону видимости одной камеры и вошел в зону видимости другой камеры.

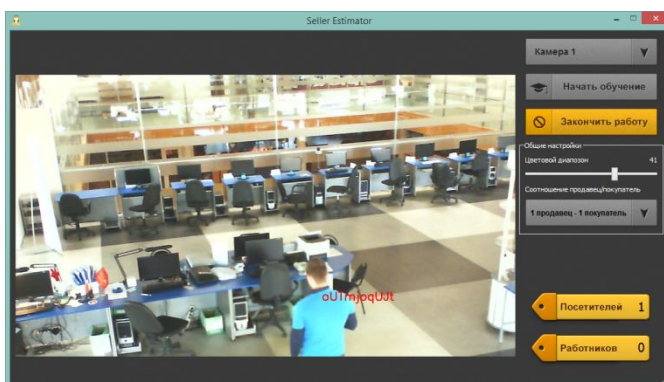
Отслеживание основано на данных, возвращаемых алгоритмом Pose Estimator на первом этапе, и данных, возвращаемых алгоритмами стабилизации «ключевых» точек на втором этапе. Таким образом, мы не применяем сторонние нейронные сети, не разрабатываем новые, а используем данные, полученные ранее от нейронной сети Fast Pose Estimator. Это позволяет значительно увеличить скорость работы программы.

Предлагается разделить площадь тела человека, полученную из алгоритма стабилизации «ключевых» точек, на пять равных областей, определить доминирующий цвет каждой области и сформировать цветовой диапазон (эти алгоритмы описаны на этапах 3 и 4, они используются повторно) [6]. Кроме того, Pose Estimator возвращает координаты точек и других частей тела. Однако ноги и руки не имеют сплошного контура, и двумерная область не может быть сформирована на основе двух точек

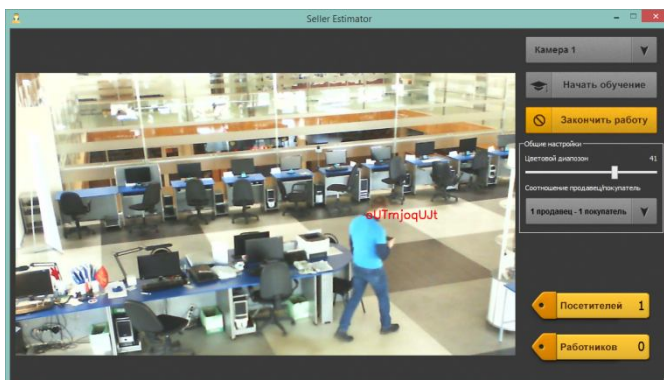
(левого верхнего и нижнего правого углов области). Поэтому предлагается сформировать небольшую область вокруг точки у горла из N пикселей. Мы использовали этот подход в алгоритме стабилизации «ключевых» точек на втором этапе. Для сформированных областей вокруг точки у горла также устанавливается доминирующий цвет и рассчитывается цветовой диапазон. После этого массиву с найденными цветовыми диапазонами присваивается ключ, идентифицирующий человека в кадре.

На этапе отслеживания области вокруг точки у горла действуют вышеупомянутые алгоритмы, один из которых теперь проверяет появление доминирующего цвета найденной области в ранее установленном цветовом диапазоне. В случае появления такой области (из 5-ти определенных областей), границы цветовой области уточняются для улучшения качества работы.

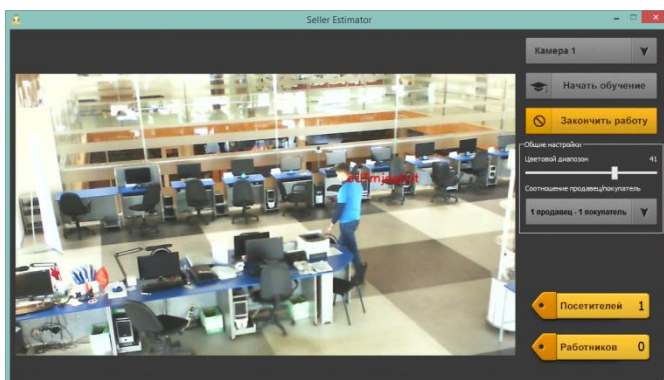
Если процент нахождения найденных областей в цветовом диапазоне превышает 50 % от общего количества областей для одного человека, то найденному человеку присваивается ключ, сгенерированный на первом этапе распознавания. Пример, демонстрирующий работоспособность модуля для отслеживания человека, можно увидеть на рисунке 6.



а



б



в

Рисунок 6 – Пример работы алгоритмов отслеживания человека (а, б, в)

Идентификация сотрудников и клиентов. Задача идентификации продавцов и покупателей довольно сложна из-за низкого качества изображений с видеокамер. Мы предлагаем ряд модулей и аппаратных средств для решения этой проблемы.

Предлагается на входе в магазин установить камеру с разрешением не менее 720рх, с помощью которой клиенты будут идентифицироваться по лицу с использованием библиотеки python “Face Recognition”. Эта библиотека проста в подключении и использовании, она включает в себя модули для поиска лица на изображении и распознавания лица по существующей базе. Таким образом, после первого посещения магазина клиент попадет в базу данных и будет идентифицироваться при каждом новом заходе в магазин. А контроль за его движением будет обеспечиваться межкамерным модулем слежения.

За полноту обрабатываемых данных отвечает фреймворк FastPoseEstimator как базовый модуль разрабатываемого приложения, ввиду чего полнота обрабатываемых данных составляет 96 %.

Для продавцов предлагается оборудовать «стартовую» точку в зале (например, при выходе из служебного помещения). В этой точке также будет располагаться камера 720рх, позволяющая идентифицировать сотрудника. Дальнейшее перемещение сотрудника будет контролироваться модулем межкамерного слежения. Модуль протестирован и успешно введен в работу.

На рисунке 7 представлен пример правильной работы программы, когда в кадре находится один сотрудник магазина в униформе (определено: посетителей – 0, работников – 1).

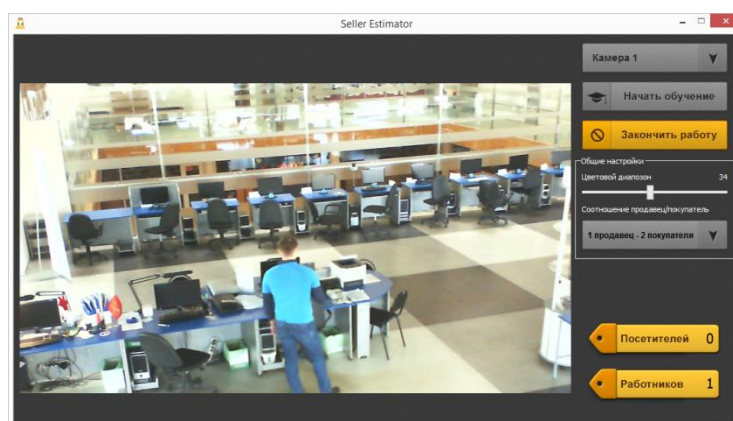


Рисунок 7 – Пример работы программы при распознавании сотрудника магазина

Модули, находящиеся на стадии проектирования. Анализ качества общения продавца с покупателями. После отнесения людей в кадре к группам покупателей и продавцов программа в автоматическом режиме контролирует качество оказываемых продавцами-консультантами услуг.

Для оценки качества коммуникации продавца [5] с клиентом предлагается использовать набор алгоритмов и каскад нейронных сетей.

Основной задачей этих алгоритмов является определение нахождения продавца рядом с покупателем, а также контроль за персонализацией обращения сотрудника к покупателю.

Для реализации контроля за персонализацией обращения сотрудника к покупателю предлагается определять «область обзора» людей, находящихся в кадре. Продавец-консультант всегда должен взаимодействовать с покупателем, находиться в области «обзора» покупателя и рассказывать о преимуществах товаров. Таким образом, для реализации задачи необходимо построить «область обзора» покупателя по данным о местонахождении его глаз и ушей, получаемых от Fast Pose Estimator. После этого определить сектор пересечения этих областей и «угол взаимодействия» покупателя с продавцом.

Если области не пересекаются или «угол взаимодействия» меньше, чем угол, установленный оператором программного продукта, то считается, что продавец находится рядом с покупателем, но никак с ним не взаимодействует. Примеры алгоритмов определения «области обзора» представлены на рисунке 8.

Для определения заинтересованности и эмоциональности продавца-консультанта при взаимодействии с покупателем предлагается использовать нейронные сети, определяющие указанные выше параметры по поведению продавца-консультанта: скорости движения рук, перемещению по магазину для сопровождения покупателя, движениям для демонстрации товаров и т.д. Кроме того, планируется использование отдельной нейросети от Microsoft [9], которая по выражению лица покупателя и его поведению будет определять его удовлетворенность услугами, оказываемыми продавцом-консультантом.

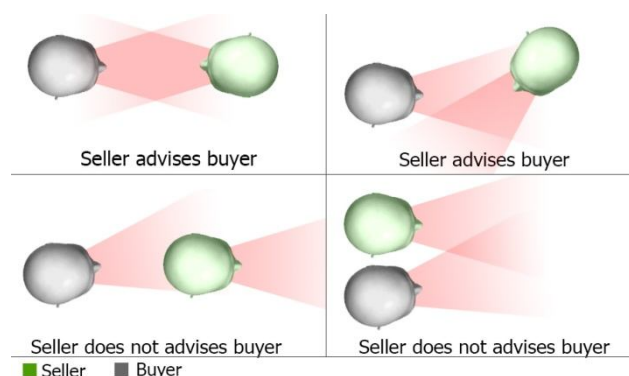


Рисунок 8 – Пример определения «области обзора» покупателя

Вывод о работе продавца магазина составляется на основе всех факторов, определяющих взаимодействие с покупателем. После чего в конце месяца рассчитывается оценка каждому продавцу, контактирующему с покупателями. Модуль находится на стадии проектирования.

Заключение. С целью усовершенствования технологического процесса детектирования продавца-консультанта возможна разработка дополнительного функционала.

Например, для более точного определения персонала возможен анализ сразу нескольких элементов униформы (например, желтая футболка и черные штаны). Кроме того, возможен поиск на униформе логотипов компании, нахождение которых позволит со значительно большей уверенностью определить человека как сотрудника магазина. При этом можно будет выделить именно продавцов-консультантов (или лиц, временно исполняющих эту роль), так как именно они контактируют в торговом зале с покупателями.

Еще одним фактором, позволяющим детектировать продавца, может служить определение поведения, характерного для продавца-консультанта, обслуживающего клиента. Для решения этой задачи нам понадобится создание еще одной нейронной сети.

Также возможно выявить дополнительные факторы, позволяющие определить качество работы продавца магазина, такие как представление товара покупателям, не остановившимся у стеллажа с товаром, а проходящих мимо него.

Кроме того, планируется реализовать возможность установки «мертвых зон» в программе. Данная функция позволит установить тип «не человек» для тех объектов, которые нейронная сеть Fast Pose Estimator определяет как людей. Данный функционал будет доступен администратору программы, который в ручном режиме сможет отмечать «мертвые зоны».

Таким образом, разрабатываемый программный продукт (сейчас реализован его прототип) позволит улучшить работу продавца-консультанта и, как следствие, приведет к улучшению клиентоориентированности бизнеса магазина.

Эта работа является продолжением работы [2, 4], где были рассмотрены особенности и возможности определения характерных жестов и их смысловых значений.

Библиографический список

1. БКТ. – Режим доступа: <https://cabling.ru/otraslevye-resheniya/videonablyudenie-v-aeroporte/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 31.03.2020).
2. Бобков А. С. Фазификация данных, описывающих движение человека / А. С. Бобков, В. Л. Розалиев // Открытые семантические технологии для проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2011) : материалы Международной научно-практической конференции (Минск, 10–12 февраля 2011 г.) – Минск, 2011. – С. 483–486.
3. Осипова Ю. А. Применение кластерного анализа методом k-средних для классификации текстов научной направленности / Ю. А. Осипова, Д. Н. Лавров // МСМ. – 2017. – №3 (43). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-klaster-nogo-analiza-metodom-k-srednih-dlya-klassifikatsii-tekstov-nauchnoy-napravlennosti>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.11.2018).
4. Розалиев В. Л. Определение движений и поз для идентификации эмоциональных реакций человека / В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова // 11-ая Международная конференция по распознаванию образов и анализу изображений: новые информационные технологии (PRIA-11-2013), Самара, 23–28 сентября 2013 г. : труды конференции. – Самара, 2013. – № 2. – С. 713–716.
5. Ульянова О. А. Психологические особенности продавцов-консультантов сетевого маркетинга / О. А. Ульянова // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия: Психология. – 2013. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/psihologicheskie-osobennosti-prodavtsov-konsultantov-setevogo-marketinga>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.11.2018).
6. Хорунжий М. Д. Метод количественной оценки цветов различий при восприятии цифровых изображений / М. Д. Хорунжий // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2008. – № 1. –

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-kolichestvennoy-otsenki-tsvetov-razlichiy-pri-vospriyatii-tsifrovyyh-izobrazheniy>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 03.11.2018).

7. Angjoo Kanazawa. End-to-end Recovery of Human Shape and Pose / Angjoo Kanazawa, Michael J. Black, David W. Jacobs, Jitendra Malik – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/321902575_End-to-end_Recovery_of_Human_Shape_and_Pose?discoverMore=1, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

8. Axis. – Режим доступа: https://www.axis.com/files/datasheet/ds_people_counter_t10098444_ru_1804.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 31.03.2020).

9. Azure Microsoft. – Режим доступа: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/cognitive-services/face/#demo>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 31.03.2020).

10. Cao Z. Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields / Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei & Y. Sheikh. – 2016. – Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/1611.08050>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

11. Insafutdinov E. Deepcut: A deeper, stronger, and faster multi-person pose estimation model / E. Insafutdinov, L. Pishchulin, B. Andres, M. Andriluka, and B. Schiele. – 2016. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1605.03170.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

12. NTechLab. – Режим доступа: <https://ntechlab.ru/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 09.03.2020).

13. Iqbal U. Multi-person pose estimation with local joint-to-person associations / U. Iqbal and J. Gall // ECCV Workshops, Crowd Understanding. – 2016. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1608.08526.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

14. Watcom. – Режим доступа: https://www.watcom.ru/products/sistema_podscheta_posetiteley/?utm_source=google&utm_medium=src&utm_campaign=%7Bcampaign_id%7D&utm_content=%7Bbad_id%7D&utm_term=%2Bвидеокамера%20%2Bподсчет%20%2Bпосетителей&gclid=Cj0KCQjw1Iv0BRDaARIsAGTWD1uK7s0Zfclt_HJ2WzP_NaLnp77xNvvaCKQcXzL4grFqR0RZTJaO40aAuU7EALw_wcB, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 31.03.2020).

15. Zhe Cao. Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields // Robotics Institute Carnegie Mellon University. – Pittsburgh, Pennsylvania, 2017. – Режим доступа: <http://www.ri.cmu.edu/wp-content/uploads/2017/04/thesis.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

References

1. BKT [BKT]. Available at: <https://cabling.ru/otraslevye-resheniya/videonablyudeniye-v-aeroporte/> (accessed 31.03.2020).

2. Bobkov A. S., Rozaliev V. L. Fazzifikatsiya dannykh, opisyvayushchikh dvizhenie cheloveka [Fuzzification of data describing the movement of a person]. *Otkrytye semanticheskie tekhnologii dlya proektirovaniya intellektualnykh sistem (OSTIS-2011): materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Open semantic technologies for the design of intelligent systems (OSTIS-2011): materials of International scientific technical conference (Minsk, Feb. 10–12, 2011)]. Minsk, 2011, pp. 483–486.

3. Osipova Yu., Lavrov D. *Primenenie klasterного analiza metodom k-srednikh dlya klassifikatsii tekstov nauchnoy napravlenosti* [Application of cluster analysis by k-means method for classification of scientific texts]. 2017. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-klasterного-analiza-metodom-k-srednih-dlya-klassefikatsii-tekstov-nauchnoy-napravlenosti>.

4. Rozaliev V. L., Orlova Yu. A. Opredelenie dvizheniy i pozy dlya identifikatsii emotsionalnykh reaktsiy cheloveka [Recognition of gesture and poses for the definition of human emotions]. *11-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya po raspoznavaniyu obrazov i analizu izobrazheniy: novye informatsionnye tekhnologii (PRIA-11-2013), Samara, 23–28 sentyabrya 2013 g.: trudy konferentsii* [11th International Conference of Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA11-2013), Samara, September 23–28, 2013: Conference Proceedings], 2013, vol. 2, pp. 713–716

5. Ulyanova O. *Psikhologicheskie osobennosti prodavtsov-konsultantov setevogo marketinga* [Psychological features of network marketing sales consultants]. 2012. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/psikhologicheskie-osobennosti-prodavtsov-konsultantov-setevogo-marketinga>.

6. Khorunzhiy M. D. Metod kolichestvennoy otsenki tsvetovykh razlichiy v vospriyatii tsifrovyykh izobrazheniy [The method of quantitative estimation of color differences in the perception of digital images.]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical herald of information technologies, mechanics and optics]. 2008. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-kolichestvennoy-otsenki-tsvetov-razlichiy-pri-vospriyatii-tsifrovyyh-izobrazheniy>.

7. Angjoo Kanazawa, Michael J. Black, David W. Jacobs, Jitendra Malik. *End-to-end Recovery of Human Shape and Pose*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/321902575_End-to-end_Recovery_of_Human_Shape_and_Pose?discoverMore=1

8. Axis. Available at: https://www.axis.com/files/datasheet/ds_people_counter_t10098444_ru_1804.pdf (accessed 31.03.2020).

9. Azure Microsoft. Available at: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/cognitive-services/face/#demo> (accessed 31.03.2020).

10. Cao Z., Simon T., Wei S.-E. & Sheikh Y. *Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields*. 2016. Available at: <http://arxiv.org/abs/1611.08050>.

11. Insafutdinov E., Pishchulin L., Andres B., Andriluka M. and B. Schiele. *Deepcut: A deeper, stronger, and faster multi-person pose estimation model*. 2016. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1605.03170.pdf>.

12. NTechLab. Available at: <https://ntechlab.ru/> (accessed 09.03.2020).
13. Iqbal U. and Gall J. Multi-person pose estimation with local joint-to-person associations. *ECCV Workshops, Crowd Understanding*. 2016. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1608.08526.pdf>.
14. Watcom. Available at: https://www.watcom.ru/products/sistema_podscheta_posetiteley/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=%7Bcampaign_id%7D&utm_content=%7Bad_id%7D&utm_term=%2Bвидеокамера%20%2Bподсчет%20%2Bпосетителей&gclid=Cj0KCQjwIv0BRDaARIsAGTWD1uK7s0Zfcft_HJ2Wzp_NaLnp77xNvvaCKQcXzL4grFqpR0RZTJaO40aAuU7EALw_wcB (accessed 31.03.2020).
15. Zhe Cao (2017). Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. *Robotics Institute Carnegie Mellon University*. Pittsburgh, Pennsylvania, 2017. Available at: <http://www.ri.cmu.edu/wp-content/uploads/2017/04/thesis.pdf>.

DOI 10.21672/2074-1707.2020.50.2.032-043

УДК 004.94

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ РУДНИКА ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Статья поступила в редакцию 01.05.2020, в окончательном варианте – 05.06.2020.

Подрезов Денис Рустамович, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, 4, соискатель, e-mail: dpodrezov81@rambler.ru

Содержания урана в пластово-инфильтрационных месторождениях достаточно низкое и составляет десятые и сотые доли процента. Такой тип месторождений целесообразно разрабатывать без извлечения руды на поверхность. Одним из эффективных способов добычи урана в таких месторождениях является подземное скважинное выщелачивание. Многие предприятия урановой отрасли, ведущие отработку месторождений данным способом, сталкиваются с проблемой несоответствия геологических и непосредственно вскрытых запасов металла на технологических добычных блоках. Такие несоответствия связаны прежде всего с результатами интерпретации геофизических данных. В свою очередь это затрудняет прогноз геолого-технологических параметров эксплуатационных объемов бурения скважин при вводе блоков в эксплуатацию; расходов материалов и реагентов на закисление и последующее выщелачивание. В работе проведен сравнительный анализ геофизических методов оценки запасов технологического блока рудника подземного скважинного выщелачивания урана. Рассмотрены методы ядерного геологического опробования и специфические геофизические методы определения параметров геологических запасов урановых руд, такие как гамма-каротаж и метод мгновенных нейтронов деления. Для данных методов определены специфические особенности статистической интерпретации получаемых данных и обоснованы причины систематических и случайных (по статистическим критериям) расхождений в параметрах рудных интервалов для различных классов руд и морфологических элементов рудной залежи. Установлено, что качество результатов каротажа удовлетворительное, а сами результаты обладают высокой степенью достоверности и могут быть использованы для количественной оценки коэффициента радиоактивного равновесия рудных интервалов. Показаны возможности формирования по статистической базе данных разведочных и технологических скважин регрессионных взаимосвязей коэффициента радиоактивного равновесия от среднего содержания радия в рудном интервале; определения на этой основе численных значений параметров рудных интервалов для мешковых и крыльевых элементов рудной залежи. Полученные результаты позволили провести статистическое моделирование и определить диапазоны коррекции мощности рудных интервалов для различных морфологических границ на основе выявления трендов графиков бортовых кондиций.

Ключевые слова: идентификация запасов, регрессионные взаимосвязи коэффициента радиоактивного равновесия, статистическое моделирование рудных интервалов, прирост запасов, ресурсный потенциал месторождения

METHODS AND MODELS OF IDENTIFICATION OF RESERVES OF TECHNOLOGICAL UNITS OF URANIUM WELL LEACHING MINE

The article was received by the editorial board on 01.05.2020, in the final version – 05.06.2020.

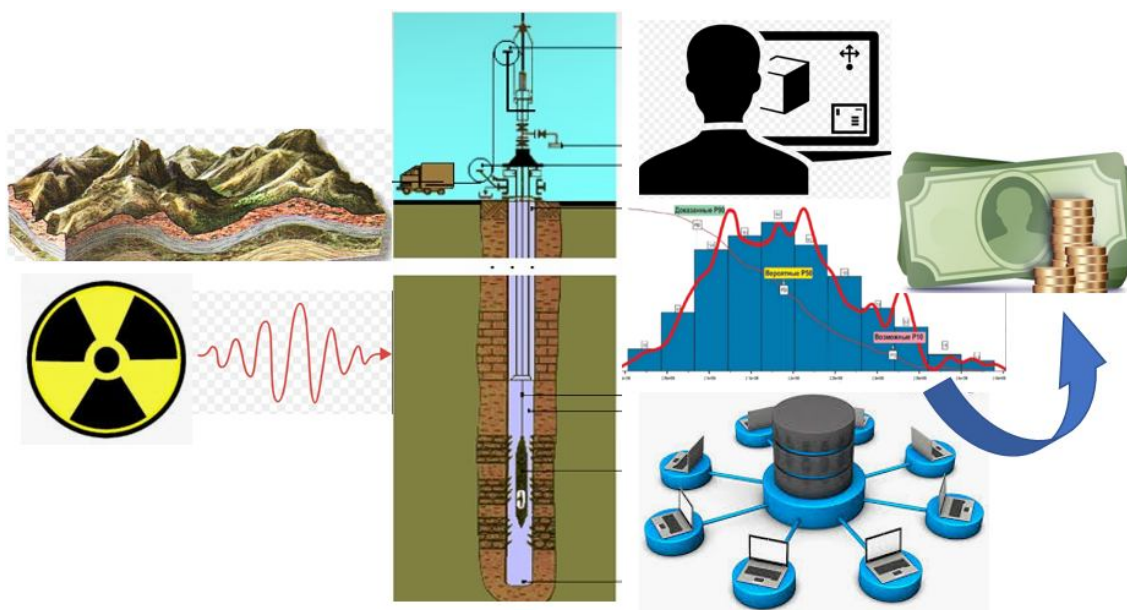
Podrezov Denis R., National University of Science and Technological “MISiS”, 4 Leninskiy Prospekt, Moscow, 119049, Russian Federation, applicant, e-mail: dpodrezov81@rambler.ru

Uranium content in formation and infiltration deposits is rather low and amounts to tenths and hundreds percent. This deposit type is advantageous to develop without extracting ore to the surface. One effective way to extract uranium in such fields is underground well leaching. Many uranium industry enterprises working in this way are faced with the geological mismatch problem and directly exposed metal reserves on process mining blocks. Such inconsistencies are primarily related to the geophysical data interpretation results. In turn, this makes it difficult to predict geological and technological parameters well drilling operational volumes during the units commissioning; materials consumption and

reagents for acidification and subsequent leaching. The work carried out a comparative analysis of underground well leaching uranium mine technological unit reserves estimating geophysical methods. Core geological testing methods and uranium ores geological reserves determining parameters specific geophysical methods, such as gamma logging and instantaneous fission neutrons method are considered. Obtained data statistical interpretation specific features are defined for these methods and systematic reasons and random (according to statistical criteria) discrepancies in ore intervals parameters for different ores classes and ore deposit morphological elements are justified. It has been found that the logging results quality is satisfactory and the results are highly reliable and can be used to quantify the ore intervals radioactive equilibrium coefficient. Themselves formation possibilities regression radioactive equilibrium coefficient relationships from radium average content in ore interval and ore intervals parameters numerical values determination for bag and ore deposit wing elements on this basis are shown according to statistical exploration database and technological wells. The obtained results made it possible to carry out statistical modeling and to determine ore intervals power correction ranges for different morphological boundaries on the on-board conditions graphs trends determination basis.

Keywords: inventory identification; radioactive equilibrium coefficient regression relationships; ore intervals statistical modeling; reserves increase, the deposit resource potential

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Урановые месторождения, пригодные для отработки методом подземного выщелачивания, относятся к экзогенным (образованным поверхностными процессами при участии воздуха, поверхностных или грунтовых вод) пластово-инфильтрационным (образовавшимся в результате отложения рудных веществ из водных растворов) месторождениям. Содержание урана в рудных телах в среднем 0,07–0,08 %, глубина залегания – от 300 до 700 м. Основные запасы локализируются в высокопроницаемых песчаных и гравийно-песчаных отложениях. Рудовмещающие водоносные горизонты обычно ограничены достаточно выдержанными по площади и мощности водупорами. Такие геологические условия предопределяют выбор экономически эффективного способа отработки таких типов месторождений – подземное скважинное выщелачивание. Однако технологико-экономические вопросы разработки таких месторождений в литературе исследованы слабо. Поэтому целью данной работы является попытка устранить указанный недостаток.

Общая характеристика предметной области. Процесс добыча урана состоит из следующих составляющих: подземное скважинное выщелачивания урана (ПСВУ) серноокислотными растворами на геотехнологическом полигоне скважин (ГТП); насосный раствороподъём продуктивных растворов из откачных скважин; сбор продуктивных растворов в технологических узлах приёма (УППР); транспортировка урансодержащих растворов по сборному коллектору в пескоотстойники продуктивных растворов (ПР) основной промышленной площадки рудника ПСВ; подкисление возвратных растворов в технологических узлах приготовления выщелачивающих растворов (УПВР) серной кислотой, подаваемой с расположенного на промышленной площадке рудника ПСВ склада; подача рабочих (выщелачивающих) растворов в закачные скважины добычных полигонов через узлы распределения (УРВР) (рис. 1–2).

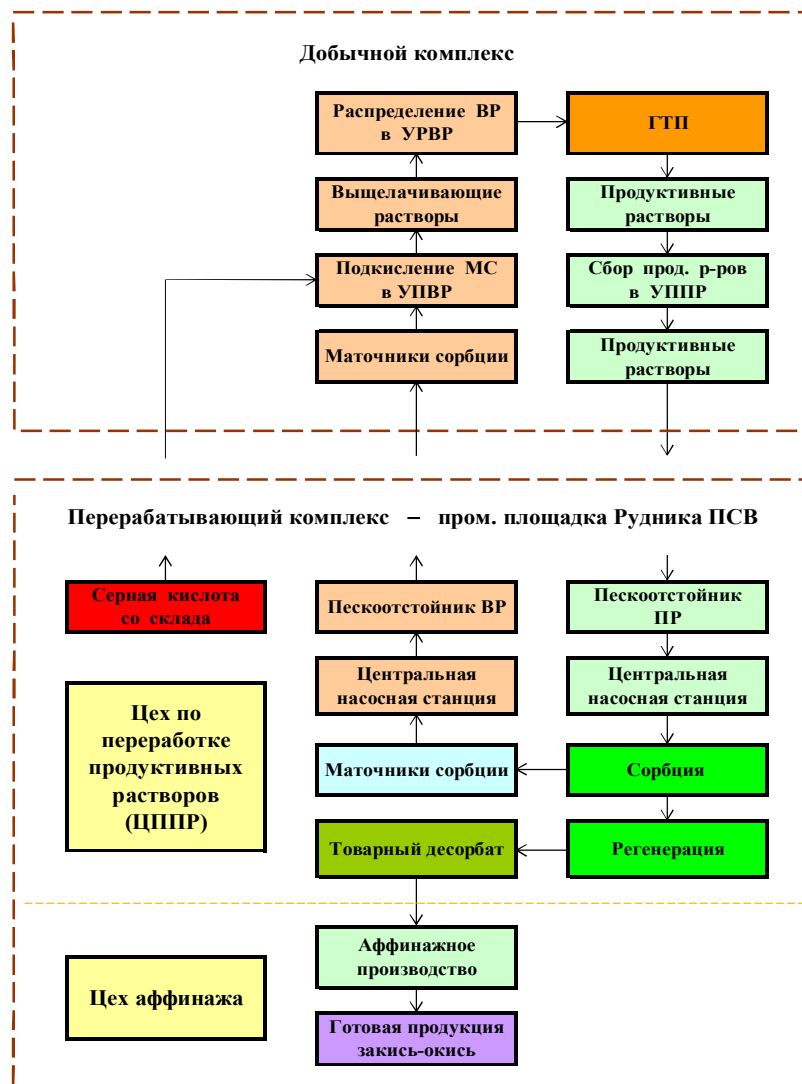


Рисунок 1– Укрупнённая технологическая схема промышленной отработки запасов урана на месторождении

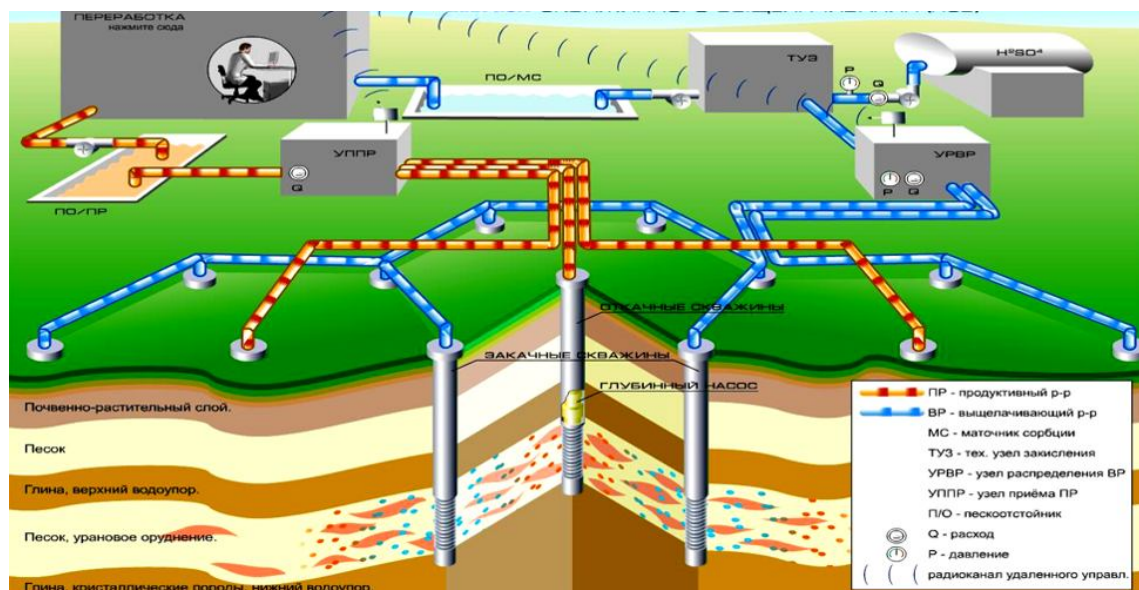


Рисунок 2 – Схема добычи урана способом подземного скважинного выщелачивания

Характеристика материалов исследования. Непосредственный подсчет вскрытых запасов на месторождении осуществляется исходя из следующих групп показателей: интервал эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта; показатели группировки технологических скважин; площадь технологического блока.

Использование геофизических методов для определения вышеуказанных показателей сопряжено с рядом специфических особенностей. При оценке мощности рудных интервалов и содержания в них металла на первом этапе определяют уровень сопряженного с ураном радия. Затем через коэффициент радиоактивного равновесия (K_{pp}) (отношение стандартного количества радия к стандартному количеству урана в природных рудах) производят пересчет искомых параметров.

Неоднородность морфологических элементов залежи приводит к значительным погрешностям в интерпретации геофизических данных и, как следствие, неточностям оценки вскрытых запасов металла на месторождении. Кроме того, возникают трудности в адекватном экономическом планировании и бюджетировании основных технико-экономических показателей отработки месторождения. В итоге в оперативном плане вышеперечисленные факторы могут стать причиной неадекватного снижения содержания урана в продуктивных растворах и, как следствие, падения объемов добычи; наличия проблем с выполнением производственных обязательств [2, 3].

Выявление причин и ведущих факторов системной недооценки запасов технологических блоков позволит уменьшить затраты на сооружение скважин путем реализации проектов подготовки месторождений с более редкой сетью скважин, используемых для вскрытия пласта. Данный показатель позволит оценить перспективность вовлечения в добычу остаточных рудных интервалов и/или скоплений захороненных растворов. Это повлечет за собой улучшение состояния минерально-сырьевой базы предприятия с соответствующим ростом капитализации компании.

Ниже мы рассмотрим данный спектр проблем, являющихся типовыми для пластово-инфильтрационных месторождений уранодобывающей отрасли промышленности на примере одного из крупных горнодобывающих предприятий. Оно отрабатывает месторождение урана способом подземного скважинного выщелачивания на юге Казахстана. На первом этапе исследования на уранодобывающем предприятии был проведен первичный анализ показателей вскрытия технологических блоков и выявлены перспективные рудные тела; намечены планы по их отработке и приросту запасов с применением существующей инфраструктуры [1].

Предлагаемые методы. Для определения показателей оценки запасов технологического блока при добыче методом ПСВУ используется несколько методов. Среди них необходимо выделить ядерное геологическое опробование (ГО), гамма-каротаж (ГК), метод мгновенных нейтронов деления (КНД-М) [5, 6].

Полученные и оцифрованные данные сводятся в единую базу для подсчета запасов. Она содержит следующие показатели: эффективная мощность закисляемого продуктивного горизонта (M_3 , м); средняя рудная мощность (m, м); среднее содержание урана в руде (с, %); средняя продуктивность рудного тела (m_U , кг/м²); площадь технологического блока ($S_{бл}$, тыс. м²); объем вскрытых запасов технологического блока (Q_3 , т).

Для определения специфических особенностей применения каждого из вышеуказанных методов с целью оценки запасов в данной статье представлены материалы сравнительно-сопоставительного анализа подходов, алгоритмов, а также качества и достоверности получаемых результатов.

Одной из задач настоящей работы является оценка возможности применения результатов КНД-М (каротаж методом мгновенных нейтронов деления) для уточнения качества и надежности коэффициента радиоактивного равновесия (K_{pp}), полученного при выполнении разведочных работ, и оценки полученных зависимостей K_{pp} от содержания радия в рудном интервале (РИ). Для решения данной задачи была выполнена оценка качества результатов каротажа КНД-М согласно основным положениям Инструкции [6] при ведении разведочных и горно-подготовительных работ.

Результаты и их обсуждение. Достоверность каротажа КНД-М может быть оценена сопоставлением с результатами определения параметров РИ по контрольному методу геологического опробования. Для решения задачи оценки достоверности КНД-М в сопоставлении с контрольным методом (геологическим опробованием) был проведен расчет данных с определением статистических характеристик достоверности результатов КНД-М по отношению к контрольному методу (ГО) (табл. 1). Приведенные в таблице результаты свидетельствуют о достоверности определения параметров РИ методом КНД-М: систематические расхождения в параметрах РИ отсутствуют, случайные расхождения не превышают допустимые. Расчетные значения t-статистики Стьюдента для мощности рудного интервала, метропроцента и содержания урана соответственно равны 1,55, 0,33 и 0,57. Метропроцент – это произведение мощности рудного интервала (м) на содержание в нем полезного компонента (%). Это меньше критического значения 2,02 для $P = 95\%$, а относительные расхождения средних величин для этих параметров не превышают 2%. Расчетные и критические значения параметров были определены по программе STATISTICA 10.0.

Таблица 1 – Оценка достоверности результатов КНД-М в сопоставлении с контрольным методом (геологическим опробованием)

Показатели сопоставления	ГО			КНД-М		
	m, м	Mc, м%	C, %	m, м	Mc, м%	C, %
Количество интервалов – 38						
Сумма	122,20	11,4089		119,70	11,2493	
Среднее значение	3,22	0,3002	0,0934	3,150	0,2960	0,0940
Значение t-статистики				1,55	0,33	0,57
Критическое значение $t_{кр}^{(1)}$ (при P = 95 %)				2,02	2,02	2,02
Случайное расхождение по мощности (Sm), м				0,189		
Относительное случайное расхождение по метропроценту (Smc), % отн.					24,8	
Случайное расхождение по Cu (Sm), %						0,0244
Относительные расхождения средних величин, %				-2,0	0,7	-1,4

На следующем этапе был произведен сравнительный анализ результатов ГК для всех технологических и разведочных скважин, по которым был выполнен каротаж КНД-М. Расчетные значения t-статистики Стьюдента гораздо выше критических. Пороговое для 99,9 % доверительной вероятности составляет 3,319. В то же время расчетные значения составляют 8,17 для мощности и 4,12 для метропроцента (табл. 2).

Таблица 2 – Оценка достоверности результатов КНД-М в сопоставлении с контрольным методом (гамма-каротаж)

Показатели сопоставления	ГК			КНД-М		
	m, м	Mc, м%	C, %	m, м	Mc, м%	C, %
Количество интервалов – 369						
Сумма	1053,4	76,97		1162	92,23	
Среднее значение	2,51	0,185	0,069	2,77	0,221	0,071
Значение t-статистики				8,17	4,12	1,81
Критическое значение $t_{кр}^{(1)}$ (при P = 99,9 %)				3,319	3,319	3,319
Случайное расхождение по мощности (Sm), м				0,33		
Относительное случайное расхождение по метропроценту (Smc), % отн.					25 %	
Случайное расхождение по Cu (Sm), %						0,021
Относительные расхождения средних величин, %				-9,34	-16,2	-2,5

Тем самым t-статистика показывает наличие статистически значимых расхождений в мощности РИ и в метропроценте между ГК и КНД-М. Так, по мощности имеет место занижение по результатам ГК на 9,34 %, по метропроценту – на 16,2 %. Сравнивая полученные результаты между ГК и КНД-М в технологических скважинах с результатами, полученными в разведочных скважинах между керновой аналитикой и ГК, мы видим сопоставимые величины существенного занижения метропроцента. Для исключения таких расхождений производилась корректировка базы данных КНД-М и формирование объединенной выборки по всем методам исследования.

С целью получения репрезентативных выборок для статистической оценки средних значений K_{pp} по результатам КНД-М и ГК в проницаемых рудах для мешков и крыльев месторождений было проведено объединение соответствующих выборок по разведочным и технологическим скважинам.

Идея создания данной выборки заключалась в объединении исходной БД с рассчитанным K_{pp} с данными КНД-М при геолого-разведочных работах и КНД-м при технологическом бурении.

Учитывая, что менее половины скважин, в которых выполнен КНД-М, были подвергнуты опробованию, на данном этапе включим в расчет K_{pp} только опробованные разведочные скважины и технологические скважины с КНД-М. Такое объединение позволит сформировать наиболее полную статистическую базу данных на основе имеющихся на месторождении сведений. Таким образом, из 32 разведочных скважин с КНД-М в статистической базе данных остается лишь 12. К ним добавляется 92 технологических скважины с КНД-М и 167 скважин с кернавой аналитикой. Таким образом, в исследуемой статистической выборке участвует 271 скважина с 833 рудными интервалами (321 для мешков и 512 для крыльев месторождений соответственно).

Расчет статистических характеристик, характеризующих точность и достоверность итоговой оценки средних значений K_{pp} для различных морфологических элементов рудной залежи (мешки и крылья по рисунку 3) для скорректированной объединенной выборки приведен в виде итоговых результатов статистического анализа (табл. 3).

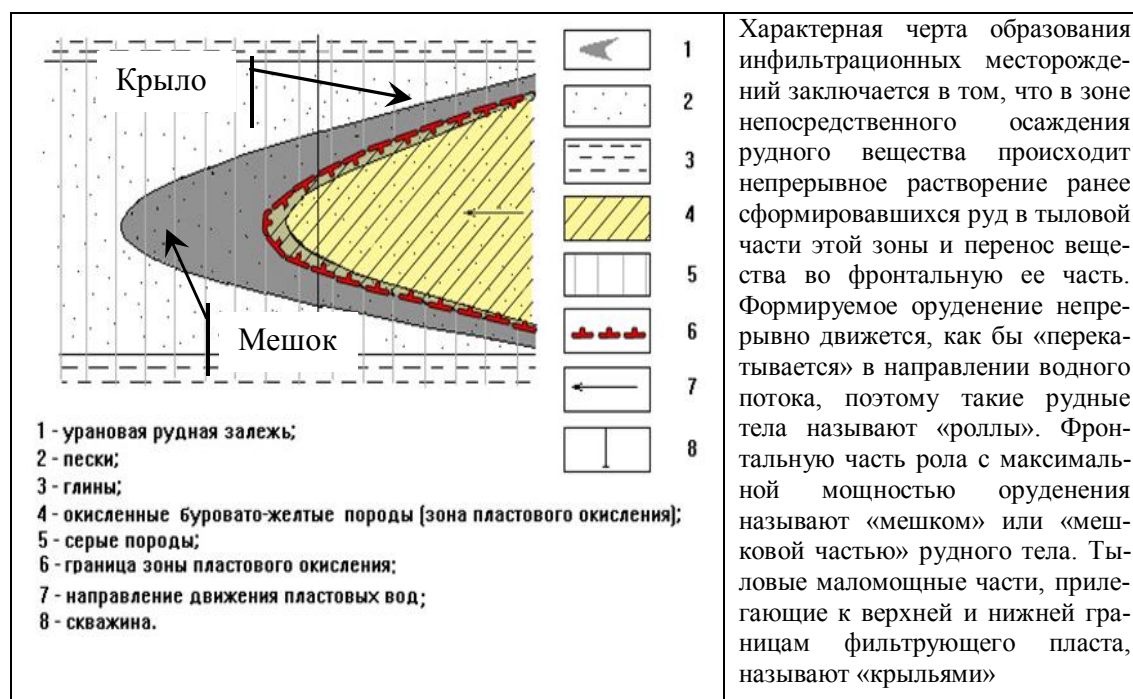


Рисунок 3 – Геохимическая зональность в пласте с рудной залежью роллового типа

Таблица 3 – Статистические характеристики полной объединенной выборки для оценки средних значений K_{pp} по данным каротажей КНД-М, ГК и ГО технологических и разведочных скважин

Статистическая характеристика	Для мешков	Для крыльев
Количество рудных интервалов	321	512
Среднее значение K_{pp} , отн. ед.	0,543	0,784
СКО для K_{pp} , отн. ед.	0,225	0,257
Погрешность среднего K_{pp} , отн. ед.	0,012	0,011
Относительная погрешность определения среднего K_{pp} (для $P = 95 \%$), % отн.	3,99	2,98
Расчетное значение критерия Смирнова	3,20	3,74
Критическое значение статистики Смирнова для $P = 95 \%$	3,61	3,75
Расчетные и критические значения параметров были определены с использованием программы STATISTICA 10.0		

Таким образом, обе объединенные выборки, представляющие из себя полную базу данных по K_{pp} , полученных различными методами (ГО, ГК и КНД-М), репрезентативны, однородны как по критерию Смирнова, так и по СКО. Среднее значение K_{pp} для выборки мешков составляет $0,543 \pm 0,012$; для выборки крыльев – $0,784 \pm 0,011$. Относительная погрешность определения среднего K_{pp} (для $P = 95 \%$) составляет 3,99 % для мешков и 2,98 % для крыльев. Рекомендованное значение относительной погрешности для достоверно определенной средней оценки K_{pp} составляет 5 % [6]. Полученные характеристики соответствуют основным инструктивным требованиям Инструкции по гамма-каротажу [5] в части точности определения средней оценки K_{pp} и требованиям к выборкам, предназначенным для определения средних оценок K_{pp} .

Таким образом, предложенный подход к оценке K_{pp} по геофизическим данным позволил существенно поднять представительность выборок и точность оценки K_{pp} для мешков и крыльев.

Статистическое моделирование мощности рудных интервалов. На следующем этапе было проведено статистическое моделирование мощности рудных интервалов в зависимости от характера морфологических границ на основе определения трендов графиков бортовых кондиций $cRa_{cp}/cRa_{борт}$. Они были построены на основании определения зависимости бортовой массовой доли радия на границах рудных (по урану) интервалов от средней массовой доли радия (рис. 4) [4]. Очевидно, что на границах бортовых кондиций мешковой и крыльевой части залежи зависимости, выражающие отношение среднего радия по борту 0,012 % к среднему радию в рудном интервале, весьма устойчивы, изменяясь от 0,01 cRa_{cp} до 0,06 (серая область на рисунке 4). Коэффициент достоверности аппроксимации для регрессионных уравнений достаточно велик и составляет 0,96 для крыльев и 0,99 для мешков соответственно.

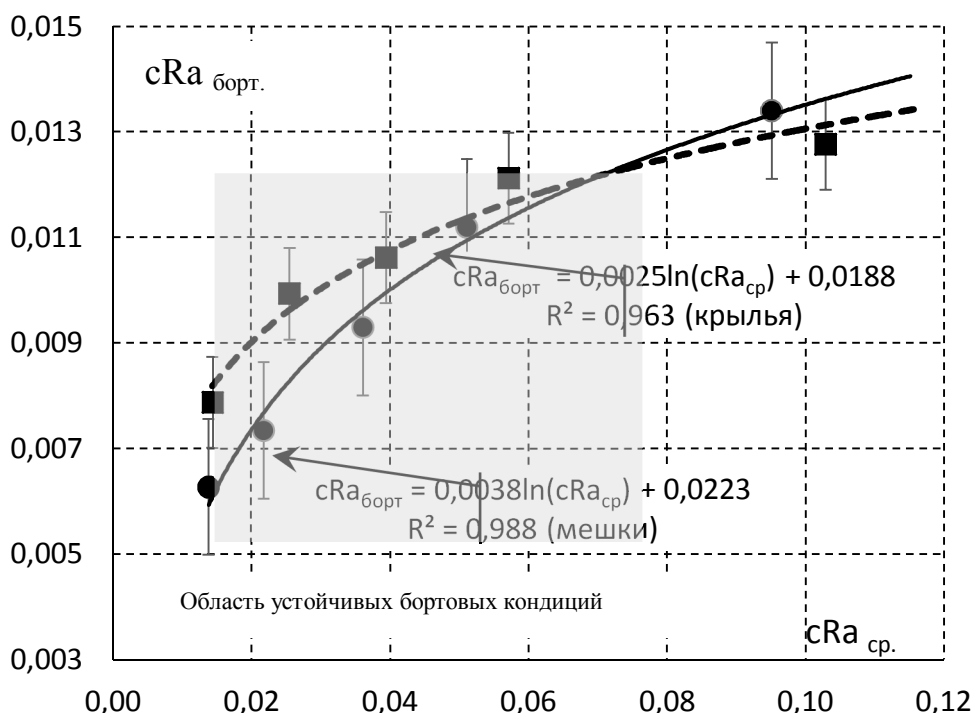


Рисунок 4 – Зависимости бортовой массовой доли радия на границах рудных (по урану) интервалов от средней массовой доли радия $cRa_{cp}/cRa_{борт}$ для мешков и крыльев

Таким образом, на основе анализа альтернативных регрессионных взаимосвязей и выбора зависимостей с максимальным коэффициентом достоверности аппроксимации получаем следующие логарифмические тренды $cRa_{cp}/cRa_{борт}$:

$$cRa_{борт} = 0,0038 \ln(cRa_{cp}) + 0,0223, R^2 = 0,988 \text{ (для мешков);} \quad (1)$$

$$cRa_{борт} = 0,0025 \ln(cRa_{cp}) + 0,0188, R^2 = 0,963 \text{ (для крыльев).} \quad (2)$$

Данные уравнения взаимосвязи $cRa_{борт} = f(cRa_{cp})$ целесообразно использовать для расчета границ рудных интервалов (рис. 4).

В итоге мы приходим к выводу о приемлемости приведенных разведочных зависимостей $cRa_{cp}/cRa_{борт}$ и о верности подсчета мощностей рудных интервалов на технологических блоках. Для всех технологических блоков рудника с переизвлечением (наличие на данный момент времени объемов добычи из технологического блока с уже погашенными запасами) был произведен аналогичный расчет мощностей по кривым $cRa_{cp}/cRa_{борт}$ и внесены соответствующие поправки в окончательный расчет средних параметров для подсчета запасов технологического блока.

На следующем этапе исследования было проведено статистическое моделирование коэффициента радиоактивного равновесия от среднего содержания радия для определения искомого содержания урана в рудном интервале [10] (рис. 5).

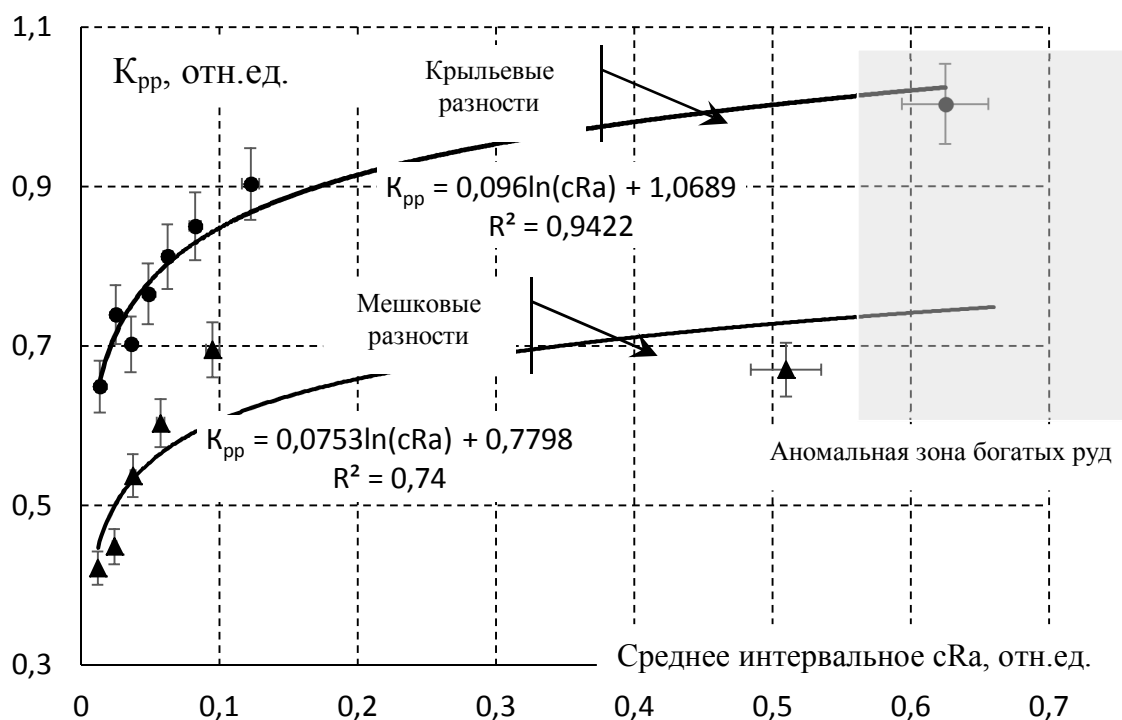


Рисунок 5 – Зависимость K_{pp} от среднего содержания радия (по данным объединенной статистической базы)

Причиной отклонений экстраполяционной кривой от фактических данных послужило наличие на месторождении участков (зон) богатых руд с аномально низкими средними значениями K_{pp} , которые изначально были отнесены к технологическому забалансу, $cRa = 0,51$, $K_{pp} = 0,67$ (для мешков) и $cRa = 0,63$, $K_{pp} = 1,0$ (для крыльев) – серая зона на рисунке 5. Такие рудные интервалы могут являться одним из дополнительных источников извлечения урана из недр. На основании данной гипотезы была проведена оценка прироста запасов за счет вовлечения таких рудных интервалов в процесс скважинного подземного выщелачивания для выборок мешков и крыльев.

Полученные зависимости будут использоваться как один из вариантов расчета рудных интервалов при подсчете запасов технологического блока, а проведенные исследования позволяют сделать вывод, что радиологические поправки нуждаются в корректировке.

Таким образом, для всех блоков с извлечением выше 100 % по отношению к прогнозному значению, либо с аномальным темпом извлечения проверяется интерпретация мощностей рудных интервалов и определяются области, нуждающиеся в корректировке по следующему алгоритму.

Этап 1. Определение рудных интервалов по кривой соотношения $cRa_{cp}/cRa_{борт}$. (выверяется мощность рудных интервалов путем проверки подсчитанного среднего содержания Ra в верхнем и нижнем контакте рудного интервала).

Этап 2. Определение K_{pp} по статистической зависимости отдельно для различных элементов рудной залежи (мешков и крыльев).

Этап 3. Расчет средних значений мощностей рудных интервалов и средневзвешенных содержаний урана в зависимости от полученного значения K_{pp} .

Этап 4. Расчет удельной продуктивности и подсчет запасов технологического блока рудника подземного скважинного выщелачивания [7–9].

Непосредственно моделирование (пересчет уровня радия – определение содержания урана – пересчет K_{pp} – определение мощности рудного интервала и метропроцента - расчет запасов технологического блока) прироста запасов технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана производится на основе полученных зависимостей K_{pp} от cRa . Для мешков:

$$K_{pp} = 0,0753\ln(cRa) + 0,7798, R^2 = 0,74, \quad (3)$$

при $cRa < 0,1$ %; $K_{pp} = 0,7$ при $cRa \geq 0,1$ %.

K_{pp} для крыльев принимается в виде зависимости от cRa по:

$$K_{pp} = 0,096\ln(cRa) + 1,0689, R^2 = 0,9422, \quad (4)$$

при $cRa < 0,12$ %; $K_{pp} = 0,96$ при $cRa \geq 0,12$ %.

Ориентируясь на такие ограничения, были смоделированы основные параметры подсчета запасов технологических блоков. Следует отметить, что применение данных зависимостей позволя-

ет рассчитывать рудные интервалы с параметрами, определяющими запасы блоков, более адекватными по извлечению, нежели запасы, оцененные предприятием.

Таким образом, в результате моделирования были получены значения прироста (относительно расчетных данных предприятия при фиксированных значениях K_{pp}) вскрытых запасов (3804 т). Это на 15,6 % больше, чем по первоначальным оценкам предприятия (рис. 6). При этом среднее и стандартное отклонение для извлечения урана составляет $78,54 \pm 13,3\%$, а максимальное значение по модели не превышает 91,3 % (рис. 7).



Технологические блоки месторождения

Рисунок 6 – Результаты моделирования прироста запасов технологических блоков месторождения

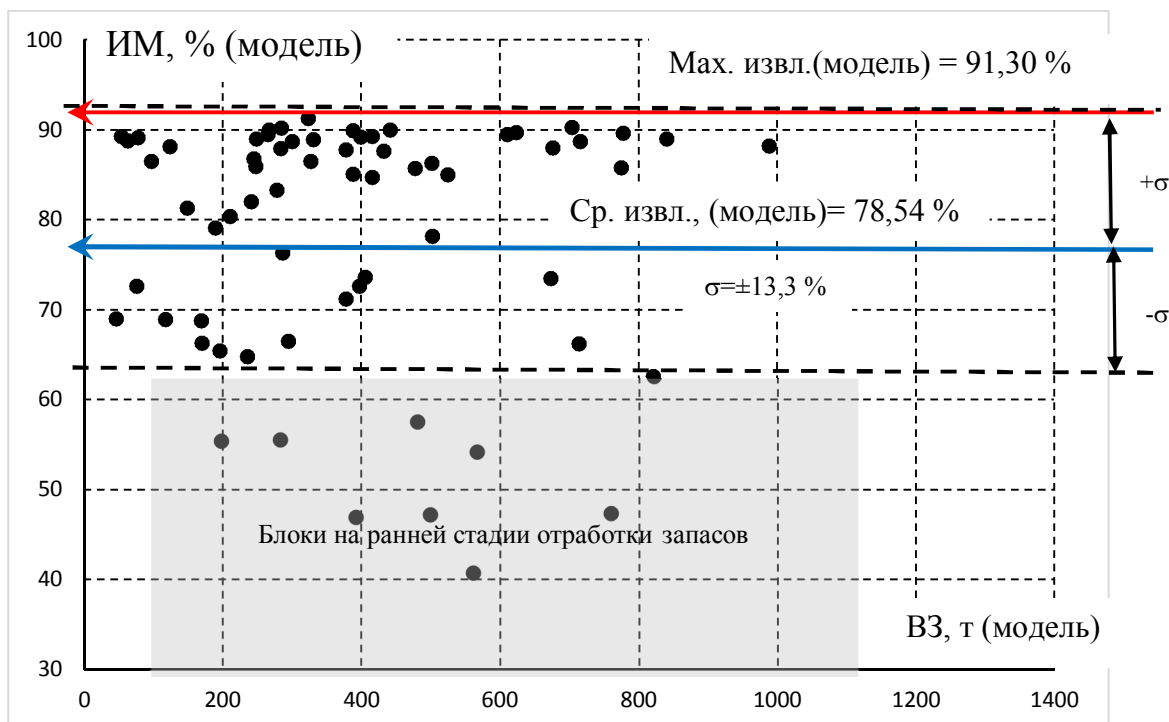


Рисунок 7 – Извлечение металла (ИМ, %) из вскрытых запасов (ВЗ, т) по технологическим блокам месторождения по результатам моделирования (среднее значение извлечения металла ($ИМ_{ср.знач} = 78,54\%$), стандартное отклонение для извлечения металла составляет ($\sigma = \pm 13,3\%$), $ИМ_{max} = 91,3\%$)

Проведенный по результатам моделирования анализ соотношения ГРМ и вскрытых запасов месторождения позволил получить значимую регрессионную взаимосвязь между коэффициентом вскрытых запасов, численно равным

$$(K_{вз} = (1 - (ГРМ - ВЗ) / ГРМ) * 100 \%), \quad (5)$$

и вскрытыми запасами месторождения по результатам моделирования (рис. 8).

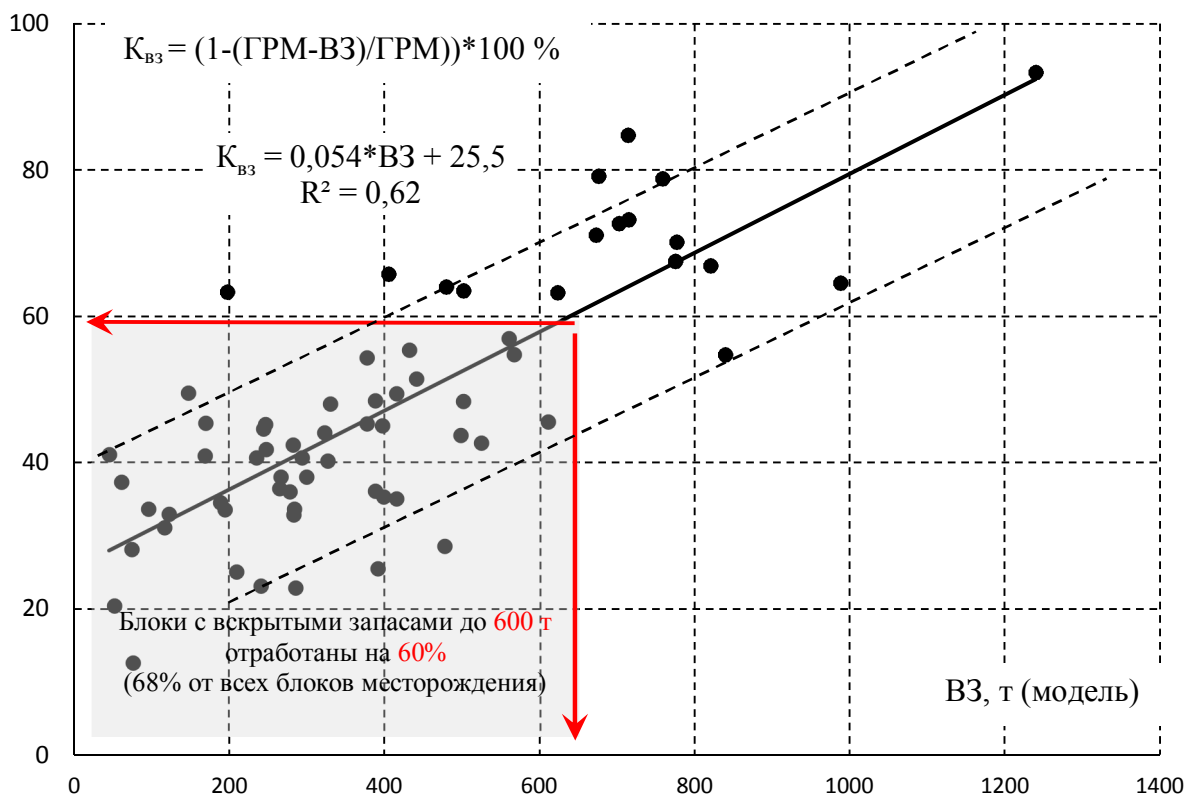


Рисунок 8 – Ресурсный «потенциал» ($K_{вз}$ – коэффициент отработки вскрытых запасов) месторождения по данным моделирования вскрытых запасов технологических блоков

Было выявлено, что 68 % всех технологических блоков отработаны не более чем на 60 % с вскрытыми запасами, не превышающими 600 т. Это соотношение еще раз подтверждает наличие значительного ресурсного «потенциала» в отработке технологических блоков месторождения в отношении промышленных запасов урана (рис. 8).

Заключение. Таким образом, выполненные исследования позволили получить новые результаты переоценки ресурсного потенциала технологического блока с одновременным обоснованным прогнозом остаточных запасов урана в эксплуатируемых и вскрываемых блоках; снизить затраты на бурение на стадии горно-подготовительных работ за счет изменения сетки скважин и использования более редкой сети вскрытия; снизить потребность в электроэнергии за счет снижения количества единиц скважинного насосного оборудования; оптимизировать количество используемой серной кислоты. В целом это позволило повысить качество прогнозирования и планирования производственных показателей, обеспечить успешное выполнение производственной программы добычи урана.

Выводы. 1. Проведен сравнительно-сопоставительный анализ методов оценки запасов технологического блока, таких как керновое геологическое опробование, гамма-каротаж, метод мгновенных нейтронов деления, и определены специфические особенности статистической интерпретации полученных данных. Были выявлены систематические и случайные (по статистическим критериям) расхождения в параметрах рудных интервалов для различных классов руд и морфологических элементов. Установлено, что качество каротажа КНД-М удовлетворительное. Результаты КНД-М обладают достаточно высокой степенью достоверности и могут быть использованы для количественной оценки K_{pp} рудных интервалов.

2. На основе сформированной объединенной и скорректированной статистической базы данных по разведочным и технологическим скважинам были получены регрессионные взаимосвязи коэффициента радиоактивного равновесия от среднего содержания Ra и определены численные значения K_{pp} для мешковых и крыльевых элементов рудной залежи.

3. Проведено статистическое моделирование мощности рудных интервалов в зависимости от характера морфологических границ на основе определения трендов графиков бортовых кондиций $cRa_{cp}/cRa_{орт}$ и определена необходимость корректировки рудных мощностей на основании определения зависимости бортовой массовой доли радия на границах рудных (по урану) интервалов от средней массовой доли радия.

4. Разработан подход к интерпретации и пересчету запасов технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана. Его концепция заключается в определении основных причин переизвлечения запасов на месторождении, выявлении статистически значимых расхождений между результатами расчета рудных интервалов по ГК и контрольными методами, определении процента занижения результатов по ГК в зависимости от морфологии и/или от класса руд по содержанию, переинтерпретации морфологии (при необходимости) и расчете новых значений K_{pp} на основе максимально широкого набора данных, что позволит разработать предложения по оптимизации расходов на горно-подготовительные работы и непосредственно добычу.

5. Предлагаемый подход позволит переоценить ресурсный потенциал технологического блока с одновременным обоснованным прогнозом остаточных запасов урана в эксплуатируемых и вскрываемых блоках, снизить затраты на стадии горно-подготовительных работ, снизить потребность в электроэнергии, оптимизировать количество серной кислоты и в целом повысить качество прогнозирования и планирования производственных показателей с целью безусловного выполнения производственной программы добычи урана.

Библиографический список

1. Басов В. С. Выбор оптимальной схемы вскрытия месторождения геотехнологическими скважинами / В. С. Басов // Горный журнал. – 2006. – № 1. – С. 51–53.
2. Верхотуров А. Г. Интенсификация добычи урана при использовании комплекса обработки прифилтровых зон геотехнологических скважин / А. Г. Верхотуров, А. А. Сабигатулин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 7. – С. 13–20.
3. Голик В. И. Инновационные технологии добычи урана / В. И. Голик // Горный журнал. – 2009. – № 2. – С. 12–15.
4. Дементьев А. А. Компьютерная модель расчета технико-экономических показателей (на примере месторождений урана для разработки подземным выщелачиванием) / А. А. Дементьев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1999. – № 2. – С. 169–175.
5. Инструкция по гамма-каротажу на месторождениях урана (МИ-№ 115/210-(01.00250-2008)-2011). – СПб. : ФГУНПП «Геологоразведка», 2012. – 135 с.
6. Инструкция по каротажу методом мгновенных нейтронов деления при изучении урановых месторождений гидрогенного типа. – Ленинград : НПО «Рудгеофизика», 1985. – 63 с.
7. Рогов А. Е. К определению оптимального уровня извлечения урана при подземном скважинном выщелачивании / А. Е. Рогов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 9. – С. 119–121.
8. Рогов Е. И. Оптимизация подготовленных и готовых к выемке запасов на рудниках подземного скважинного выщелачивания урана / Е. И. Рогов, А. Е. Рогов, В. Г. Язиков, В. Л. Забазнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 4. – С. 149–150.
9. Шаталов В. В. Подземное выщелачивание урана и пути его совершенствования / В. В. Шаталов, М. И. Фазлуллин // Цветные металлы. – 2003. – № 4. – С. 35–39.
10. Шурыгин С. В. Влияние коэффициента радиоактивного равновесия на сортируемость руд радиометрическими методами / С. В. Шурыгин, В. А. Овсейчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 4. – С. 376–381.

References

1. Basov V. S. Vybory optimalnoy skkhemy vskrytiya mestorozhdeniya geotekhnologicheskimi skvazhinami [Selection optimal scheme field opening by geotechnological wells]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], 2006, no. 1, pp. 51–53.
2. Verkhoturov A. G., Sabigatulin A. A. Intensifikatsiya dobychi urana pri ispolzovanii kompleksa obrabotki prifiltrovnykh zon geotekhnologicheskikh skvazhin [Intensification of uranium mining using the geotechnological wells filter zones treatment complex]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2019, no. 7, pp. 13–20.
3. Golik V. I. Innovatsionnye tekhnologii dobychi urana [Innovative uranium mining technologies]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 2, pp. 12–15.
4. Dementev A. A. Kompyuternaya model rascheta tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley (na primere mestorozhdeniy urana dlya razrabotki podzemnym vyshchelachivaniem) [Technical and economic indicators calculation computer model (on the example uranium deposits for development by underground leaching)] *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 1999, no. 2, pp. 169–175.
5. *Instruktsiya po gamma-karotazhu na mestorozhdeniyakh urana (MI-№ 115/210-(01.00250-2008)-2011) FGUNPP «Geologorazvedka»* [Instruction on gamma-ray logging at uranium deposits (MI-№ 115/210-(01.00250-2008)-2011)]. St. Petersburg, FSUNPP “Geological Exploration”, 2012. 135 p.

6. *Instruktsiya po karotazhu metodom mgnovennykh neytronov deleniya pri izuchenii uranovykh mestorozhdeniy gidroennogo tipa* [Instruction on instantaneous fission neutron logging in the hydrogen uranium deposits study]. Leningrad, NPO «Rudgeofizika» Publ., 1985. 63 p.

7. Rogov A. E. K opredeleniyu optimalnogo urovnya izvlecheniya urana pri podzemnom skvazhinnom vyshchelachivaniy [To determine the uranium extraction optimal level in underground well leaching]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2003, no. 9, pp. 119–121.

8. Rogov E. I., Rogov A. E., Zabaznov V. L., Yazikov V. G Optimizatsiya podgotovlennykh i gotovykh k vyemke zapasov na rudnikakh podzemnogo skvazhinного vyshchelachivaniya urana [Optimization of prepared and ready-to-excavate reserves at uranium]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], no. 4, pp. 149–150.

9. Shatalov V. V., Fazlullin M. I. Podzemnoe vyshchelachivanie urana i puti ego sovershenstvovaniya [Underground leaching of uranium and ways its improvement]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous Metals], 2003, no. 4, pp. 35–39.

10. Shurygin S. V., Ovseychuk V. A. Vliyaniye koeffitsienta radioaktivnogo ravnovesiya na sortiruemost rud radiometricheskimi metodami [Effect of the radioactive equilibrium coefficient on the sortability ores by radiometric methods]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2016, no. 4, pp. 376–381.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.9 +378.4

РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЦИФРОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Статья поступила в редакцию 06.02.2020, в окончательной варианте – 09.05.2020.

Старыгина Светлана Дмитриевна, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, кандидат педагогических наук, доцент, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3401-6452>, РИНЦ AuthorID 237000, e-mail: svetacd_kazan@mail.ru

Нуриев Наиль Кашипович, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9557-5493>, РИНЦ AuthorID 527783, e-mail: nurievnk@mail.ru

Печеный Евгений Абрамович, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, кандидат технических наук, доцент, РИНЦ AuthorID 408103, e-mail: platova51@mail.ru

В работе показано, что в связи с информационной глобализацией пространство жизнедеятельности человека с двумя степенями свободы постепенно преобразовалось в пространство с тремя степенями свободы. Это привело к самозарождению общества нового типа с «цифровой экономикой» и, как следствие, к необходимости проектирования дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями. Такие системы проектируются на основе инженерного подхода в рамках «дидактической инженерии» как современной методологии организации деятельности по решению педагогических (дидактических) проблем в цифровом формате. Подчеркнуто, что «цифровое» решение педагогических проблем осуществляется на основе системного анализа и метода поэтапного моделирования синхронно с динамикой изменения экономических систем. В статье обосновано, что на базе вербально-знаковых методологических моделей «дидактики» («проблемного обучения», «развивающего обучения», «контекстного обучения»), а также специально построенных моделей, может быть разработана методологическая модель-платформа для проектирования класса автоматизированных, SMART, киберфизических дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями.

Ключевые слова: цифровые технологии, дидактическая инженерия, методология, временные ряды, псевдофазовое пространство жизнедеятельности

PLATFORM DEVELOPMENT FOR THE DESIGN OF EDUCATIONAL SYSTEMS WITH DIGITAL TECHNOLOGIES

The article was received by the editorial board on 06.02.2020, in the final version – 09.05.2020.

Starygina Svetlana D., Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Cand. Sci (Pedagogy), Associate Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3401-6452>, RISC AuthorID 237000, e-mail: svetacd_kazan@mail.ru

Nuriev Nail K., Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Doct. Sci. (Pedagogy), Cand. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Informatics and Applied Mathematics, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9557-5493>, RISC AuthorID 527783, e-mail: nurievnk@mail.ru

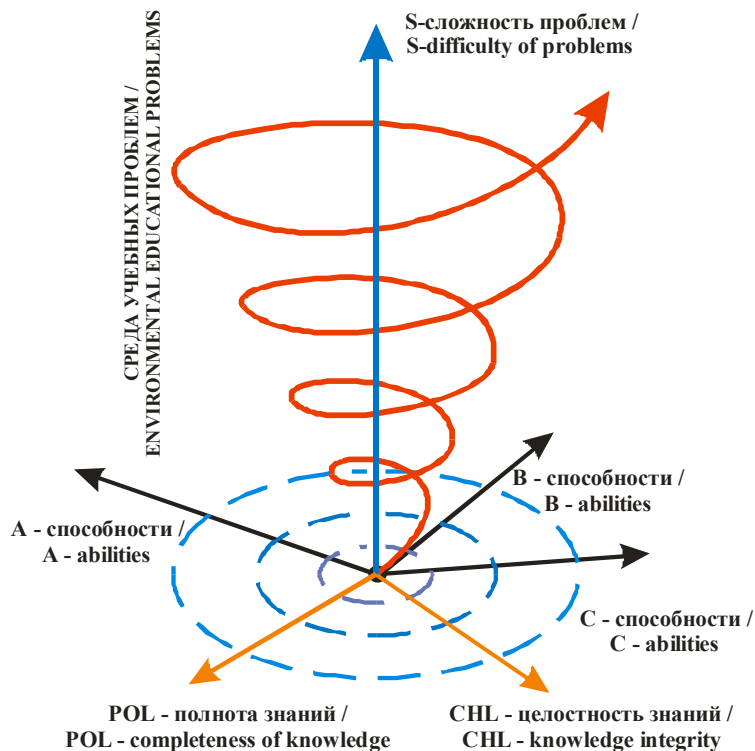
Pecheny Eugene A., Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, RISC AuthorID 408103, e-mail: platova51@mail.ru

The paper shows that due to information globalization, the space of human activity with two degrees of freedom has been transformed into a space with three degrees of freedom. This led to the self-emergence of a new type of society with a "digital economy" and, as a result, to the need to design a new generation of didactic systems with digital technologies. It is also shown that didactic systems of a new generation are designed on the basis of an engineering approach within the framework of "didactic engineering" as a modern methodology for organizing activities

to solve pedagogical (didactic) problems in a digital format. It is shown that the "digital" solution of pedagogical problems occurs on the basis of system analysis and the method of step-by-step modeling, synchronously with the dynamics of changes in economic systems. In the article, on the basis of verbal-iconic methodological models of "Didactics": "problem based learning", "developmental learning", "contextual learning" and specially designed digital models and the formal principles and basic laws of learning developed a methodological model for design class automated, smart, cyber-physical didactic systems of a new generation of digital technology.

Keywords: digital technologies, didactic engineering, methodology, time series, pseudophase space of life

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Все образовательные системы независимо от последовательности смены эпох преследуют одну и ту же цель – обеспечить необходимые знания и навыки деятельности населения с учетом объективно существующих ограничений на допустимые затраты средств и времени. Эта цель порождает основную педагогическую проблему, которую можно сформулировать так: как быстро научить людей эффективно решать проблемы своего времени. Разумеется, эта проблема при переходе от одной эпохи к другой, как правило, сильно усложняется пропорционально скорости развития экономики. Следует отметить, что образовательные системы разных стран обучают решать актуальные проблемы с разным успехом. В результате экономики некоторых стран начинают доминировать – за счет лучшей подготовленности кадров, научных достижений, высокой культуры организации труда, автоматизации производства. Такое доминирование может иметь место даже при отсутствии благоприятных природных условий, запасов полезных ископаемых и пр. В свою очередь, это ведет к повышению уровня жизни населения и процветанию государств в целом. Поэтому со стратегической точки зрения можно утверждать, что эффективные образовательные системы являются одним из главных компонент механизма, «толкающего вперед» развитие цивилизации в целом и отдельных стран в частности.

Развитие постиндустриальной экономики с ее информационной глобализацией привели к тому, что пространство жизнедеятельности людей с двумя степенями свободы (когнитивная сфера, реальная среда) преобразовалось в пространство жизнедеятельности с тремя степенями свободы (дополнительно появилась виртуальная среда). Таким образом, стало возможным рассматривать виртуальную среду как организованное человеком средство производства и образования с цифровыми технологиями. В результате этого появились системы с новыми свойствами, основанными на технических средствах с программным обеспечением, связанные Web-коммуникациями и «искусственным интеллектом». Эти системы проникли во все сферы жизни как «интернет вещей» из техносферы, начали интенсивно внедряться через образовательные системы в быт и экономику как самостоятельные элементы. За рубежом «умные» объекты и «интернет вещей» коротко

назвали SMART-системами. Результаты их интеграции между собой и с человеческим разумом в пространстве жизнедеятельности с тремя степенями свободы назвали киберфизическими системами. В результате в этом пространстве жизнедеятельности сформировалась «цифровая постиндустриальная экономика» с большим потенциалом возможностей роста производительности труда. Это в целом увеличило показатели валового внутреннего продукта, а также «темпа жизни» общества. Все эти причины в совокупности потребовали от человека нового уровня «образованности», т.е. высокого уровня развития способностей и качества сформированности его знаний. Очевидно, что такие глобальные изменения в пространстве жизнедеятельности людей вызвали необходимость в создании дидактических систем нового поколения. Поэтому целью рассматриваемого исследования является: разработка методологической модели-платформы для проектирования «умных» автоматизированных дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями. При этом предполагается, что в среде этих систем можно будет быстро учить людей решать сложные проблемы в пространстве жизнедеятельности с «цифровой экономикой».

Решение педагогических проблем инженерными методами как причина и следствие экономического развития. Любая проблема воспринимается человеком как временно существующая проблемная ситуация. В силу разных причин он часто бывает нацелен оказать воздействие на эту проблемную ситуацию, т.е. целенаправленно ее изменить. Например, может возникнуть проблема, когда человек хочет что-то узнать, купить, построить, преобразовать, управлять каким-то объектом и т.д. На практике для решения проблемы, т.е. для достижения поставленной цели, у человека, как правило, на актуальный момент не хватает каких-то ресурсов. В первую очередь, может не доставать внутренних ресурсов. Под ними мы будем понимать тем или иным образом оцененные его знания, способности, волю, мотивы и т.д. Во-вторых, для решения проблемы может не хватать внешних ресурсов (временных, материальных, информационных, социальных и т.д.). Возможны и варианты, когда ресурсов первого и второго типа может не хватать одновременно и в разных сочетаниях. Очевидно, если ресурсов достаточно (или почти достаточно), то проблема формализуется в когнитивной сфере человека и через ее конкретизацию вырождается в комплекс задач конструирования планов (алгоритмов) решения этой проблемы. Затем в результате планомерной деятельности с использованием имеющихся ресурсов достигается цель, т.е. человек получает решение проблемы. Разумеется, чем сложнее проблема, тем для ее решения человеку понадобится потратить больше ресурсов. Поэтому человек по своей природе всегда нацелен на увеличение своих внутренних и внешних ресурсов, так как при наличии больших ресурсов он сможет решать более сложные проблемы. В то же время, какими бы большими ресурсами человек не обладал, всегда может появиться проблема такой сложности, что у него для ее решения не хватит ресурсов. Поэтому в принципе можно утверждать, что сложность проблемы и ресурсы человека всегда соизмеримы в его пространстве жизнедеятельности. Из истории развития живых организмов (особенно высокоразвитых) следует, что человек может быстро дополнить внутренние ресурсы через специально организованное обучение. Причем, чем эффективнее организовано обучение, тем быстрее дополняются его ресурсы. Исходя из этого, в разные эпохи неизменно возникает одна и та же потребность в организации быстрого и качественного обучения. Это, в свою очередь, порождает основную педагогическую проблему: «требуется разработать эффективную (у каждой эпохи – свои критерии эффективности) образовательную систему». Эту цепочку причинно-следственных связей процессов развития экономики, образования и науки можно продемонстрировать с помощью графической модели (рис. 1).

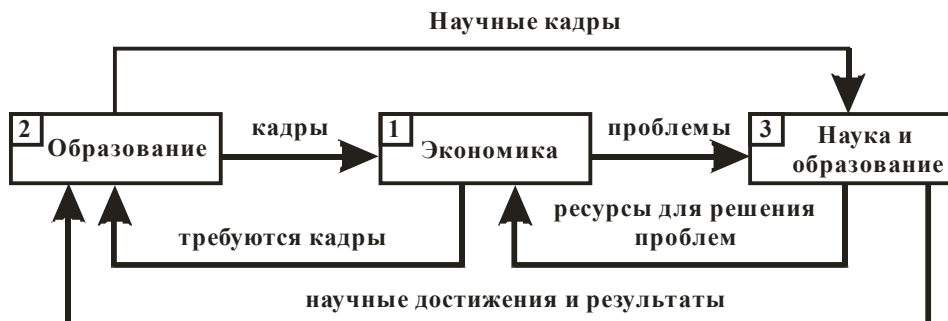


Рисунок 1 – Модель взаимосвязи процессов в пространстве жизнедеятельности общества

Согласно этой модели, причинно-следственная связь такая: экономике (блок 1) по мере ее роста требуются квалифицированные кадры. В результате этой потребности создаются образовательные центры (блок 2), организованные и финансируемые в разных форматах. В то же время

конкуренция за сбыт и доходы между организациями создает проблему необходимости внедрения научных результатов в производство с целью увеличения производительности труда. В свою очередь наука (блок 3), оснащенная образованными кадрами и техническими средствами, снабжает идеями и информационными ресурсами экономику и образование. Далее на разных уровнях развития экономики по спирали весь цикл повторяется.

В этой ситуации очевидно, что хотя в циклах изменения «экономических» эпох основная проблема педагогики не меняется по своей формулировке, но в то же время эта проблема усложняется в разы по содержанию. Поэтому для ее решения требуется использование все более «умных» технических средств автоматизации. Разумеется, когда-то в развитии наступает эпоха, когда «образовательные» науки, такие как педагогика, дидактика, педагогическая психология, уже не в состоянии решать без инженерии основную педагогическую проблему.

Из практики известно, что человек любые сложные проблемы (в том числе педагогические) всегда решает путем декомпозиции их на множество менее сложных проблем. Эта декомпозиция, как правило, делается на базе системного анализа. Он представляет собой методологию организации деятельности (исследований) по решению сложных проблем путем их декомпозиции и поиска решения через поэтапное моделирование [18]. Из анализа образовательных систем следует, что решение основной педагогической проблемы в разные эпохи экономического развития общества успешно заканчивалось (по критерию практической необходимости) на разных этапах метода поэтапного моделирования [6–9]. При этом для каждой эпохи разрабатывалась своя образовательная методологическая платформа (парадигма) для решения основной педагогической проблемы. Затем на базе этих парадигм уже строились конкретные педагогические методики, постепенно переросшие в автоматизированные дидактические системы с цифровыми технологиями. На рисунке 2 приводится модель изменения образовательных парадигм (платформ) в зависимости от изменения «экономических» эпох. Из динамики изменений следует, что в постиндустриальную эпоху обучение в конечном счете будет осуществляться на киберфизических образовательных системах. В настоящее время обучение уже частично реализуется на SMART-системах, «интернет вещей», а цифровые образовательные технологии нацелены на достижение компетентности через развитие логико-клипового мышления [1, 13].

Цифровые модели для решения основной педагогической проблемы инженерными методами. В результате системного анализа в предыдущем разделе было показано, что дидактическая инженерия как наука является продолжением классической дидактики – эпохи информационного развития общества. Таким образом, дидактические системы нового поколения [14, 16, 20, 21, 24] с цифровыми технологиями сформировались в ответ на вызовы нашей эпохи, включая всестороннюю информатизацию общества. Основную педагогическую проблему, адаптированную для нашей эпохи, можно сформулировать следующим образом: требуется построить «умные» дидактические системы нового поколения с цифровыми технологиями, способными в генерируемой ими образовательной среде на основе самоподготовки научить человека решать сложные проблемы из пространства жизнедеятельности с тремя степенями свободы.

Очевидно, что для решения этой педагогической проблемы необходимо привлечь все основные достижения педагогики, психологии, кибернетики, а также многих других наук. Бесспорно, за длительный исторический период своего развития педагогическая наука установила множество принципов и закономерностей для обеспечения эффективной подготовки людей по решению сложных проблем каждой эпохи. В качестве основных фундаментальных принципов, закономерностей и правил, соблюдение которых необходимо при организации любых эффективных обучающих систем, приведем следующие: **п1.** Обучение должно быть организовано с соблюдением принципа природосообразности Яна Коменского [8]. В нем утверждается, что при обучении человека необходимо учитывать его природные задатки (способности) и особенности. **п2.** Обучение эффективно только в «зоне ближайшего развития» (Л. С. Выготский [3]). Из этого следует, что учить человека следует исходя из актуального уровня развития его способностей и качества сформированности его знаний. **п3.** Обучение должно быть организовано «на высоком уровне трудности» (Л. В. Занков [7]). Из этого следует, что человек эффективно учится при решении трудных для него (субъективная оценка), но доступных для его уровня развития сложных (объективная оценка) проблем. **п4.** Обучение и управление развитием способностей должно быть организовано с соблюдением «закона необходимого разнообразия» (Ульям Эшби [15]). Из этого закона следует: во-первых, что изучение предметной области должно быть направлено не только в «глубину», но и «в ширину»; во-вторых, что уровень развития «управляющего» органа должен быть на порядок выше, чем у «управляемого».

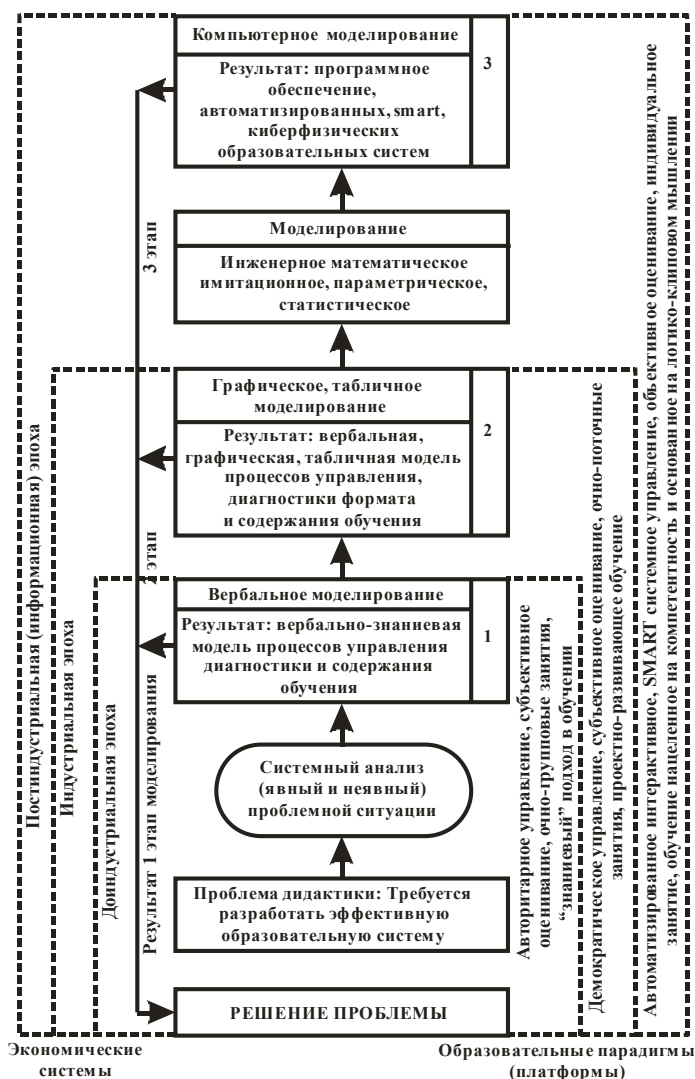


Рисунок 2 – Модель изменения образовательных платформ в зависимости от развития экономических систем

Кроме того, для организации эффективной подготовки по цифровой технологии должны обязательно соблюдаться два эвристических правила. **п5.** Оценка сложности учебных проблем должна быть «цифровой» и объективной. **п6.** Шкала качества «мыслительных умений» таксономии Блума, Беспально [2, 17] должна быть оцифрована.

Очевидно, что при проектировании дидактических систем нового поколения все эти принципы, закономерности и эвристические правила должны быть учтены и внедрены в формализованном виде как требования в проектируемые цифровые технологии.

Для построения дидактических систем нового поколения с учетом перечисленных принципов, закономерностей и правил требуется решить комплекс следующих основных задач:

1. Разработать цифровую модель показателя интеллектуального деятельностного потенциала (ИДП) человека.
2. Разработать цифровую модель развития ИДП человека в псевдофазовом пространстве его жизнедеятельности.
3. Формализовать закономерности проявления способностей в зависимости от знаний.
4. Формализовать закономерности преодолимости сложности проблемы в зависимости от ИДП человека.
5. Построить модель для оценки вероятности (шанса) случайного события «решить проблему».
6. Формализовать технику экспертной оценки показателя сложности проблемы в системе профессиональной трудности.
7. Формализовать технику экспертной оценки показателей качества сформированности знаний у конкретного человека.

8. Разработать методологическую модель-платформу для проектирования различных прототипов дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями.

Ниже мы рассмотрим эти пункты списка подробнее.

1. **Цифровая модель показателя ИДП человека.** В течение всей жизни люди вынуждены решать проблемы разного содержания и разной сложности. Поэтому человек с раннего детства вынужден учиться решать их эффективно. Исходя из этого, можно утверждать, что система образования любого государства нацелена на подготовку людей, способных решать актуальные проблемы большой сложности. Следует учесть, что каждый человек на актуальный момент времени с большой вероятностью способен решать проблемы только до определенного уровня сложности, который соответствует его природным данным и актуальному состоянию развития. В более ранних работах авторов [9–11] было показано, что успешность человека в решении проблем во многом зависит от сложности этих проблем и наличия внутренних (качества сформированности знаний, способностей) и внешних (информационных, материальных, временных) ресурсов. Поэтому для формального представления внутренних ресурсов требуется установить (идентифицировать) основные способности, необходимые человеку для успешного решения проблем; определить, какую роль в этом процессе играют его знания в области решаемых проблем. Следует отметить, что умение человека решить проблему той или иной сложности с достижением результата – это практическое проявление его способностей в определенной мере (данные статистических исследований не отрицают этот факт [10]). При этом мера возможности проявления его способностей в результате решения проблемы «модулируется» качеством сформированности его знаний в области решаемой проблемы [11].

По своей природе методологической основой для решения всех проблем у человека является системный анализ. В ряде работ [23–25] показано, что все люди решают проблемы одним и тем же способом, состоящим из трех укрупненных операций. **Операция А1** – формализация проблемы, т.е. человек в процессе анализа проблемной ситуации в своей когнитивной сфере строит образ (ментальную модель) проблемы. Затем, согласно цели, через «мыслительные умения», трансформирует проблему в задачу или в комплекс задач. **Операция В1** – конструирование плана решения задачи. Для этого человек на основе своих «мыслительных умений» с привлечением информационных ресурсов строит конструкт этого плана. **Операция С1** – исполнение плана в какой-то среде (когнитивной, виртуальной, реальной). Разумеется, для исполнения плана человек также использует свои «мыслительные умения» и другие ресурсы, которые необходимы для реализации этого плана. Таким образом, очевидно, что для успешного завершения каждой операции А1, В1, С1 при решении проблемы сложности S человек должен иметь соответственно способности определенного уровня развития: формализационные (А), конструктивные (В), исполнительские (С). Разумеется, при этом для решения любой проблемы уровень развития АВС способностей должен быть соизмерим со сложностью S, решаемой им проблемы. В целом методологическую модель для решения проблем сложности S можно представить в виде диаграммы SADT [10] (рис. 3).

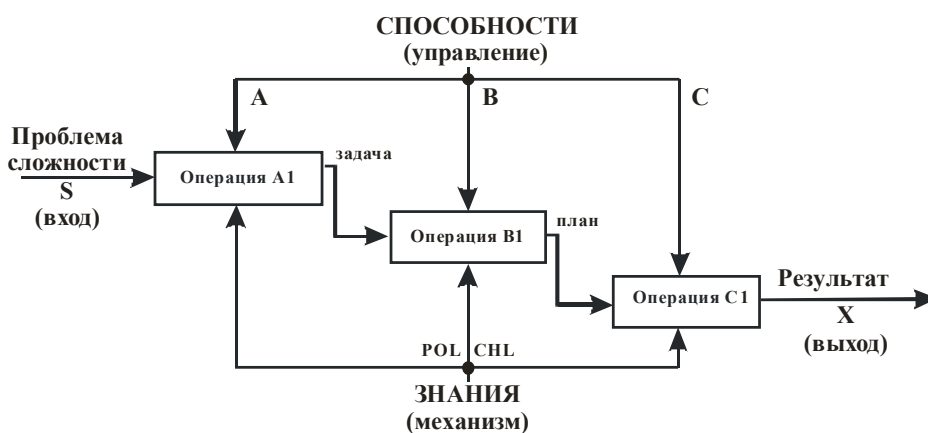


Рисунок 3 – Универсальная модель организации деятельности человека для решения проблем

Согласно методологии SADT, модель функционирует так: ВХОД преобразуется в ВЫХОД через УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОМ использования и обработки ресурсов. При этом на ВЫХОДЕ результат X будет случайным событием, т.е. может произойти одно из событий: человек решил проблему или нет. Значение вероятности случайного события X – «решил проблему» обозначим через P(X). Эту вероятность можно представить через неидентифицированный функционал F(*), т.е.

$$P(X) = F(A, B, C, POL, CHL, S),$$

где через A, B, C обозначены интегративные показатели, значения которых характеризуют уровни развития формализационных, конструктивных, исполнительских способностей человека, решающего проблему; POL, CHL – интегративные показатели, значения которых характеризуют качество полноты и целостности знаний человека в области решаемой им проблемы; S – интегративный показатель сложности, решаемой проблемы, значение которого оценивает эксперт (группа экспертов) через свою трудоемкость решения этой проблемы. Очевидно, что показатели A, B, C, POL, CHL с конкретными значениями на момент времени t , могут характеризовать ИДП любого человека. Этот потенциал формально запишем так:

$$POT(Y, T = t) = \{A(t) = a, B(t) = b, C(t) = c, POL(t) = pol, CHL(t) = chl\}.$$

Таким образом, ИДП любого человека Y на актуальный момент времени $T = t$ можно коротко представить как $POT(Y, T = t) = \{a, b, c, pol, chl\}$.

2. Цифровая модель развития ИДП человека в псевдофазовом пространстве жизнедеятельности. Для построения такой модели рассмотрим псевдофазовое пространство изменения характеристик A, B, C, POL, CHL (рис. 4). Это пространство является не фазовым, а псевдофазовым, так как показатели, характеризующие ИДП человека, являются зависимыми между собой.

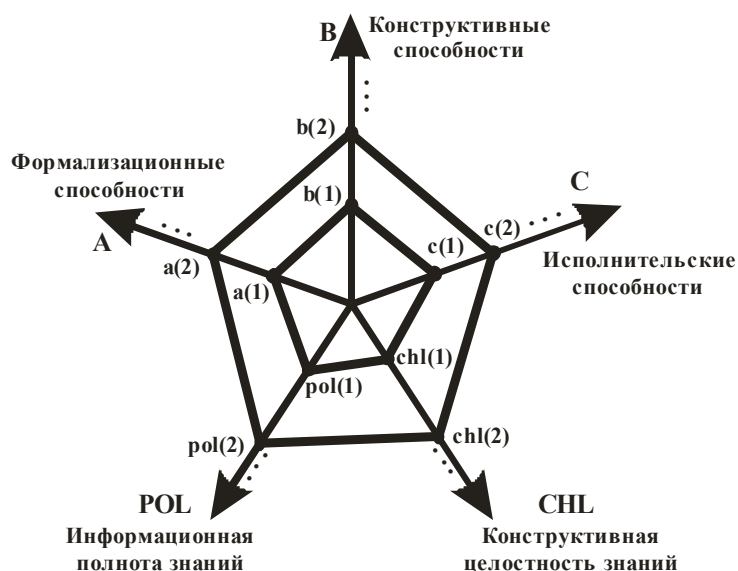


Рисунок 4 – Псевдофазовое пространство развития ИДП человека

Согласно этому рисунку, ИДП человека до момента t_1 (например, до начала его развития через обучение) был представлен значениями $POT(t_1) = (a(1), b(1), c(1), pol(1), chl(1))$. После целенаправленного развития, например, на момент времени t_2 , ИДП изменился и стал равным $POT(t_2) = (a(2), b(2), c(2), pol(2), chl(2))$. Из сказанного следует, что цифровая модель представления ИДП человека в псевдофазовом пространстве в разные моменты времени может быть формализована как математическая модель в виде пятимерного временного ряда (табл. 1).

Таблица 1 – Формализованная модель развития ИДП человека

	1	2	3	* ...	n
A	a(1)	a(2)	a(3)	a(*)...	a(n)
B	b(1)	b(2)	b(3)	b(*)...	b(n)
C	c(1)	c(2)	c(3)	c(*)...	c(n)
POL	pol(1)	pol(2)	pol(3)	pol(*)...	pol(n)
CHL	chl(1)	chl(2)	chl(3)	chl(*)...	chl(n)

В целом можно утверждать, что представление развития человека в виде временного ряда позволяет при проектировании дидактических систем с цифровыми технологиями решать многие задачи: **z1.** Задача представления в цифровом формате цели и критерия обучения (от какого состояния и до какого состояния развития необходимо научиться за требуемый срок). **z2.** Задачи прогнозирования развития на основании прошлых данных. **z3.** Задачи управления развитием на основе диагностических данных. **z4.** Задачи принятия «умных» решений при различных ситуациях подготовки, в том числе на основе использования «искусственного интеллекта» и т.д.

3. Закономерности проявления способностей в зависимости от знаний. В общем показателе ИДП человека (см. модель 1) на момент времени t , т.е. в показателе

$$POT(t) = (A(t), B(t), C(t), POL(t), CHL(t)),$$

можно выделить две группы характеристик. К первой группе $PK = (A = a, B = b, C = c)$ относятся проектно-конструктивные способности человека с их конкретными значениями. Ко второй группе $CZ = (POL = pol, CHL = chl)$ – характеристики качества сформированности его знаний, также с конкретными значениями. Из опыта человеческой деятельности по решению проблем следует, что все эти характеристики зависимы между собой, и в целом решить задачу пункта 3 на практике означает «установить между PK и CZ корреляционную связь». Для этого вычислим усредненные (среднегеометрические) значения характеристик PK, CZ и соответственно обозначим их через $PK1$ и $CZ1$, т.е.

$$PK1 = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c},$$

$$CZ1 = \sqrt{pol \cdot chl}.$$

Характеристику $PK1$ назовем показателем усредненного абсолютного уровня развития ABC способностей человека, а характеристику $CZ1$ – показателем усредненного качества сформированности его знаний. На практике в ходе эксперимента с участием студентов при достаточно представительной выборке (более 500 человек) было установлено, что значение коэффициента корреляции между этими усредненными показателями равно 0,91, т.е. $K(PK1, CZ1) = 0,91$. Проверка по критерию Фишера подтвердило его статистическую значимость с надежностью 95 %.

Из этого результата следует, что связь между этими характеристиками можно считать устойчивой и статистически значимой. Кроме того, на базе диаграммы SADT (рис. 5) эту связь можно представить графически, дополнив ее двумя шкалами отношений (шкала 1 и шкала 2). На шкале 1 отображаются значения $CZ1$ – показателя усредненного качества сформированности знаний человека в области решаемой проблемы (значение $CZ1$ изменяется от 0 до 1). На шкале 2 отображается только часть значений $PK1$, «усеченных» значением показателя $CZ1$. Для ясности рассмотрим пример. Пусть на рассматриваемый момент времени уровень развития проектно-конструктивных способностей человека (в условных единицах) следующий: $PK = (A = 5, B = 8, C = 3)$. Допустим, этот человек занимается решением проблем в двух областях деятельности (ОБ1, ОБ2). Пусть в области ОБ1 значения показателей качества сформированности его знаний следующие: $CZ = (POL = 0,9; CHL = 0,8)$. В области ОБ2 у него другие значения этих показателей: $CZ = (POL = 0,9; CHL = 0,5)$. Оценим возможности проявления ABC способностей человека при решении проблем в этих двух разных областях деятельности по следующему алгоритму: 1. Вычислим значение показателя усредненного абсолютного уровня развития ABC способностей: $PK1 = \sqrt[3]{5 \cdot 8 \cdot 3} = 4,93$. 2. Вычислим значение показателя качества сформированности знаний в области ОБ1: $CZ1 = \sqrt{0,9 \cdot 0,8} = 0,85$. 3. Вычислим значение показателя качества сформированности знаний в области ОБ2: $CZ1 = \sqrt{0,9 \cdot 0,4} = 0,6$. 4. Вычислим значение показателя усредненного относительного (усеченного) уровня развития ABC способностей для области ОБ1, которую обозначим через $PK2$: $PK2 = 0,85 \cdot 4,93 = 4,19$. 5. Вычислим значение показателя усредненного относительного уровня развития ABC способностей для области ОБ2: $PK2 = 0,6 \cdot 4,93 = 2,95$. На рисунке 5 приводится диаграмма SADT, дополненная двумя шкалами.

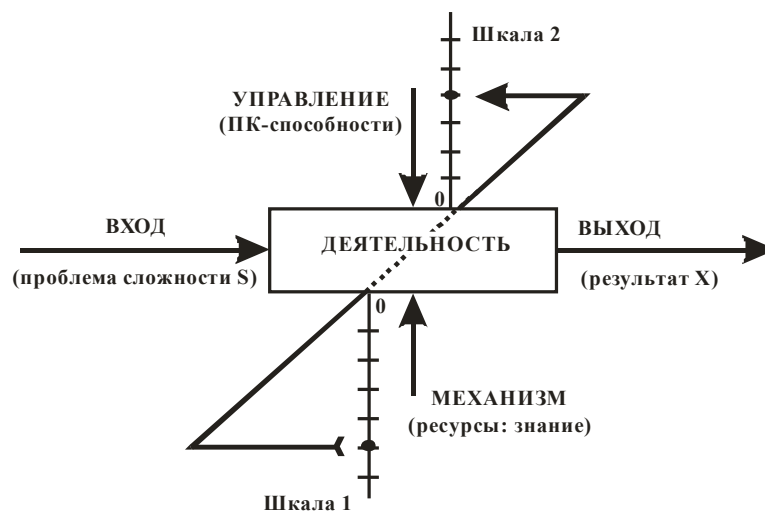


Рисунок 5 – Модель ситуации, когда качество знаний (показатель на шкале 1) ограничивает уровень проявления способностей (шкала 2)

Таким образом, в области ОБ1 возможность проявления АВС способностей человека в полном объеме будет «тормозиться» на 15 % его «незнанием» в этой области деятельности, а в области деятельности ОБ2 будет «тормозиться» на 40 % по той же причине.

На практике эта закономерность позволяет учесть в требованиях к проекту дидактических систем с цифровыми технологиями принцип природосообразности Яна Коменского (**п1**) – о необходимости учета задатков (заложенных природой способностей, особенностей и тягу к знаниям) для обеспечения успешности обучения.

4. Закономерность преодолимости сложности решения проблемы в зависимости от ИДП. Как было показано (модель 1), любую проблему сложности S человек решает через деятельность в три операции $A1, B1, C1$, где $A1$ – операция формализации проблемы с декомпозицией ее в комплекс задач, $B1$ – операция конструирования (алгоритмизации) планов решения этих задач, $C1$ – операция исполнения этих планов в какой-то среде (когнитивной, виртуальной, реальной). Любой человек, решающий проблему сложности S , может испытывать при этом три типа трудностей, соответствующих операциям $A1, B1, C1$, т.е. трудности типа SA, SB, SC . При этом общую трудность ST решения рассматриваемой проблемы можно представить (без учета зависимости слагаемых) как их сумму, т.е.

$$ST = SA + SB + SC.$$

Как было отмечено ранее (модель 1), деятельностный потенциал любого человека (в том числе и эксперта) на момент t (состояние развития его внутренних ресурсов) можно записать так:

$$POT(T=t) = \{A(t) = a, B(t) = b, C(t) = c, POL(t) = pol, CHL(t) = chl\}.$$

Этот потенциал ограничен значением сложности $S = s$ проблемы, которую он с вероятностью, близкой к единице (статистически устойчиво), способен решить. Формализуем условия решения (с вероятностью единица) проблемы сложности S экспертом. Для него мы можем предположить, что сложность проблемы равна трудоемкости ее решения, т.е. $S = s = st$. Тогда, очевидно, условием успешного решения проблемы сложности S экспертом будет система ограничений

$$\{pol = 1; chl = 1; a \Rightarrow sa; b \Rightarrow sb; c \Rightarrow sc\}.$$

Множество проблем с «крайними» сложностями (для которых в системе условий выполняются только равенства) назовем проблемами с предельной сложностью и обозначим их через sa^* , sb^* , sc^* для человека с известным ИДП.

Таким образом, цифровая модель развития ИДП человека в псевдофазовом пространстве может быть дополнена ограничениями, т.е. его предельными трудностями (табл. 2).

Таблица 2 – Модель развития ИДП в псевдофазовом пространстве с соответствующими предельными сложностями проблем

	1	2	3	...	n
A	a(1)	a(2)	a(3)	...	a(n)
B	b(1)	b(2)	b(3)	...	b(n)
C	c(1)	c(2)	c(3)	...	c(n)
POL	pol(1)	pol(2)	pol(3)	...	pol(n)
CHL	chl(1)	chl(2)	chl(3)	...	chl(n)
SA	sa(1)	sa(2)	sa(3)	...	sa(n)
SB	sb(1)	sb(2)	sb(3)	...	sb(n)
SC	sc(1)	sc(2)	sc(3)	...	sc(n)

При проектировании дидактических систем нового поколения с заранее известными предельными трудностями такая информация позволяет организовать человеку индивидуальное обучение «на высоком уровне трудности» по Л. В. Занкову (**п3**). Как показывает практика, соблюдение этой закономерности обеспечивает ему быстрое развитие ИДП, а в целом группе (например, студентам) – высокий темп освоения компетенции.

5. Модель для оценки вероятности (шанса) случайного события «решить проблему». Основываясь на идеях моделей 1, 2 и закономерностях **п3**, **п4**, а также на сформулированных эвристических правилах **п5**, **п6**, рассмотрим следующую задачу: оценить вероятность $P(X)$ случайного события X , что человек с ИДП: ($A = a, B = b, C = c, POL = pol, CHL = chl$) решит проблему сложности S : ($SA = sa, SB = sb, SC = sc$). Приближенное значение вероятности $P(X)$ в дальнейшем назовем «шансом» и обозначим через $H(X)$. Такая замена «вероятности» на «шанс» связана со следующими обстоятельствами. Из курса теории вероятности (например, [4]) известно, что вероятность произведения зависимых случайных событий $P(RA \cdot RB \cdot RC)$ можно расписать так:

$$P(RA \cdot RB \cdot RC) = P(RA) \cdot P(RB | RA) \cdot P(RC | RA \cdot RB).$$

Через RA, RB, RC обозначены соответственно случайные события того, что человек последовательно решит или не решит задачи: формализации проблемы, конструирования плана решения, исполнения этого плана на практике (модель 1). Таким образом, вероятность того, что решит или не решит человек проблему от начала до конца, равна: $P(RA \cdot RB \cdot RC)$, но в реальности вычислить условные вероятности не представляется возможным. Поэтому из практических соображений случайные события RA, RB, RC будем рассматривать как независимые, т.е.

$$P(RA \cdot RB \cdot RC) = P1(RA \cdot RB \cdot RC) + E,$$

где через величину E обозначена погрешность, которая получается при замене формул. Таким образом, на практике в качестве приближенного значения $P(RA \cdot RB \cdot RC)$ можно использовать значение $P1(RA \cdot RB \cdot RC)$ с погрешностью E. Это приближенное значение вероятности мы будем называть «шансом» и обозначим через H(X), т.е.

$$H(RA \cdot RB \cdot RC) = P(RA) \cdot P(RB) \cdot P(RC).$$

В работах [11, 12] рассматривается ряд примеров. Из их результатов можно сделать вывод, что при достаточно больших выборках такая замена незначимо отразится на результатах вычислений.

Вернемся к решению задачи, сформулированной в начале параграфа (модель 5): найти вероятность P(X) случайного события X, что человек с ИДП: ($A = a, B = b, C = c, POL = pol, CHL = chl$) сумеет решить проблему сложности S: ($SA = sa, SB = sb, SC = sc$). Вначале продемонстрируем решение этой задачи с конкретными значениями показателей.

Допустим, в псевдофазовом пространстве жизнедеятельности (в условных единицах) заданы значения всех показателей: $a = 5, sa = 3, b = 7, sb = 6, c = 3, sc = 9, pol = 0,97, chl = 0,84$. Сложившаяся ситуация с (не)решением проблемы в псевдофазовом пространстве жизнедеятельности приводится на рисунке 6.

Вероятности случайных событий: RA, RB, RC будем вычислять как геометрические вероятности, т.е. $P(RA) = 1, P(RB) = 1; P(RC) = 1/3$ (общая формула для расчетов вероятностей приводится далее). Усредненный показатель «качество сформированности знаний в области решаемой проблемы» оценивается с помощью оцифрованной шкалы Б. Блума [17] по следующей формуле: $CZ = SQR(0,97 \cdot 0,84) = 0,9$ (см. решение задачи 3).

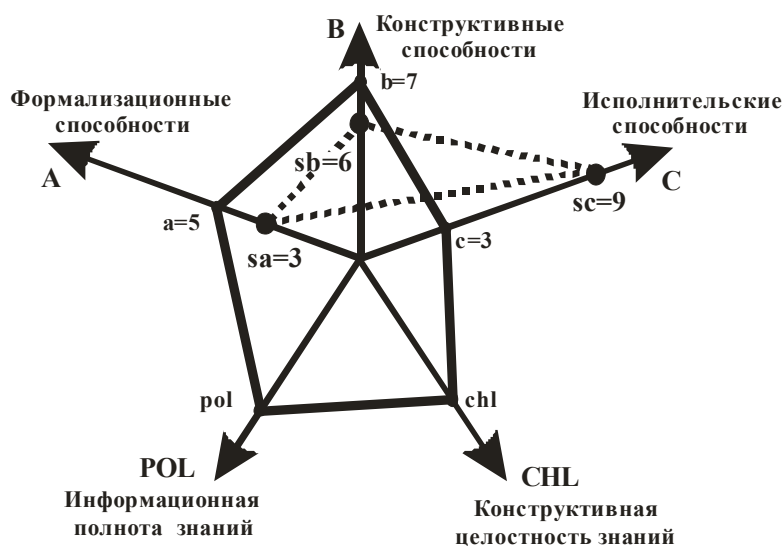


Рисунок 6 – Модель ситуации: шанс, что человек сумеет решить проблему сложности S: ($SA = 3; SB = 16; SC = 9$) с ИДП: ($A = 5; B = 7; C = 3; POL = 0,97; CHL = 0,84$)

Следует еще раз подчеркнуть, что при решении любой проблемы возможность проявления A, B, C способностей человека «урезается» качеством сформированности его знаний в области решаемой проблемы и на практике (с учетом этого факта) проявляются как его умение решить проблему той или иной сложности в зависимости от знаний. Из сказанного следует, что в рассматриваемой задаче шанс H(X) того, что человек сумеет решить проблему, корректируется коэффициентом CZ, т.е. $H(X) = H(RA \cdot RB \cdot RC) = 1/3 \cdot 0,9 = 0,3$. В рассматриваемой ситуации можно сделать вывод, что у человека, имеющего ИДП: ($A = 5; B = 7; C = 3; POL = 0,97; CHL = 0,84$), шанс, что

он сумеет решить проблему со сложностью S : ($SA = 3, SB = 6, SC = 9$), равен $H(RA \cdot RB \cdot RC) = 30\%$.

В общем случае значения шанса $H(X)$, что человек с известным ИДП: (A; B; C; POL; CHL) сумеет решить проблему сложности S : (SA; SB; SC) определяется по следующему алгоритму:

(u1) Вычисляются вероятности

$$P(RA) = (1, \text{если } a \geq sa \text{ или } a / sa, \text{если } a < sa)$$

$$P(RB) = (1, \text{если } b \geq sb \text{ или } b / sb, \text{если } b < sb)$$

$$P(RC) = (1, \text{если } c \geq sc \text{ или } c / sc, \text{если } c < sc) .$$

Через RA, RB, RC обозначены случайные события и их вероятности $P(RA), P(RB), P(RC)$, позволяющие успешно завершить все операции A, B, C.

(u2) Вычисляется значение величины шанса

$$H(RA \cdot RB \cdot RC) = P(RA) \cdot P(RB) \cdot P(RC) .$$

Через $H(RA \cdot RB \cdot RC)$ обозначено значение шанса успешно разрешить проблему в целом, без учета качества сформированности знаний в области решаемой проблемы.

(u3) Вычисляется значение скорректированной величины шанса (с учетом качества сформированности знаний в области решаемой проблемы).

$$H(RA \cdot RB \cdot RC) = P(RA) \cdot P(RB) \cdot P(RC) \cdot CZ .$$

$$CZ = \sqrt{POL \cdot CHL} ,$$

где величина CZ – показатель качества сформированности знаний в области решаемой проблемы. Ранее было отмечено (см. модель 3), что этот показатель вычисляется как среднее геометрическое из значения произведения $POL \cdot CHL$.

Особо подчеркнем, что значения переменных POL, CHL меняются в пределах от 0 до 1. В принятой нами модели считается, что знания являются фоном («тормозящей» средой), ограничивающим возможный уровень проявления ABC способностей. Разумеется, максимальный уровень проявления способностей достигается при $CZ = 1$.

6. Техника экспертной оценки показателя сложности проблемы в системе профессиональной трудности. Допустим, проблема PX , которую необходимо решить, имеет объективную сложность S . На практике перед человеком, который должен решить эту проблему, возникает задача: оценить сложность PX еще до ее решения. В этой ситуации человек, как правило, сложность проблемы оценивает через личную трудность ее решения, т.е. какое количество своего времени он потратит на ее решение. Разумеется, при этом предполагается, что он ее способен решить.

Например, для решения PX он потратит TR часов своей работы, т.е. субъективное значение $S = TR$ (час/раб). При этом разные люди в зависимости от состояния развития ИДП, т.е. качества сформированности (значений показателей $POL = pol, CHL = chl$) своих знаний в области решаемой проблемы и уровней развития способностей (значений показателей $A = a, B = b, C = c$), потратят на решение этой проблемы разное количество часов своей работы. Очевидно, что если одну и ту же проблему будет решать множество людей, то в результате получится какая-то последовательность из значений показателей трудоемкостей – $TR(*)$. Таким образом, полученную последовательность можно отсортировать по убыванию значений их величин и записать (без учета размерностей) как значения из выборки: $TR(1), TR(2), TR(3), \dots, TR(n)$, где n – мощность этой выборки. Очевидно, что если среди «решателей» проблемы (в выборке) будет значение оценки эксперта, то это значение с наибольшей вероятностью окажется наиболее близким к объективному значению сложности проблемы PX , т.е. к значению показателя $S = TR(1)$. Бесспорно, что на практике такую технику оценки сложности проблемы можно применить всегда. Например, эксперт решает проблему PX за 5 часов своей работы, т.е. за 5 (час/раб). Тогда с наибольшим значением надежности (исходя из вероятности) можно считать, что сложность проблемы PX равна $S = TR(1) = 5$.

В целом можно выдвинуть общую основную гипотезу $H(0)$, что все эксперты в своей профессиональной области деятельности с одинаковым значением $TR(1)$ (в пределах допустимой погрешности) оценят сложность проблем в своей области. Очевидно, что эту гипотезу нетрудно проверить в локальном случае. Например, проверить основную гипотезу $H(0)$: все эксперты – математики (преподаватели профессионалы) за одинаковое время (относительная погрешность не более 5%), правильно решат одну и ту же учебную математическую проблему из ЕГЭ. Такие локальные гипотезы нами проверялись на практике при условии: рассматривались 5 различных дисциплин, по каждой дисциплине выборка составляла не менее чем из 30 преподавателей. Проверка по критерию Пирсона подтвердила их статистическую достоверность с надежностью более 95%. Исходя из этих результатов, можно считать технику оценки сложности проблемы по ее трудности достаточно надежной

и практически пригодной для оценки качества подготовленности к профессиональной деятельности. В общем случае, если оценка сложности какой-то проблемы проведена по этой технике, то будем говорить, что она проведена в системе профессиональной трудности (кратко – в системе PD).

7. Техника экспертной оценки показателей качества сформированности знаний. Знание – это усвоенная и переработанная через сознание человека информация [6]. Предлагается следующая модель процесса трансформации передаваемой информации через сознание в знание человека (рис. 7).

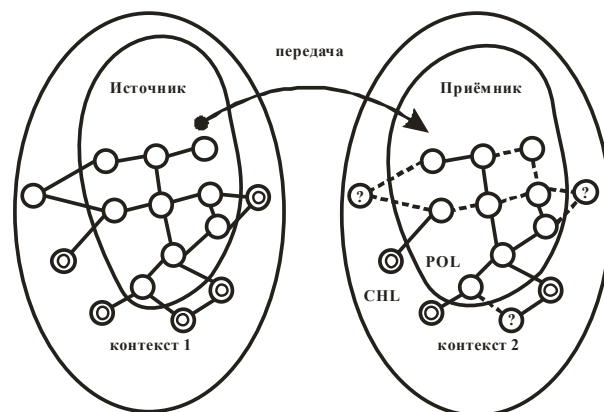


Рисунок 7 – Модель трансформации передаваемой информации через сознание в знание человека

У источника информации (явно или неявно) можно выделить два зависимых подмножества информации. Первое подмножество – это то, что «источник» намерен передать «приемнику» – человеку. Второе подмножество – это контекст передаваемой информации. При этом «приемник» в основном воспринимает только ту часть переданной информации, которую способен через сознание «понять и пристроить» в свой контекст (в свою ментальную модель) с организацией знаний. Поэтому для «приемника» можно говорить о полноте (характеристика POL) воспринятой информации и ее целостности (характеристика CHL), т.е. о структурной целостности знаний для преобразованной через сознание информации. Таким образом, с точки зрения организации эффективного обучения, «источнику» необходимо знать уровень развития ментальной модели обучающегося, так как только в этом случае «источник» может эффективно (с большими значениями показателей POL, CHL) передать информацию. В сущности, в этом состоит проявление на практике закономерности: «наилучшее обучение проходит в зоне ближайшего развития», которая была установлена Л. С. Выготским [3]. Очевидно, значения параметров POL и CHL в какой-то области деятельности являются латентными. Поэтому их можно оценить только через специально организованное педагогическое тестирование с выделением двух групп вопросов: «на полноту» и на «целостность». Также каждый вопрос теста должен быть оценен (заранее экспертом) на сложность в системе PD [9, 11, 27]. Только в этом случае становится возможным оцифровать качественную шкалу «мыслительных умений» Б. Блума [17] и соответственно оцифровать «зону ближайшего развития» обучающегося. Разумеется, все это формализовано-цифровые модели и техники закладываются на проектном уровне в цифровые технологии обучения дидактических систем нового поколения с целью обеспечения в последующем их эффективного функционирования.

8. Методологическая модель – платформа для проектирования дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями. В информатике под платформой, как правило, понимают аппаратно-программный комплекс, основанный на единой концептуальной модели. На этой платформе можно спроектировать класс прототипов информационных систем, способных поддержать какой-то сервис, необходимый пользователям для решения определенного круга задач. Дидактическая платформа также основывается на какой-то методологической модели, на базе которой может быть разработан новый класс прототипов дидактических систем, обладающих комплексом целесообразных свойств. Эти дидактические системы уже способны сформировать для пользователей эффективную (востребованную пространством жизнедеятельности) образовательную среду, в которой они (с помощью предусмотренного сервиса) могут гарантированно овладеть требуемыми компетенциями.

На рисунке 8 представлена методологическая модель дидактической системы с цифровой технологией. В модели (как и в диаграмме SADT) выделены атрибуты: 1. ВХОД – состояние ИДП студента до подготовки. 2. ВЫХОД – состояние ИДП студента после подготовки. 3. УПРАВЛЕНИЕ – преподаватель с определенной методикой обучения или «умная» подсистема, реализующая самоподготовку по цифровой технологии. 4. МЕХАНИЗМ – ресурсы (теоретические, практические, дидактические материалы), необходимые для реализации методики или технологии.

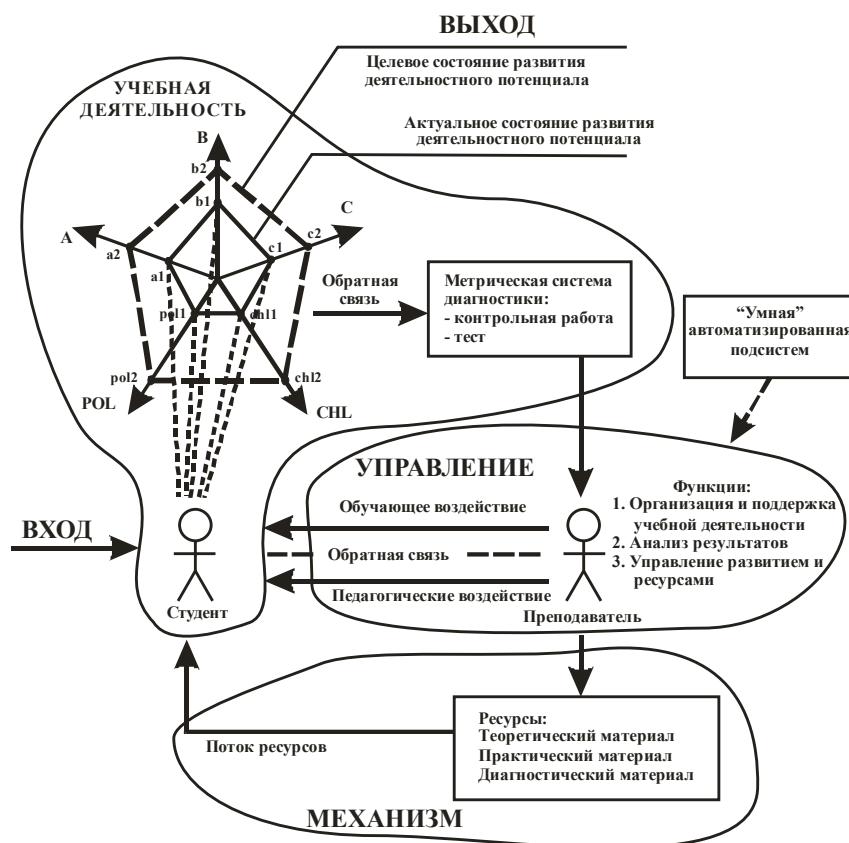


Рисунок 8 – Методологическая модель – платформа для проектирования дидактических систем с цифровой технологией

В основу этой методологической модели-платформы, в частности, заложены известные в дидактике модели «проблемного обучения», «развивающего обучения», «контекстного обучения» [2, 5, 7]. Разумеется, также заложены результаты решенных в данной статье задач 1–7. Некоторые реализованные прототипы дидактических систем с цифровыми технологиями рассмотрены в работах [19, 22, 23, 25, 26, 28].

В целом стоит отметить, что разработанная методологическая платформа дидактических систем нового поколения не имеет аналогов как в России, так и за рубежом.

Выводы.

1. Проведен системный анализ развития образовательных систем. Из его результатов следует, что из-за информационной глобализации пространство жизнедеятельности человека с двумя степенями свободы преобразовалось в пространство с тремя степенями свободы. Это привело к необходимости проектирования дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями, основанных на инженерном подходе.

2. Показано, что дидактическая инженерия как наука является продолжением дидактики – эпохи автоматизации. Также показано, что в рамках дидактической инженерии на основе формализации (цифровизации) законов дидактики с использованием методов поэтапного моделирования могут быть разработаны различные платформы для реализации эффективных автоматизированных, SMART и киберфизических образовательных систем.

3. В данной работе на основе вербально-знаковых методологических моделей «развивающего обучения», «проблемного обучения», «контекстного обучения» с использованием инженерного подхода в рамках дидактической инженерии разработана методологическая модель-платформа для проектирования класса автоматизированных дидактических систем нового поколения с цифровыми технологиями.

Библиографический список

1. Ашихмина Т. В. Методы обучения студентов, обладающих клиповым мышлением / Т. В. Ашихмина // Концепт. – 2016. – Т. 17. – С. 706–710. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2016/46316.htm>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

2. Беспалько В. П. Основы теории педагогических систем / В. П. Беспалько. – Воронеж : Издательство Воронежского университета, 1977. – 304 с.
3. Выготский Л. С. Педагогическая психология / Л. С. Выготский. – Москва : Педагогика-Пресс, 1996. – 230 с.
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – Москва : Высшая школа, 2000. – 376 с.
5. Давыдов В. В. О понятии развивающего обучения. Сборник статей / В. В. Давыдов. – Томск : Пеленг, 1995. – 144 с.
6. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон ; пер. с англ. – Москва : Вильямс, 2001. – 624 с.
7. Занков Л. В. Обучение и развитие / Л. В. Занков. – Москва : Просвещение, 1975. – 275 с.
8. Коменский Я. А. Великая дидактика / Я. А. Коменский. – Москва : Государственное Учебно-педагогическое издательство Наркомпроса РСФСР, 1939. – 321 с.
9. Нуриев Н. К. Дидактическая инженерия: подготовка инженеров в техногенной образовательной среде / Н. К. Нуриев, С. Д. Старыгина // Образование и наука. – 2016. – № 9 (138). – С.61–79. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-9-61-79.
10. Нуриев Н. К. Дидактическая инженерия: технология подготовки IT-инженеров в техногенной среде / Н. К. Нуриев, С. Д. Старыгина // Альма-Матер (Вестник высшей школы) – 2016. – № 11. – С. 64–67. DOI: 10.20339/AM.11-16.088.
11. Старыгина С. Д. Дидактическая инженерия: цифровая модель педагогического тестирования / С. Д. Старыгина, Н. К. Нуриев // Образовательные технологии и общество. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 84–100.
12. Старыгина С. Д. Проектирование smart образовательных систем с цифровыми технологиями / С. Д. Старыгина, Н. К. Нуриев, Е. А. Печеный, А. А. Обади // Образовательные технологии и общество. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 54–66.
13. Старыгина С. Д. Системный анализ: дидактическая инженерия как дидактика эпохи цифровизации / С. Д. Старыгина, Н. К. Нуриев // Sciences of Europe. – 2019. – № 44–3 (44). – С. 22–28.
14. Чошанов М. А. Дидактика и инженерия / М. А. Чошанов. – Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 248 с.
15. Эшби У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. – Москва : URSS, 2017. – 430 с.
16. Artigue M. Didactic engineering. Recherches en Didactique des Mathematiques / M. Artigue. – Special book ICME VII, 1992. – P. 373–401.
17. Bloom B. Taxonomy of educational objectives. The classification goals / B. Bloom. – N.Y. : David McKey Co., 1956. – 207 p.
18. Boehm B. W. A Spiral Model of Software Development and Enhancement / B. W. Boehm // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. – 1988. – № 21 (5). – P. 61–72.
19. Christopher J. Networked Learning. An Educational Paradigm for the Age of Digital Networks / J. Christopher. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. – 249 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-319-01934-5>)
20. Douady R. Didactic engineering. Learning and teaching mathematics: An international perspective / R. Douady ; en. by T. Nunes & P. Bryant. – East Sussex : Psychology Press, 1997. – P. 373–401.
21. Douady R. L'intenierie didactique: une methodologie privilegiee de la recherche / R. Douady // Proceedings of 11th PME Conference. Montreal, Canada, 1987. – Vol. 3. – P. 222–228.
22. Erpenbeck J. Qualifizierung mit Blended Learning. E-Learning and Blended Learning / J. Erpenbeck, W. Sauter, S. Sauter. – Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. (https://doi.org/10.1007/978-3-658-10175-6_3)
23. Kolb D. A. Experiential learning: Experience as the source of learning and development / D. A. Kolb. – N.Y. : Prentice-Hall, 1984. – Vol. 1. Englewood Cliffs. – 256 p.
24. Naur P. Software Engineering: Conception & Techniques. Petrocelli / P. Naur, B. Randall, J. Burton. – Charter, New York, 1976. – 231 p.
25. Nuriev N. K. Designing of the software web component of the didactic systems of the engineering education / N. K. Nuriev, A. N. Nuriev // International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL). – 2013. – P. 354–358.
26. Nuriev N. K. New didactic systems of the engineering education / N. K. Nuriev, S. D. Starygina // International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL). – 2013. – P. 345–350.
27. Nuriyev N. K. Didactic engineering: Designing new generation learning systems / N. K. Nuriyev, S. D. Starygina, E. A. Gibadullina // Integration of Education. – 2016. – Vol. 20, no. 3 (84). – P. 393–406. (<https://doi.org/10.15507/1991-9468.084.020.201603.393-406>)
28. Silverman J. Distance Learning, E-Learning and Blended Learning in Mathematics Education / J. Silverman, V. Hoyos. – Springer, 2018. – 219 p.

References

1. Ashikhmina T. V. Metody obucheniya studentov, obladayushchikh klipovym myshleniyem [Methods of teaching students with clip thinking]. *Kontsept* [Concept], 2016, no. 17. pp. 706–710. Available at: <http://e-koncept.ru/2016/46316.htm>.
2. Bepalko V. P. *Osnovy teorii pedagogicheskikh sistem* [Fundamentals of the theory of educational systems]. Voronezh, Voronezh University Publ., 1977. 304 p.
3. Vygotskiy L. S. *Pedagogicheskaya psikhologiya* [Pedagogical psychology]. Moscow, Pedagogika-Press Publ., 1996. 230 p.

4. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 376 p.
5. Davydov V. V. *O ponyatii razvivayushchego obucheniya. Sbornik statey* [On the concept of developmental learning. Digest of articles]. Tomsk, Peleng Publ., 1995. – 144 p.
6. Jackson P. *Vvedeniye v ekspertnyye sistemy* [Introduction to Expert Systems]. Moscow, Williams Publ., 2001. 624 p.
7. Zankov L. V. *Obucheniye i razvitiye* [Education and development]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1975. 275 p.
8. Komensky Ya. A. *Velikaya didaktika* [Great didactics]. Moscow, State Educational and pedagogical publishing house of the people's Commissariat of the RSFSR, 1939. 321 p.
9. Nuriev N. K., Starygina S. D. Didakticheskaya inzheneriya: podgotovka inzhenerov v tekhnogennoy obrazovatelnoy srede [Didactic engineering: training engineers in a technogenic educational environment]. *Obrazovaniye i nauka* [Education and science], 2016, no. 9 (138), pp. 61–79. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-9-61-79.
10. Nuriev N. K., Starygina S. D. Didakticheskaya inzheneriya: tekhnologiya podgotovki IT-inzhenerov v tekhnogennoy srede [Didactic engineering: technology for training IT engineers in an industrial environment]. *Alma-Mater (Vestnik vysshey shkoly)* [Alma Mater (Bulletin of Higher Education)], 2016, no. 11, pp. 64–67. DOI: 10.20339/AM.11-16.088.
11. Starygina S. D., Nuriev N. K. Didakticheskaya inzheneriya: tsifrovaya model pedagogicheskogo testirovaniya [Didactic engineering: a digital model of pedagogical testing]. *Obrazovatelnyye tekhnologii i obshchestvo* [Educational Technology and Society], 2020, mol. 23, no. 1, pp. 84–100.
12. Starygina S. D., Nuriev N. K., Pecheny E. A., Obadi A. A. Proyektirovaniye smart obrazovatelnykh sistem s tsifrovymi tekhnologiyami [Design smart educational systems with digital technology]. *Obrazovatelnyye tekhnologii i obshchestvo* [Educational Technology and Society], 2019, mol. 22, no. 3, pp. 54–66.
13. Starygina S. D., Nuriev N. K. Sistemnyy analiz: didakticheskaya inzheneriya kak didaktika epokhi tsifrovizatsii [System Analysis: Didactic Engineering as a Didactic of the Digital Age]. *Sciences of Europe*, 2019, № 44–3 (44). pp. 22–28.
14. Choshanov M. A. *Didaktika i inzheneriya* [Didactics and engineering]. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy Publ., 2011. 248 p.
15. Ashby W. R. *Vvedeniye v kibernetiku* [Introduction to Cybernetics]. Moscow, URSS, 2017. 430 p.
16. Artigue M. *Didactic engineering. Recherches en Didactique des Mathematiques*. Special book ICME VII, 1992, pp. 373–401.
17. Bloom B. *Taxonomy of educational objectives. The classification goals*. N.Y., David McKay Co, 1956. 207 p.
18. Boehm B. W. A Spiral Model of Software Development and Enhancement. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 1986, no. 21 (5), pp.61–72.
19. Christopher J. *Networked Learning. An Educational Paradigm for the Age of Digital Networks*. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 249 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-319-01934-5>)
20. Douady R. *Didactic engineering. Learning and teaching mathematics: An international perspective*. East Sussex, Psychology Press, 1997, pp. 373–401.
21. Douady R. L'intenierie didactique: une methodologie privilegiee de la recherché. *Proceedings of 11th PME Conference*. Montreal, Canada, 1987, vol. 3, pp. 222–228.
22. Erpenbeck J., Sauter W., Sauter S. *Qualifizierung mit Blended Learning. E-Learning and Blended Learning*. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. (https://doi.org/10.1007/978-3-658-10175-6_3)
23. Kolb A. Y. *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. N.Y., Prentice-Hall, 1984. Vol. 1, Englewood Cliffs. 256 p.
24. Naur P., Randell B., Buxton J. *Software Engineering: Conception & Techniques. Petrocelli*. Charter, New York, 1976. 231 p.
25. Nuriev N. K., Nuriev A. N. Designing of the software web component of the didactic systems of the engineering education. *International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 2013. pp. 354–358.
26. Nuriev N. K., Starygina S. D. New didactic systems of the engineering education. *International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 2013, pp. 345–350.
27. Nuriyev N. K., Starygina S. D., Gibadullina E. A. Didactic engineering: Designing new generation learning systems. *Integration of Education*, 2016, vol. 20, no. 3 (84), pp. 393–406. (<https://doi.org/10.15507/1991-9468.084.020.201603.393-406>)
28. Silverman J., Hoyos V. *Distance Learning, E-Learning and Blended Learning in Mathematics Education*. Springer, 2018. 219 p.

УДК 004.042

АНАЛИЗ ДАННЫХ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ВКОНТАКТЕ» О МЕСТАХ ПРОЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НЕКОТОРЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ ГРУПП ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Статья получена редакцией 03.03.2020, в окончательном варианте – 05.05.2020

Марков Андрей Константинович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, магистрант, e-mail: anmark@list.ru

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

Описан метод сбора и анализа данных о местах проживания пользователей, интересующихся социальной жизнью Волгоградской области. Данные анализируются на основе исследования открытых профилей пользователей тематических групп Волгоградской области в социальной сети «ВКонтакте». Полученные данные позволяют провести исследование собранной статистики, а также построить карту городов проживания пользователей тематических групп Волгоградской области. Для проведения исследования была разработана программа на языке Python с использованием библиотек vk_api, requests, folium, plotly, time, БД sqlite3 для резервного хранения данных. В результате исследования получена подробная географическая картина проживания пользователей, состоящих в волгоградских сообществах социальной сети «ВКонтакте». Графическое представление результатов исследования выполнено в виде круговой диаграммы и на карте OpenStreetMap.

Ключевые слова: ВКонтакте, социальная сеть, парсинг, Волгоградская область, анализ данных, геоданные, профиль, пользователь, процесс

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ANALYSIS OF DATA OF THE SOCIAL NETWORK VKONTAKTE ABOUT PLACES OF RESIDENCE OF USERS OF SOME THEMATIC GROUPS OF THE VOLGOGRAD REGION

The article was received by the editorial board on 03.03.2020, in the final version – 05.05.2020.

Markov Andrey K., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

master student, e-mail: anmark@list.ru

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

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

The article describes a method for collecting and analyzing data on the places of residence of users interested in the social life of the Volgograd region. The data is analyzed based on a study of open profiles of users of thematic groups of the Volgograd region in the social network «VKontakte». The data obtained allows you to conduct research on the collected statistics, as well as display it on the map, in other words, to build a map of the cities where users of the region's theme groups live. As a result of the study, a detailed geographical picture of the residence of users who are members of the Volgograd communities of the social network «VKontakte» was obtained. For research, a program was developed in Python using the libraries vk_api, requests, folium, plotly, time, sqlite3 database for backup data storage. A graphical representation of the research results is made in the form of a pie chart and on an OpenStreetMap.

Keywords: VKontakte, social network, parsing, Volgograd Region, data analysis, geodata, profile, user, process

Введение. В современном мире интернет как система образует огромное виртуальное пространство. Значительная часть этого пространства – социальные сети. На сегодняшний день они являются одними из самых посещаемых/используемых ресурсов в интернете. Благодаря социальным сетям можно найти работу, новых друзей, сторонников своих идей и мыслей, а также общаться без каких-либо условностей [1]. В России социальные сети также имеют большую популярность, причем общение в них происходит на русском языке. По данным портала Mediascore [10], 58 % населения России хотя бы раз в сутки заходят в социальные сети. Наиболее популярной социальной сетью в России является «ВКонтакте» (VK) [20]. В ней зарегистрировано около 70 миллионов пользователей из России, что составляет 48 % населения страны. В своем профиле VK пользователь может указать контактную информацию, например, дату рождения, место учебы и место проживания. В данной статье анализируются города проживания пользователей тематических сообществ Волгоградской области VK. Результаты исследования отображаются в виде нанесения отметок на карту, таблицы и круговой диаграммы.

Общая характеристика использования социальных сетей в Волгоградской области. Волгоградская область является 31-м регионом России по площади и 19-м по численности населения. Площадь территории области – 112 877 км².

На 01.01.2020 в Волгоградской области проживают 2300 тыс. чел, в том числе в Волгограде 1075 тыс. чел. [2]. Доля городского населения в области 58 %.

Валовой внутренний продукт на душу населения 305,1 тыс. руб., что является 26-м показателем в России [9].

Насыщенность населения компьютерами составляет 779 единиц (включая ноутбуки) на 1000 жителей. Количество смартфонов – 960 на 1000 жителей [8].

Жители Волгоградской области (ВО) активно пользуются не только интернетом, но и социальными сетями (рис. 1). Наиболее популярной является социальная сеть VK [20].

Социальные процессы региона отображаются в его тематических сообществах в социальных сетях. Всего в VK 48 559 тематических сообществ ВО. Количество пользователей из ВО в VK составляет 1 239 039 профилей (данные на 15.03.2020). В среднем на один регион России приходится около 823,5 тысяч пользователей VK. Таким образом, количество пользователей VK в ВО выше среднего количества по стране.

Однако, только ли жителям ВО интересна социально-экономическая жизнь города?

В данной статье проводится анализ населенных пунктов (НП) пользователей, состоящих в тематических сообществах ВО, и выявляются те НП России и стран СНГ, жители которых больше всего интересуются жизнью региона.

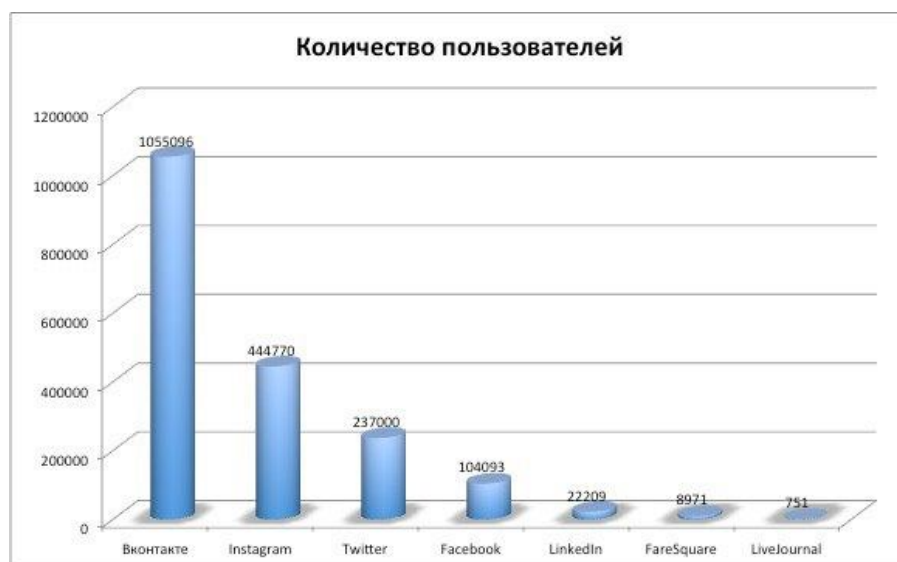


Рисунок 1 – Статистика популярности социальных сетей в Волгоградской области

Причинами такого интереса могут быть следующие:

- наличие родственников и знакомых ВО;
- наличие деловых интересов в ВО;
- сохранение интереса к региону после переезда в другой НП;

- изучение ВО как целесообразного места переезда на временное или постоянное место жительства;

- другие причины.

В дальнейшем эта информация будет использована для анализа НП России и стран СНГ, пользователи которых проявляют наибольший интерес к социально-экономическим процессам в ВО, а также причин их интереса [4].

Описание метода сбора и анализа данных о географии пользователей тематических сообществ ВО. Сделать предположение о текущем месте жительства пользователя можно на основании данных в графе «Город» в профиле пользователя в социальной сети ВК. Это предположение подтверждает тот факт, что количество пользователей из городов пропорционально их населению [21] со средним коэффициентом 1,25. Причина – некоторые люди имеют несколько страниц в ВК из-за следующего: потеря данных от предыдущей страницы, создание общей страницы после замужества, создание страниц домашнему питомцу и т.д., а также тем, что многие жители региона, проживающие в области, указывают в графе «Город» не тот НП, в котором они проживают, а областной центр.

В таблице 1 рассмотрены самые крупные по количеству пользователей сообщества ВО с указанием того, посвящены ли обсуждения в группе определенной тематике или носят общедискуссионный характер.

Таблица 1 – Самые крупные по количеству пользователей сообщества ВО с указанием того, посвящены ли обсуждения в группе определенной тематике или носят общедискуссионный характер

Название группы	Ссылка	Количество участников (данные на 15.03.2020)	Тематическая группа
Типичный Волгоград	https://vk.com/tipich_volgograd	266 002	НЕТ
Работа в Волгограде	https://vk.com/public109276824	96 015	ДА
Торговый центр / ТРЦ Акварель Волгоград	https://vk.com/aquarele	72 517	ДА
V1.RU Новости Волгограда	https://vk.com/newsv1	51 541	ДА
Сейчас Волгоград	https://vk.com/orm34	45 550	НЕТ
ЧЕРНЫЙ СПИСОК Волгоград	https://vk.com/public86743168	28 141	НЕТ
Спортивный Волгоград	https://vk.com/sportivnaia_russia	27 960	ДА

На основе исследования тематических сообществ Волгоградской области были отобраны четыре группы с наибольшим количеством пользователей. В данных сообществах обсуждаются вопросы жизни не только города Волгограда, но и всего региона. Поэтому они интересны всем жителям ВО:

- V1.RU | Новости Волгограда [19];
- Спортивный Волгоград [11];
- Торговый центр / ТРЦ Акварель Волгоград [14];
- РАБОТА в Волгограде [6].

Сообщества «Типичный Волгоград», «Сейчас | Волгоград», «ЧЕРНЫЙ СПИСОК Волгоград» в исследовании не рассматривались, так как они имеют нетематический характер.

Метод, реализованный в данном исследовании, (рис. 2) состоит в получении информации о городе пользователя, установленном на его странице в социальной сети ВКонтакте, путем request – запросов. Информация берется только из открытых профилей пользователей. Название города проходит валидацию, алгоритм которой приведен далее в статье. Затем создается единая база из городов и количества пользователей из этих городов. По данным из этой базы составляется карта пользователей, интересующихся социальной жизнью региона.

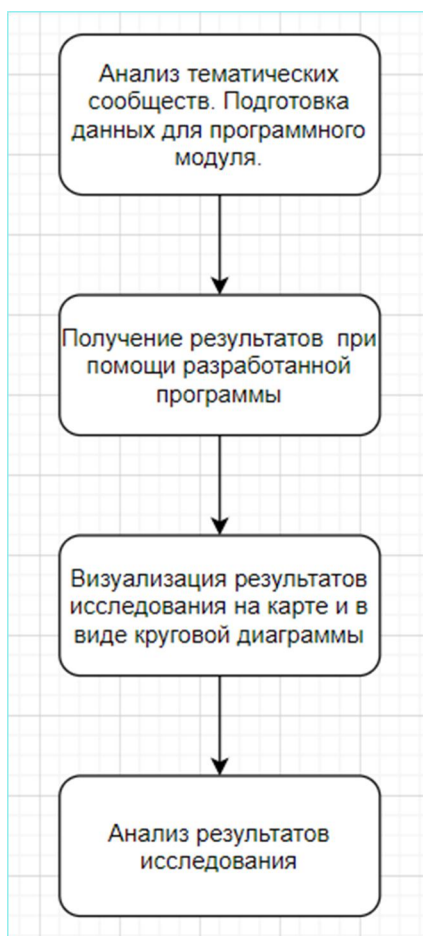


Рисунок 2 – Концепт метода анализа данных

Приведем краткий обзор аналогов.

PepperNinja [18] – система, производящая сбор данных, в том числе и о местоположении, о пользователях с сообществ в Facebook и VK. С помощью Pepper.ninja можно собирать информацию о подписчиках других пользователей, пользователей, обсуждающих посты и публикующих тематические записи на стенах. Также сервис позволяет получить данные о посетителях сайтов, которые оставляют комментарии с помощью формы VK

Полученные данные заносятся в текстовый файл и архивируются. Однако визуализировать эти данные невозможно. Также в программе не происходит сравнения данных между источниками. Минимальная стоимость – 490 руб./месяц (данные на 23.03.2020).

Content Downloader [16] – программа, позволяющая сканировать интернет-сайты. Имеет очень широкую область применения, в том числе и социальные сети. Высокая скорость работы благодаря многопоточности процессов. Преимуществом программы является то, что она позволяет доставать скрытую информацию (доступную только после регистрации на сайте). В политике Content Downloader предусмотрено несколько версий программы, которые отличаются по возможному количеству потоков (от 5 до 50) и, соответственно, по цене.

Однако система имеет ряд недостатков. Основной из них заключается в том, что продукт предназначен не только для социальных сетей. Как следствие, во время сбора и анализа данных с социальных сетей случаются программные сбои и ошибки. Графической визуализации данных также не предусмотрено.

Научная новизна данного исследования заключается в разработке и программной реализации метода, позволяющего собирать, анализировать и визуализировать данные о местах проживания пользователей групп в социальной сети VK. Обзор аналогов показал, что на данный момент такой системы нет.

Для проведения исследования была разработана программа на языке Python с использованием библиотек vk_api, requests, folium, plotly, time, БД sqlite3 для резервного хранения данных. Программа позволяет составить таблицу из городов, указанных в профилях пользователей тематических

групп ВО в социальной сети ВКонтакте, а также графически визуализировать полученные данные в виде круговой диаграммы и карты с отметками.

Объем разработанной программы без графического интерфейса составил около 500 строк.

В данной статье рассматривается территориальное распределение пользователей, проживающих только вне ВО – в различных регионах России и стран СНГ. Количество лиц, проживающих в других странах, невелико. Потому в данной статье они не рассматриваются.

Общее описание алгоритма метода сбора и анализа данных о миграционных потоках.

Для реализации возможности настройки на различные группы социальной сети и регионы входом разработанного алгоритма (рис. 3) является txt-файл (1), содержащий список групп ВК, из которых нам необходимо получить информацию о пользователях. Затем путем request – запросов производится сбор информации из шапки страницы каждого пользователя при помощи метода `get_info` из API ВК (2) [3]. Далее из строки с информацией о пользователе извлекается название города, который указан в его профиле. Это осуществляется путем среза строки по тегу `city`. После этого происходит проверка на корректность названия НП – оно должно состоять только из символов русского алфавита. Также отсеиваются НП, находящиеся в ВО [5]. Те НП, которые прошли валидацию, заносятся в список `cities_list` (4), а в списке с количеством пользователей `users_list` (3) счетчик количества пользователей, проживающих в данном городе, увеличивается на «1».

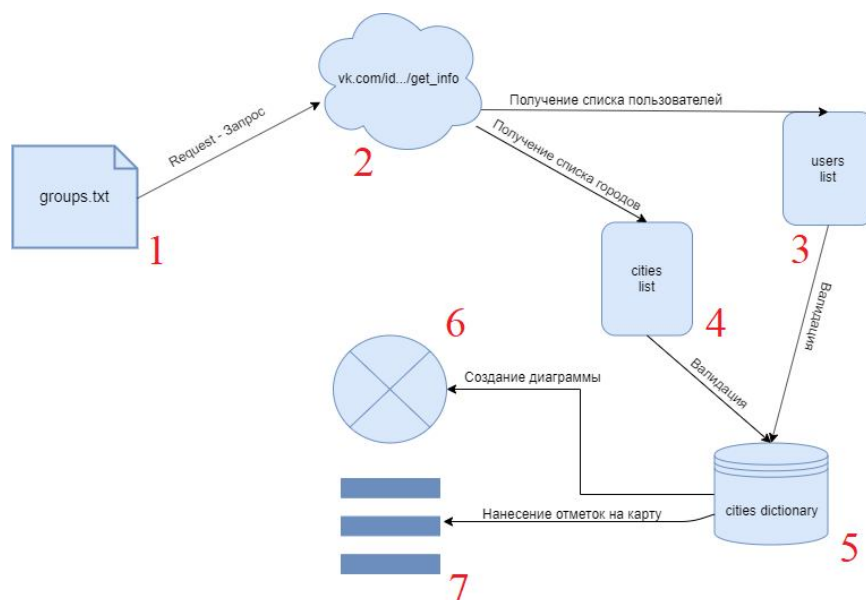


Рисунок 3 – Схема работы программы

После того как все профили обработаны, происходит составление из списков единого словаря (5), в котором ключом является название НП, а значением – количество пользователей, проживающих в этом НП. По данным из словаря составляется круговая диаграмма (6) из 25 городов с наибольшим количеством пользователей. Затем происходит визуализация данных путем нанесения отметок по координатам НП пользователей на карту OpenStreetMap (7).

Программная реализация алгоритма. В начале работы программы происходит авторизация пользователя в ВК для создания сессии и подключения к библиотеке `vk_api` [20]. После этого происходит создание базы данных SQLite, состоящей из таблицы, хранящей названия НП и количества пользователей из этих НП, для резервного копирования полученных данных с обработанных страниц. Далее осуществляется считывание списка групп, выбранных для анализа (из txt-файла). Считанные названия групп заносятся в список. Он выводится на экране, как промежуточный результат.

Далее начинается составление списка из идентификаторов пользователей этих групп при помощи метода API VK `groups.get_members` [3]. После того как список идентификаторов получен, из него удаляются одинаковые идентификаторы. Таким образом, на выходе программы получается список из уникальных идентификаторов пользователей. Общее количество уникальных пользователей также визуализируется и выводится на экран как промежуточный результат.

После этого с использованием цикла происходит перебор списка с идентификаторами пользователей. Если профиль пользователя закрыт, то данные с него получить невозможно, он пропускается

и происходит переход к следующему профилю. В случае если страница (профиль пользователя) открыта, то происходит считывание следующих данных из «шапки» пользователя:

- ID пользователя;
- имя пользователя;
- фамилия пользователя;
- ID города;
- название города.

После этого из списка с данными пользователя извлекается название города, и начинается его валидация. Первый этап валидации – это проверка на местонахождение НП вне ВО. Для этого перед запуском программы был получен список НП ВО, состоящий из 1507 НП [5]. В случае если название полученного НП совпадает с одним из НП ВО, то валидация прерывается с отрицательным результатом и происходит переход к странице следующего пользователя. Если НП находится не в ВО, то осуществляется следующий этап валидации – проверка на корректность названия. Если в названии НП присутствуют символы иностранных алфавитов, то валидация также прерывается и происходит переход к следующему профилю (следующему пользователю).

Если название НП полностью прошло валидацию, то происходит добавление этого НП в словарь. В случае если такого НП в словаре нет, то происходит добавление названия НП в качестве ключа, а в качестве значения, добавляется количество профилей пользователей из этого НП (в данном случае 1).

Если этот НП уже имеется в словаре, то счетчик количества пользователей для этого НП увеличивается на единицу. Также на каждом шаге алгоритма происходит сохранение словаря в базу данных – в связи с возможностью аварийного прерывания работы программы (рис. 4). На случай отключения доступа к интернету предусмотрена дополнительная защита в виде приостановки выполнения программы, до тех пор, пока соединение не будет восстановлено.

Таким образом, в состав отобранных данных включаются только пользователи, проживающие в России, но не в ВО.

user_city	value
1 Астрахань	1
2 Москва	5
3 Санкт-Петербург	2
4 Знаменск	1

Рисунок 4 – Фрагмент содержания базы данных (БД) для резервного копирования

После того как все данные обработаны и составлен словарь, происходит его разбиение на два списка. В первый список заносятся названия НП, а во второй список – количество пользователей из этого населённого пункта. После этого происходит сортировка списков в порядке убывания. Списки загружаются из базы данных, так как в случае хранения словаря в локальном виде внутри программы имеется риск потери данных из-за перегрузки памяти или отключения компьютера, на котором выполняется программа, от интернета. Извлечение данных из БД SQLite происходит путем INSERT-запросов. Таким образом, на выходе мы получаем отсортированные по количеству жителей списки НП.

Далее на основании этих списков составляется круговая диаграмма на основании НП, процент пользователей которых более 0,5 – для графической визуализации результатов исследования. После этого происходит нанесение отметок на карту OpenStreetMap [17]. Для этого сначала загружается карта OpenStreetMap и при помощи библиотеки folium, устанавливаются ее стартовые координаты и масштаб.

Далее происходит получение списка координат НП из списка названий НП при помощи запросов к Яндекс-геокодеру [15]. Ответом на запрос к геокодеру является строка, содержащая информацию об объекте. Путем извлечения среза из строки получают координаты начала и конца объекта по ширине и долготе, а затем вычисляется их среднее арифметическое. На выходе мы получаем двумерный список координат (широта, долгота) для НП. После этого происходит перебор списка координат и нанесение отметок на карту OpenStreetMap в координатах, указанных в списке. Размер отметки зависит от количества пользователей из данного НП и может быть трех видов: маленькая, средняя и большая. (В случае если из данного НП менее 20 пользователей – ставится маленькая отметка, для НП с количеством пользователей от 20 до 70 ставится средняя отметка, а для НП с количеством пользователей более 70 ставится большая отметка)

После нанесения отметок карта сохраняется в html-файл. Графически этот алгоритм представлен на рисунке 5 в виде UML-диаграммы.

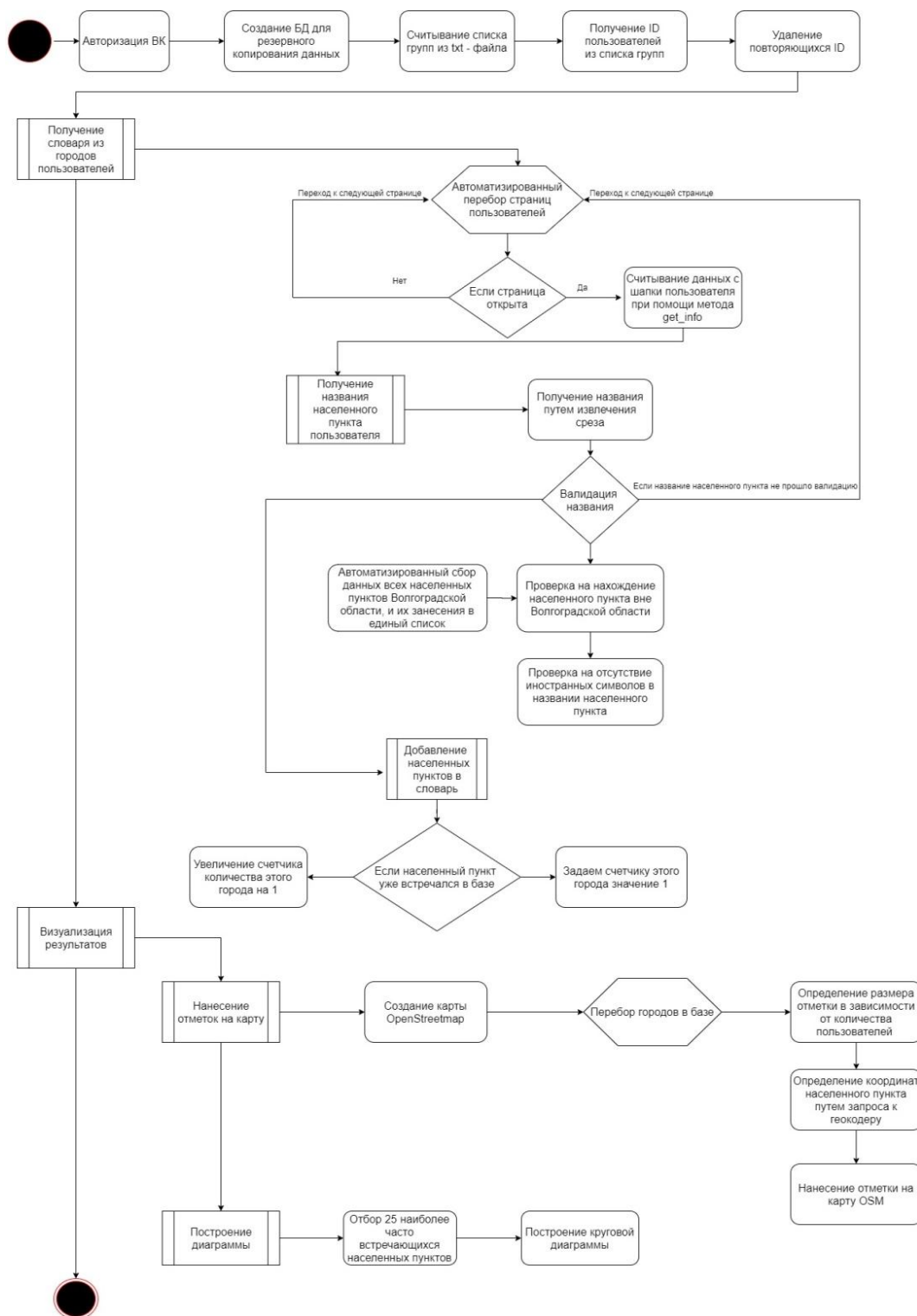


Рисунок 5 – Схема алгоритма программы

Результаты исследования. Исследование состоит в анализе территориальной принадлежности НП, указанных как город проживания пользователя на его персональной странице «ВКонтакте», и производится на выборке из 50000 случайных профилей пользователей, интересующихся социально-экономической жизнью ВО, но проживающих вне ВО (табл. 2).

Таблица 2 – Список НП

Название города	Количество пользователей из выборки в 50000 человек	% от общего количества пользователей не из Волгоградской области
Москва	1710	43,2
Санкт-Петербург	701	17,7
Краснодар	290	7,32
Ростов-на-Дону	185	4,67
Сочи	108	2,73
Екатеринбург	94	2,37
Саратов	77	1,94
Астрахань	62	1,57
Воронеж	53	1,34
Самара	53	1,34
Челябинск	48	1,21
Пермь	46	1,16
Уфа	45	1,14
Владивосток	45	1,14
Нижний Новгород	42	1,06
Казань	39	0,98
Знаменск	31	0,78
Новосибирск	30	0,76
Киев	29	0,73
Ахтубинск	28	0,7
Калининград	27	0,68
Севастополь	26	0,66
Ставрополь	26	0,66
Омск	25	0,63
Хабаровск	25	0,63
Мурманск	24	0,6
Симферополь	23	0,58
Новороссийск	23	0,58
Сургут	23	0,58
Донецк	23	0,58
Всего	3940	100 %

Более удобной формой для оценки результатов анализа является представление их в виде круговой диаграммы (рис. 6).

Графическое представление результатов исследования на выборке 50000 страниц пользователей ВК на карте OpenStreetMap приведено на рисунке 7.

Как можно видеть на рисунке 7, круги в его левой части накладываются друг на друга, что затрудняет возможности анализа.

Поэтому для более подробного отображения результатов исследования были получены графические представления на участке европейской части России и на участке Южного и Северо-Кавказского федерального округов на карте OpenStreetMap (рис. 8, 9).

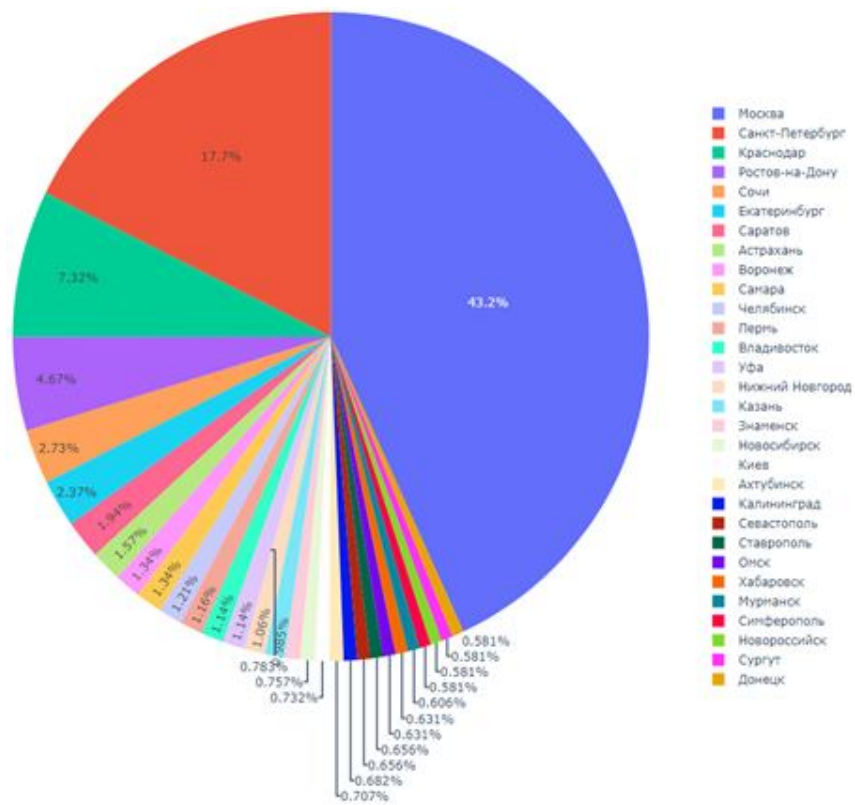


Рисунок 6 – Результаты исследования, представленные в виде круговой диаграммы

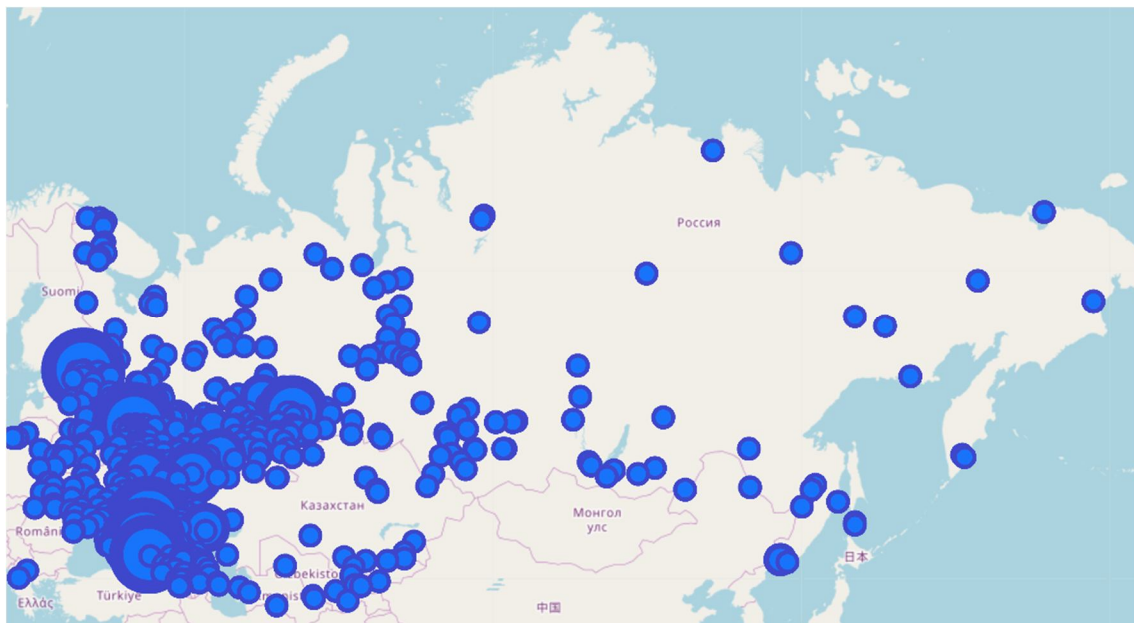


Рисунок 7 – Результаты исследования, представленные в виде отметок на карте OpenStreetMap

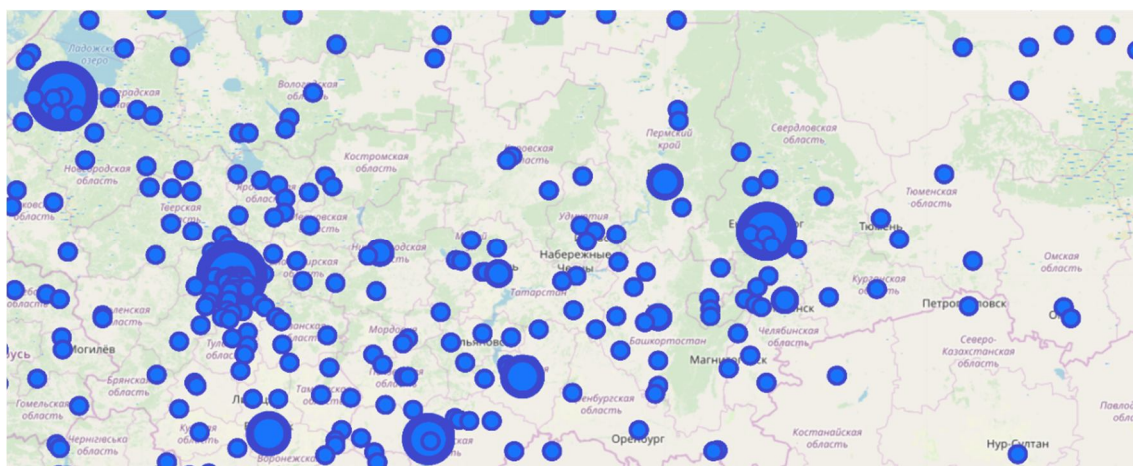


Рисунок 8 – Результаты исследования, представленные в виде отметок на карте OpenStreetMap (европейская часть России)

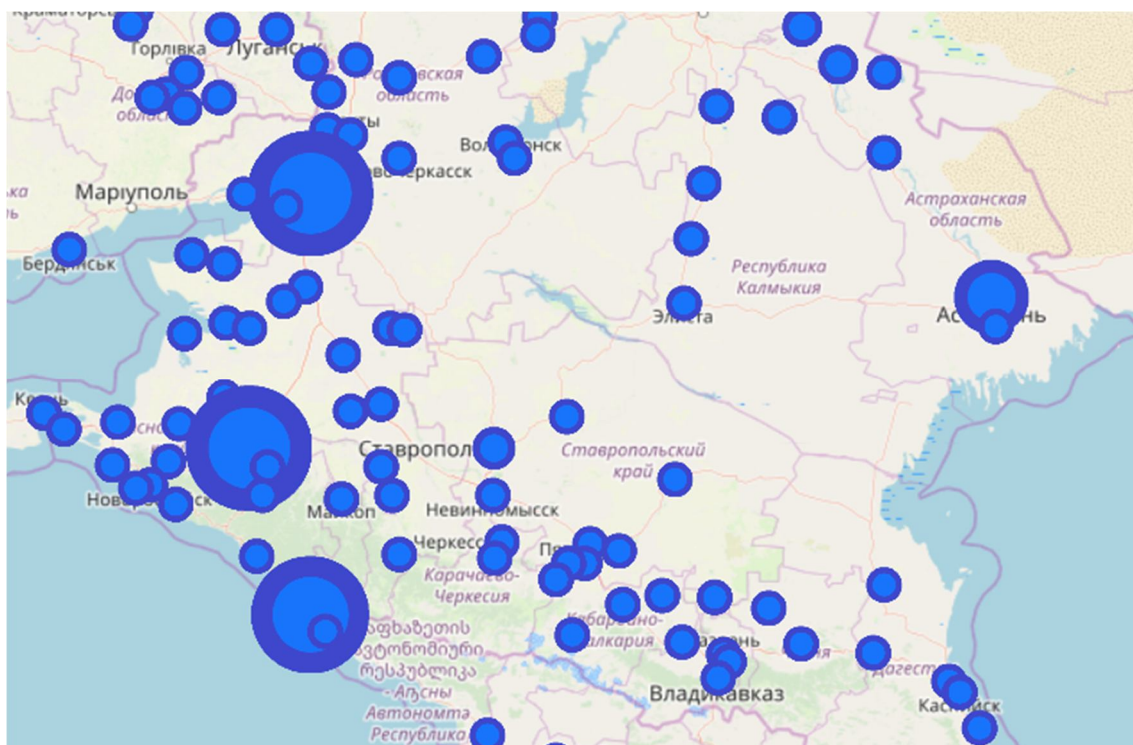


Рисунок 9 – Результаты исследования, представленные в виде отметок на карте OpenStreetMap (Южный и Северо-Кавказский федеральные округа)

Из рисунков видно, что наибольший интерес к социальной жизни ВО проявляют жители Москвы, Санкт-Петербурга и крупных городов Южного Федерального округа. Также высокие показатели у крупных городов европейской части России.

Результаты расчетов относительных показателей для пользователей. Был также проведен расчёт уровня интереса к Волгоградской тематике по городам с использованием формулы:

$$I=(N/q) \times s, \quad (1)$$

где N – численность населения города; q – выборка, на которой проводилось исследование; s – количество интересующихся пользователей в выборке q .

Суть формулы в пересчете количества интересующихся социальной жизнью ВО пользователей на общую численность населения города. Например, если на 50 000 профилей количество интересующихся пользователей равно 100, то на миллион профилей количество интересующихся пользователей равно 2000.

Таблица 3 – Уровни интереса в 10 городах пользователей ВК, наиболее интересующихся социально-экономической жизнью ВО

Город	Население города (на 01.01.2019) [19]	Оценка количества интересующегося населения (считается по формуле 1)	Оценка процента интересующегося населения от общего населения	Количество пользователей ВК в городе (на 23.03.2020)	Процент интересующегося населения от количества пользователей ВК в городе
Москва	12 615 882	431 463	3,42	16 878 475	2,56
Санкт-Петербург	5 383 890	75 482	1,4	8 527 755	0,89
Краснодар	918 145	5 325	0,58	1 766 037	0,3
Ростов-на-Дону	1 133 307	4 193	0,37	1 436 933	0,29
Сочи	438 726	948	0,21	360 750	0,26
Екатеринбург	1 483 119	2788	0,19	2 291 371	0,12
Саратов	841 902	1296	0,15	797 417	0,16
Астрахань	534 241	662	0,12	405 375	0,16
Воронеж	1 054 111	1117	0,1	1 018 055	0,1
Самара	1 156 608	1226	0,09	1 596 204	0,07

По результатам исследования можно сделать вывод, что больше всего интересуются социальной жизнью ВО пользователи из Москвы и Санкт-Петербурга (два самых крупных города России). В этих населенных пунктах наибольшие значения не только абсолютных показателей, но и относительных (последняя колонка таблицы 3).

Также в первой пятерке (табл. 3) находятся города Краснодар, Ростов-на-Дону и Сочи. Это может быть обусловлено в первую очередь территориальной близостью этих городов к Волгограду [7], а также большим количеством миграций [12] в эти города жителей из Волгоградской области [13].

Библиографический список

1. Викторова А. С. Социальные сети и молодежь / А. С. Викторова, И. А. Свертков // Территория науки. – 2013. – № 3. – С. 5–8.
2. Волгоградская область. – 2020. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Волгоградская_область, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 22.04.2020).
3. Документация | Разработчикам. – 2019. – Режим доступа: <https://vk.com/dev/manuals>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 12.11.2019).
4. Кравец А. Г. Геоинформационный подход к управлению развитием территории на основе анализа данных социальных сетей / А. Г. Кравец, Я. Г. Мильчук, А. С. Мильчук // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 3 (39). – С. 69–79.
5. Населенные пункты, входящие в состав муниципальных образований Волгоградской области. Общероссийский классификатор территорий муниципальных образований. – 2019. – Режим доступа: http://www.oktmo.ru/locality_registry/?code=18000000000, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 13.11.2019).
6. РАБОТА в Волгограде. – 2019. – Режим доступа: <https://vk.com/public109276824>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.11.2019).
7. Расстояние между городами России. Автодиспетчер. – 2019. – Режим доступа: <https://www.avtodispatcher.ru/distance/table/c60189-rossiya/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 27.11.2019).
8. Смартфоны (Мировой рынок). – 2020. – Режим доступа: [www.tadviser.ru/index.php/Статья:Смартфоны_\(мировой_рынок\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Смартфоны_(мировой_рынок)), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 04.05.2020).
9. Список субъектов Российской Федерации по валовому продукту. – 2020. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_субъектов_Российской_Федерации_по_валовому_продукту, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 04.05.2020).
10. Социальные сети в цифрах. – 2020. – Режим доступа: <https://mediascope.net/upload/iblock/f97/18.04.2019>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.03.2020).
11. Спортивный Волгоград. – 2019. – Режим доступа: https://vk.com/sportivnaia_russia, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.11.2019).
12. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области. – 2019. – Режим доступа: <https://volgastat.gks.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 20.10.2019).
13. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области. Миграция. – 2019. – Режим доступа: <https://volgastat.gks.ru/storage/mediabank/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 20.10.2019).
14. Торговый центр / ТРЦ Акварель Волгоград. – 2019. – Режим доступа: <https://vk.com/aquarele>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.11.2019).

15. Яндекс геокодер. – 2019. – Режим доступа: <https://tech.yandex.ru/maps/geocoder/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 18.12.2019).
16. Content Downloader X1 – универсальный парсер контента. – 2020 – Режим доступа: <http://sbfactory.ru/?p=600>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 22.03.2020).
17. OpenStreetMap. – 2020. – Режим доступа: <https://openstreetmap.org>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 04.01.2020).
18. Pepper.Ninja | Парсер групп ВКонтакте. – 2020 – Режим доступа: https://pepper.ninja/?p=89188&gclid=CjwKCAjwvOHZBRBoEiwA48i6ArCldREzlw7XkxgAvT5kkHf-9Ssnshoe6ByLaNqi4pzuNKdJQExqWBoC1qoQAvD_BwE, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 22.03.2020).
19. V1.RU | Новости Волгограда. – 2019. – Режим доступа: <https://vk.com/newsv1>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.11.2019).
20. Vk_api. – 2020. – Режим доступа: https://github.com/python273/vk_api, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 23.12.2019).
21. 100 Крупнейших городов России по населению 2019 список РФ. – 2019. – Режим доступа: http://www.statdata.ru/largest_cities_russia, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.03.2020).

References

- Viktorova A. S., Svertkov I. A. Socialnye seti i molodezh [Social networks and young people]. *Territoriya nauki* [Territory of Science]. 2013, no. 3, pp. 5–8.
- Volgogradskaya oblast* [Volgograd region]. 2020. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Volgogradskaya_oblast' (accessed 22.04.2020).
- Dokumentaciya | Razrabotchikam* [Documentation | For developers]. 2019. Available at: <https://vk.com/dev/manuals> (accessed 12.11.2019).
- Kravets A. G., Milchuk Ya. G., Milchuk A. S. Geoinformatsionnyy podkhod k upravleniyu razvitiyem territorii na osnove analiza dannykh sotsialnykh setey [Geoinformational approach to managing the development of a territory based on analysis of data from social networks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 3 (39), pp. 69–79.
- Naselennyye punkty, vkhodyashchie v sostav municipalnykh obrazovaniy Volgogradskoy oblasti. Obshcherossiyskiy klassifikator territoriy municipalnykh obrazovaniy* [Settlements that are part of the municipalities of the Volgograd region. All-Russian Classifier of Municipal Territories]. 2019. Available at: http://www.oktmo.ru/locality_registry/?code=18000000000 (accessed 13.11.2019).
- RABOTA v Volgograd* [Job in Volgograd], 2019. Available at: <https://vk.com/public109276824> (accessed 01.11.2019).
- Rasstoyanie mezhdru gorodami Rossii. Avtodispatcher* [Distance between cities of Russia. Car dispatcher]. 2019. Available at: <https://www.avtodispatcher.ru/distance/table/c60189-rossiya/> (accessed 27.11.2019).
- Smartfony (Mirovoy rynek)* [Smartphones (World market)]. 2020. Available at: [www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya:Smartfony_\(mirovoj_rynek\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya:Smartfony_(mirovoj_rynek)) (accessed 04.05.2020).
- Spisok subektov Rossiyskoy Federatsii po valovomu produktu* [List of constituent entities of the Russian Federation by gross product]. 2020. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Spisok_sub'ektov_Rossiyskoj_Federatsii_po_valovomu_produktu (accessed 04.05.2020).
- Socialnye seti v tsifrakh* [Social media in numbers], 2020. Available at: <https://mediascope.net/upload/iblock/f97/18.04.2019> (accessed 17.03.2020).
- Sportivnyi Volgograd* [Sports Volgograd]. – 2019. – Available at: https://vk.com/sportivniya_russia (accessed 01.11.2019).
- Territorialnyy organ Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Volgogradskoy oblasti* [Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Volgograd Region]. 2019. Available at: <https://volgastat.gks.ru> (accessed 20.10.2019).
- Territorialnyy organ Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Volgogradskoy oblasti. Migratsiya* [Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Volgograd Region. Migration]. 2019. Available at: <https://volgastat.gks.ru/storage/mediabank/> (accessed 20.10.2019).
- Torgovyy centr / TRC Akvarel Volgograd* [Shopping center / SEC Akvarel Volgograd]. 2019. Available at: <https://vk.com/aquarele> (accessed 01.11.2019).
- Yandeks geokoder* [Yandeks geocoder]. 2019. Available at: <https://tech.yandex.ru/maps/geocoder/> (accessed 18.12.2019).
- Content Downloader X1 – universalnyy parser kontenta* [Content Downloader X1 – universal content parser]. 2020. Available at: <http://sbfactory.ru/?p=600> (accessed 22.03.2020).
- OpenStreetMap*. – 2020. – Available at: <https://openstreetmap.org> (accessed 04.01.2020).
- Pepper.Ninja | Parser grupp VKontakte* [Pepper.Ninja | Parser for VKontakte groups]. 2020. Available at: https://pepper.ninja/?p=89188&gclid=CjwKCAjwvOHZBRBoEiwA48i6ArCldREzlw7XkxgAvT5kkHf-9Ssnshoe6ByLaNqi4pzuNKdJQExqWBoC1qoQAvD_BwE (accessed 22.03.2020).
- V1.RU | Novosti Volgograda* [V1.RU | Volgograd News]. 2019. Available at: <https://vk.com/newsv1>. (accessed 01.11.2019).
- Vk api*. 2020. Available at: https://github.com/python273/vk_api. (accessed 23.12.2019).
- 100 Krupneyshchikh gorodov Rossii po naseleniyu 2019 spisok RF* [100 Largest cities in Russia by population 2019 list of the Russian Federation]. 2019. Available at: http://www.statdata.ru/largest_cities_russia (accessed 17.03.2020).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 004.42, 004.021

ВЕКТОРИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ВЫПОЛНЕНИЯ СОБСТВЕННОГО И СИНГУЛЯРНОГО РАЗЛОЖЕНИЙ МАТРИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАУСХОЛДЕРА

Статья получена редакцией 03.03.2020, в окончательном варианте – 05.05.2020.

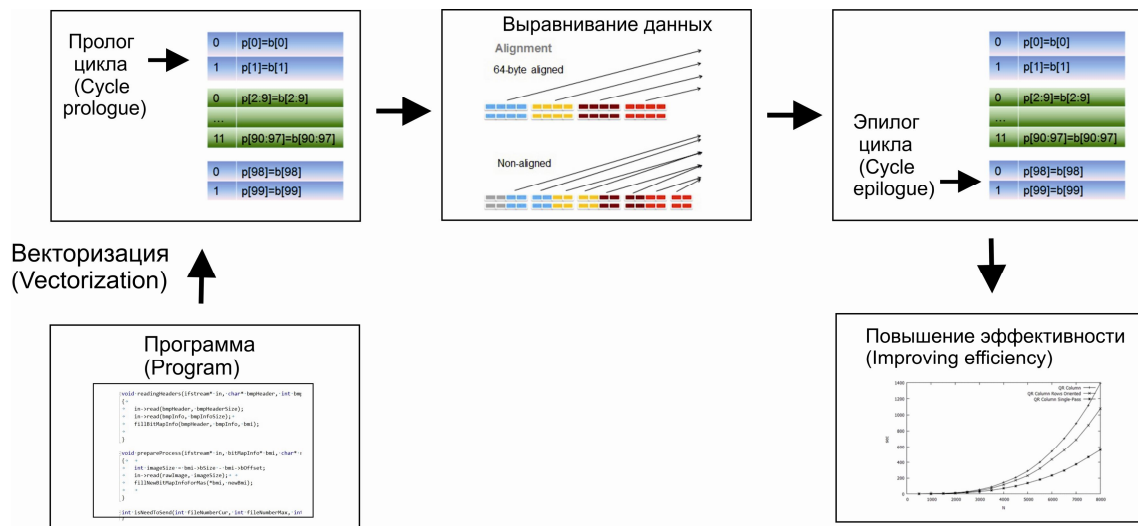
Егунов Виталий Алексеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, кандидат технических наук, доцент, e-mail: vegunov@mail.ru

Андреев Андрей Евгеньевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, кандидат технических наук, заведующий кафедрой ЭВМ и систем, e-mail: andan2005@yandex.ru

Рассматривается векторизация алгоритмов собственного и сингулярного разложения матриц общего вида, в качестве базового преобразования используется преобразование отражения Хаусхолдера. Векторизация вычислений, являющаяся одним из видов их распараллеливания, является эффективным средством повышения быстродействия программ, в рамках которого однопоточные приложения могут выполнять несколько однотипных операций одновременно. Современные компиляторы могут выполнять автоматическую векторизацию вычислений, т.е. преобразовывать программы из скалярного представления к векторной реализации. В статье анализируется эффективность автоматической векторизации, выполненной современными компиляторами, рассматриваются проблемы, присущие автоматической векторизации. Предлагается авторский алгоритм векторизации вычислений для алгоритмов собственного и сингулярного разложения квадратных матриц общего вида. Предложенные решения позволяют значительно повысить скорость программной реализации указанных преобразований. Приводятся особенности процесса векторизации, результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: квадратные матрицы, собственное разложение, сингулярное разложение, преобразование отражения, преобразование Хаусхолдера, эффективность программ, ускорение работы программ, векторизация вычислений, автоматическая векторизация, оптимизирующие компиляторы

Графическая аннотация (Graphical annotation)



VECTORIZATION OF ALGORITHMS FOR SOLVING OF EIGENVALUES AND SINGULAR VALUE PROBLEMS USING THE HOUSEHOLDER TRANSFORMATIONS

The article was received by the editorial board on 03.03.2020, in the final version – 05.05.2020.

Egunov Vitaly A., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

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

Andreev Andrey E., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department of Computers and Systems, e-mail: andan2005@yandex.ru

The vectorization of algorithms for proper and singular expansions of General-type matrices, and use the householder reflection transform as the base transformation are considered. Vectorization of calculations, which is a type of parallelization, is an effective tool for improving the performance of programs, in which single-threaded applications can perform several similar operations simultaneously. Modern compilers can perform automatic vectorization of calculations, i.e. convert programs from a scalar representation to a vector implementation. The article analyzes the effectiveness of automatic vectorization performed by modern compilers, and considers the problems inherent in automatic vectorization. The author's algorithm for vectorization of calculations for algorithms of proper and singular expansions of General square matrices is proposed. The proposed solutions allow significantly increasing the speed of software implementation of these transformations. The paper presents the features of the vectorization process and the results of computational experiments.

Keywords: square matrices, eigenvalues, eigenvectors, singular values, reflection transformation, Householder transformation, program efficiency, program acceleration, vectorization, automatic vectorization, optimizing compilers

Введение. Поиск собственных чисел и системы собственных векторов квадратных матриц общего вида, выполнение сингулярного разложения данных матриц широко используются при решении целого ряда задач научного и прикладного характера. В качестве примера можно привести задачи моделирования различных динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями, например, при поиске собственных частот колебаний динамической системы [6, 7]; задачу определения энергетического спектра квантовых систем [8]; обработку изображений [10] и пр. Данная статья посвящена разработке алгоритма векторизации вычислений при выполнении собственного и сингулярного разложения квадратных матриц общего вида. В частности, предлагаются алгоритмы векторизации процесса приведения матрицы общего вида к хессенберговой и двухдиагональной формам с целью дальнейшего вычисления ее собственных или сингулярных значений, о чем в дальнейшем будет сказано подробнее. Данная работа продолжает исследования, отраженные в работах [3–5, 11], направленные на повышение эффективности программной реализации указанных задач на параллельных вычислительных системах с общей памятью.

Постановка задачи. Рассматриваемые задачи имеют высокую вычислительную сложность, что делает их важным объектом исследований для математиков и специалистов в области разработки программного обеспечения. Сами задачи хорошо известны. Задача поиска собственного разложения заключается в поиске векторов и чисел, удовлетворяющих условию (1) [2]:

$$\mathbf{A}\mathbf{v} = \lambda\mathbf{v}. \quad (1)$$

Вектор \mathbf{v} в данном случае называется собственным вектором линейного оператора \mathbf{A} ; число λ – собственным значением. λ и \mathbf{v} могут быть комплексными даже в случае вещественного \mathbf{A} . Алгоритмы решения задачи (1) можно разделить на: алгоритмы поиска всех собственных значений и, возможно, системы собственных векторов; алгоритмы поиска нескольких собственных чисел, возможно одного. 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.

$$\mathbf{A}_{k+1} = \mathbf{U}_k \mathbf{A}_k \mathbf{U}_k^* \quad (2)$$

где \mathbf{U}_k – унитарные матрицы; \mathbf{U}_k^* – матрицы, эрмитово-сопряженные к \mathbf{U}_k . В вещественном случае используются ортогональные и транспонированные матрицы. Все матрицы \mathbf{A}_i являются подобными, т.е. их собственные значения совпадают. 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.

Задача поиска сингулярного разложения заключается в поиске векторов и чисел, удовлетворяющих условию (3):

$$\mathbf{A}^* \mathbf{u} = \lambda \mathbf{v}. \quad (3)$$

Такие векторы u и v называются левым и правым сингулярным вектором, соответствующим сингулярному числу λ ; A^* – матрица, эрмитово-сопряженная к A . Сингулярным разложением матрицы является разложение вида (4):

$$A = U \Sigma V^* \quad (4)$$

где A – исходная матрица; U и V – унитарные матрицы; Σ – матрица, у которой элементы, лежащие на главной диагонали, являются сингулярными числами. В вещественном случае также используются ортогональные и транспонированные матрицы.

Большинство современных вычислительных систем имеют параллельную архитектуру. Вследствие этого в настоящее время проводится множество исследований, посвященных адаптации известных алгоритмов к использованию на параллельных вычислительных системах, а также исследованию эффективности данных алгоритмов при использовании на параллельных системах с различными характеристиками, например [16, 21]. Помимо распараллеливания вычислений большое внимание уделяется их векторизации. Современные процессоры поддерживают векторные операции [20] в пределах одного вычислительного ядра, что дает дополнительные возможности для ускорения расчетов. В данной работе описан процесс векторизации известных алгоритмов решения задач поиска собственных и сингулярных чисел, в результате применения векторизации сокращается время решения данных задач. Выбор объекта исследований обусловлен востребованностью данных задач при решении различных проблем научного и прикладного характера. Во многих случаях указанные преобразования повторяются многократно, а вычисления продолжают долго. Поэтому сокращение времени вычислений в данном случае представляется актуальной задачей. В качестве еще одного побудительного мотива к написанию данной работы можно назвать тот факт, что авторы в течение ряда лет занимаются исследованием вопросов, связанных с реализацией матричных преобразований на неоднородных вычислительных системах, в том числе указанных выше преобразований [3–5, 11–12, 17–19].

Используемые методы. Одним из широко известных 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 с сохранением ее собственных значений. Подобные матрицы, наряду с трехдиагональными матрицами, являются исходными для многих алгоритмов поиска собственных чисел, таких как, например, QR – алгоритм или метод Якоби. 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 решения задачи поиска собственных чисел в целом [2].

В случае сингулярного разложения матриц общего вида одним из наиболее эффективных методов является приведение матрицы к двухдиагональному виду с помощью преобразований (4), причем в данном случае Σ является двухдиагональной матрицей. В дальнейшем применяются эффективные алгоритмы вычисления сингулярного разложения двухдиагональной матрицы. Соответственно, повышение эффективности методов приведения матриц к двухдиагональному виду приводит к уменьшению времени выполнения сингулярного разложения в целом.

И в (2), и в (4) в качестве операторов U и V используются унитарные, а в вещественном случае – ортогональные матрицы. В данной работе будет рассмотрена задача приведения матрицы общего вида к хессенберговой и двухдиагональной форме с целью дальнейшего вычисления ее собственных или сингулярных значений.

В качестве базового метода будем использовать метод отражения Хаусхолдера:

$$A = QRQ^T \quad (5)$$

где A – исходная матрица; R – хессенбергова или двухдиагональная матрица; Q – ортогональная матрица, представляющая собой произведение матриц отражения Хаусхолдера, каждая из которых однозначно определяется вектором отражения.

Рассмотрим приведение матрицы размерности $n \times n$ к верхней хессенберговой форме. Для этого необходимо выполнить $(n-2)$ шага, в рамках каждого 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 (6):

$$\begin{aligned}
 s_k &= -\operatorname{sign}(a_{k+1,k}) \left(\sum_{i=k+1}^n a_{ik}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \\
 \varphi_k &= (s_k^2 - s_k a_{k+1,k})^{-1} \\
 \mathbf{u}_k^T &= (0, \dots, 0, a_{k+1,k} - s_k, a_{k+2,k}, \dots, a_{nk}) \\
 \lambda_j &= \varphi_k \mathbf{u}_k^T \mathbf{a}_j \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
 \mathbf{a}_j &= \mathbf{a}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
 \lambda'_j &= \varphi_k \mathbf{b}_j \mathbf{u}_k \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
 \mathbf{b}_j &= \mathbf{b}_j - \lambda'_j \mathbf{u}_k^T \Big|_{j = \overline{k, n}}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Здесь \mathbf{a} – столбцы исходной матрицы; \mathbf{b} – ее строки; выражение $j = \overline{k, n}$ указывает на диапазон изменения индексов при обработке строк и столбцов матрицы на текущем шаге преобразования. Последовательность шагов алгоритма в данном случае следующая:

- определяется вектор отражения из значений элементов k -го столбца матрицы, находящихся под главной диагональю;
- осуществляется умножение на матрицу умножения справа, в результате которого обнуляются элементы k -го столбца, изменяются $(n-1)$ элементов всех остальных столбцов, начиная с $(k+1)$; при этом столбцы матрицы можно обрабатывать параллельно;
- осуществляется умножение на матрицу умножения слева, в результате чего изменяются $(n-1)$ элементов всех строк матрицы, начиная с k ; при этом строки матрицы можно обрабатывать параллельно.

Для приведения матрицы к двухдиагональной форме необходимо выполнить большее число операций. Это связано с тем, что элементы вектора отражения вычисляются на обоих этапах преобразования. Алгоритм приведения матрицы к верхней двухдиагональной форме можно записать следующим образом (7):

$$\begin{aligned}
 s_k &= -\operatorname{sign}(a_{k,k}) \left(\sum_{i=k}^n a_{ik}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \\
 \varphi_k &= (s_k^2 - s_k a_{k,k})^{-1} \\
 \mathbf{u}_k^T &= (0, \dots, 0, a_{k,k} - s_k, a_{k+1,k}, \dots, a_{nk}) \\
 \lambda_j &= \varphi_k \mathbf{u}_k^T \mathbf{a}_j \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
 \mathbf{a}_j &= \mathbf{a}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
 s'_k &= -\operatorname{sign}(a_{k,k+1}) \left(\sum_{i=k+1}^n a_{ki}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \\
 \varphi'_k &= (s_k'^2 - s'_k a_{k,k+1})^{-1} \\
 \mathbf{u}'_k &= (0, \dots, 0, a_{k,k+1} - s'_k, a_{k,k+2}, \dots, a_{kn}) \\
 \lambda'_j &= \varphi'_k \mathbf{b}_j \mathbf{u}'_k \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
 \mathbf{b}_j &= \mathbf{b}_j - \lambda'_j \mathbf{u}'_k^T \Big|_{j = \overline{k, n}}
 \end{aligned} \Bigg\| \quad k < n - 1 \tag{7}$$

Последовательность действий в целом похожа на последовательность действий при приведении к верхней хессенберговой форме, за исключением:

- при умножении справа для вычисления столбцов \mathbf{a}_j при формировании вектора отражения используются элементы столбца под главной диагональю вместе с элементом главной диагонали;
- при умножении слева формируется новый вектор отражения на основе элементов строки, лежащих справа от главной диагонали;
- общее число шагов в данном случае составляет $(n-1)$;
- при умножении слева выполняется меньшее число шагов $(n-2)$, обозначение $k < n - 1$ в данном выражении указывает на номера шагов, в рамках которых необходимо выполнять данные преобразования.

На рисунке 1 изображены блок-схемы алгоритмов приведения матриц к хессенберговой и двухдиагональной формам.

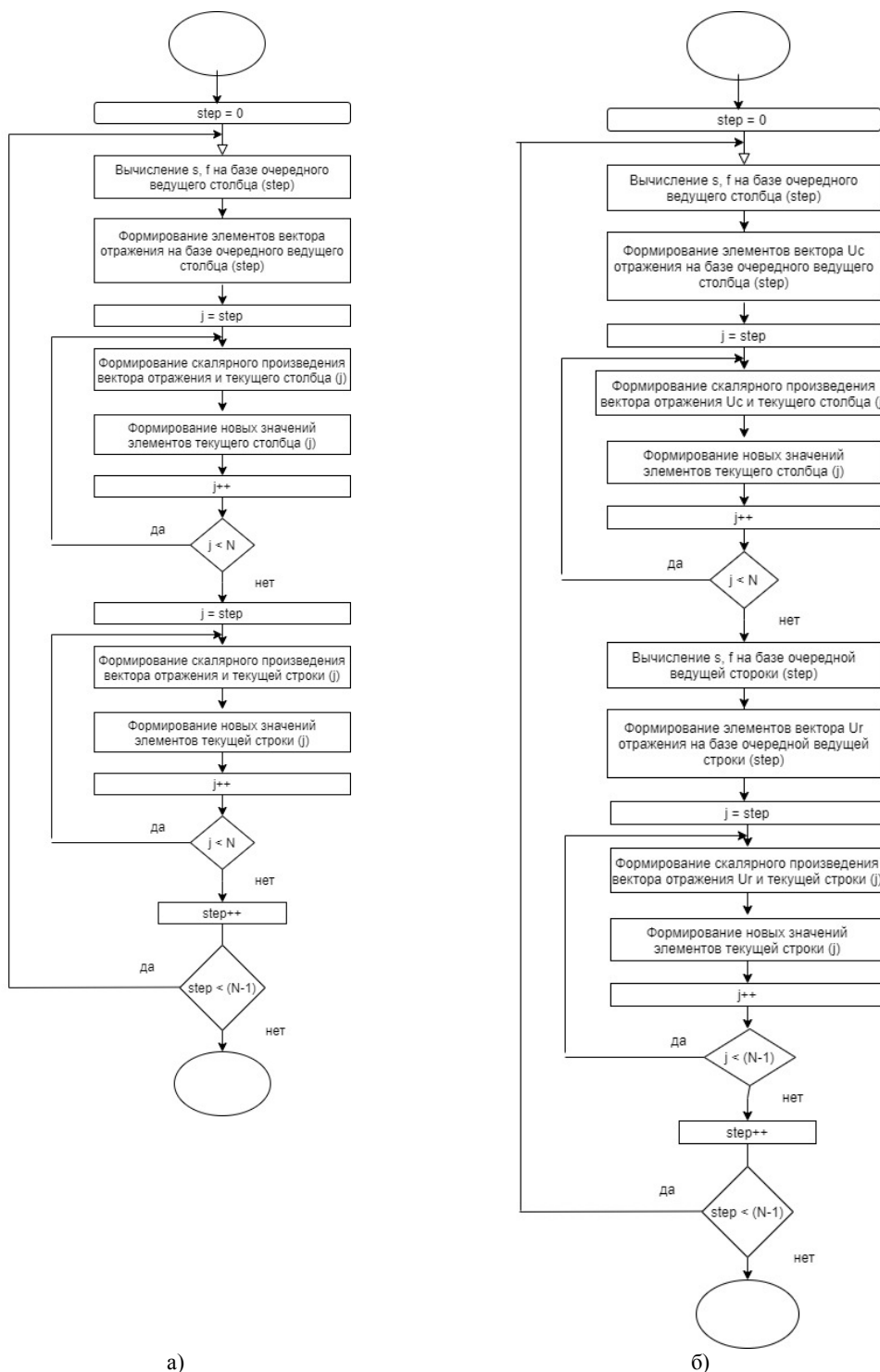


Рисунок 1 – Блок-схемы алгоритмов приведения матриц к хессенберговой (а) и двухдиагональной (б) формам

Как видно из рисунка 1, оба преобразования в целом очень похожи. Существенным отличием является тот факт, что в случае приведения матрицы к двухдиагональной форме на каждом шаге преобразования вектор отражения вычисляется дважды: при преобразовании столбцов на базе элементов ведущего столбца U_C и при преобразовании строк на базе элементов ведущей строки U_R . Так как преобразования в целом похожи, сосредоточимся на приведении матрицы к хессенберговой форме. В дальнейшем распространим полученные выводы на алгоритм приведения матрицы к двухдиагональной форме.

Для приведения матрицы к нижней хессенберговой форме на каждом шаге преобразования необходимо выполнить следующие действия (8):

$$\begin{aligned}
s_k &= -\operatorname{sign}(a_{k,k+1}) \left(\sum_{i=k+1}^n a_{ki}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \\
\varphi_k &= (s_k^2 - s_k a_{k,k+1})^{-1} \\
\mathbf{u}_k^T &= (0, \dots, 0, a_{k,k+1} - s_k, a_{k,k+2}, \dots, a_{kn}) \\
\lambda_j' &= \varphi_k \mathbf{b}_j \mathbf{u}_k \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
\mathbf{b}_j &= \mathbf{b}_j - \lambda_j' \mathbf{u}_k^T \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
\lambda_j &= \varphi_k \mathbf{u}_k^T \mathbf{a}_j \Big|_{j = \overline{k, n}} \\
\mathbf{a}_j &= \mathbf{a}_j - \lambda_j \mathbf{u}_k \Big|_{j = \overline{k, n}}
\end{aligned} \tag{8}$$

В целом выполняются те же действия с учетом следующих замечаний:

- вектора отражения формируются на базе элементов строк матриц;
- сначала преобразуются строки, затем столбцы матриц.

Во всех трех приведенных преобразованиях (6)–(8) для написания параллельных программ используется естественный параллелизм по данным, присущим данным методам:

- при умножении справа столбцы матрицы можно обрабатывать параллельно;
- при умножении слева строки матрицы можно обрабатывать параллельно.

Анализу данных преобразований посвящено значительное число публикаций. Большое внимание исследователей привлекает решение таких задач: выполнение собственного разложения для матриц специального вида, например [13–14, 22, 24]; обработка матриц специального вида в целом [13, 21]; использование сингулярного разложения при решении различных технических задач. Исследуется преобразование хессенберговых матриц, в том числе для получения собственного и сингулярного разложений [23, 25]. Традиционно пристальное внимание исследователей привлекает преобразование отражения Хаусхолдера [15, 16, 21, 23]. В основном публикации посвящены применению данного преобразования к решению различных конкретных задач, часто на вычислительных системах определенного типа. В данной статье предлагаются алгоритмы векторизации преобразования отражения Хаусхолдера, осуществляется сравнение полученных результатов с автоматической векторизацией кода современными оптимизирующими компиляторами.

Векторизация вычислений. Под векторными командами процессора понимается применение некоторой операции к набору данных, например, секции массива. Во многих алгоритмах можно выделить некоторую повторяющуюся модель доступа к данным, а также операции, которые могут выполняться над элементами из этого набора. С математической точки зрения данные операции представляют собой операции над некоторыми векторами. Использование таких векторных операций позволяет существенно повысить вычислительную эффективность целого ряда программ. Для реализации векторных операций микропроцессор должен иметь специальные «широкие» или SIMD (Single Instruction Multiply Data) регистры и набор соответствующих инструкций. Речь идет прежде всего об инструкциях наборов SSE и AVX. Каждый из SIMD-регистров может хранить несколько значений в зависимости от используемого типа данных. На рисунке 2 приведен пример упаковки данных в SIMD-регистры для вещественных типов данных языка программирования C++.

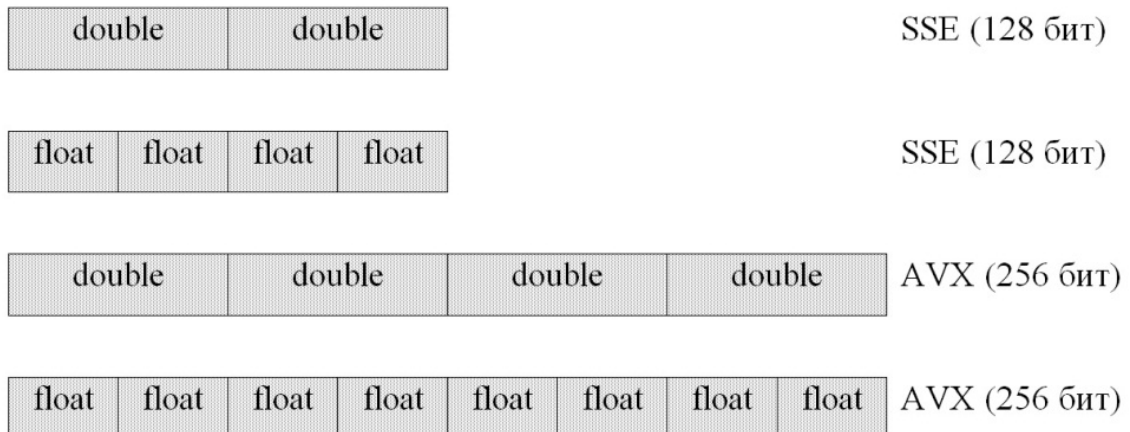


Рисунок 2 – Упаковка данных в SSE- и AVX-регистры

В последних поколениях процессоров Intel SIMD-регистры имеют размер 512 бит. Таким образом, на каждом ядре такого процессора можно одновременно производить действия над шестнадцатью числами с плавающей запятой одинарной точности (float) или с восемью числами с плавающей запятой двойной точности (double), шестнадцатью 32-битными целыми числами или восемью 64-битными целыми числами и т.д.

Операндами векторных инструкций могут быть как сами SIMD-регистры, так и вектора чисел, расположенные в памяти. Для эффективной загрузки этих векторов в SIMD-регистры их адреса в памяти должны удовлетворять определенным условиям: для 128-битных операций адрес должен быть кратен 16, для 256 – кратен 32, для 512 – кратен 64. Если адреса удовлетворяют этим условиям, то говорят, что они являются выровненными. Существует возможность работы и с невыровненными данными, однако это приводит к существенным потерям производительности.

Рассмотрим векторизацию алгоритма приведения матрицы к верхней хессенберговой форме (6). В рамках одного шага преобразования можно выделить четыре цикла:

- 1) вычисление нормы ведущего столбца;
- 2) вычисление элементов вектора отражения;
- 3) обработка столбцов;
- 4) обработка строк.

Циклы (1) и (2) имеют меньшую вычислительную сложность по сравнению с (3) и (4). При этом циклы (1)–(3) выполняются вдоль столбцов матрицы, цикл (4) – вдоль строк. Считаем, что матрицы хранятся в памяти по строкам, поэтому цикл обработки строк (4) имеет больший потенциал в контексте векторизации. Связано это с тем, что данные, используемые в цикле (4), расположены в памяти непрерывно. Поэтому они могут загружаться в SIMD-регистры операциями векторной загрузки. В циклах (1)–(3) данные не расположены непрерывно. Поэтому они при векторной обработке будут загружаться в SIMD-регистры поэлементно, что отрицательно влияет на производительность. Кроме всего прочего, цикл (4) имеет высокую вычислительную сложность.

В связи с этим основное внимание уделим векторизации данного цикла, полученные решения частично могут быть применены и к остальным циклам. Рассмотрим проблемы векторизации данного цикла на примере матрицы с нечетной размерностью, например, 11×11 . Цветом выделим элементы вектора отражения и строк матрицы, попадающих в один регистр AVX (256 бит). При этом считаем, что сами массивы V и A выровнены по границе 32 байта.

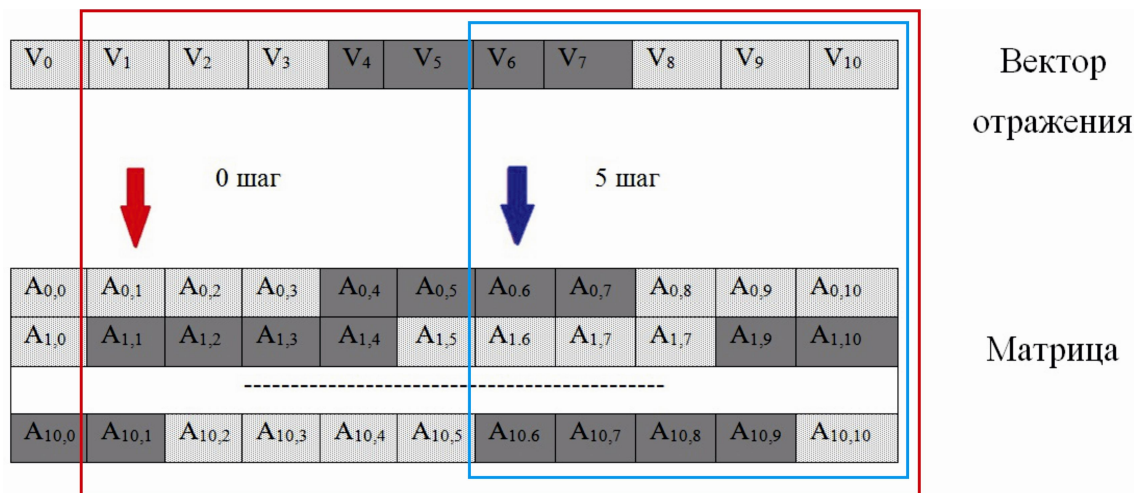


Рисунок 3 – Выполнение очередного шага преобразования

Рассмотрим выполнение нулевого шага преобразования ($k = 0$ в (6)). На нулевом шаге обработка начинается с первого элемента вектора отражения (V_1), также с первых элементов строк матрицы ($A_{0,1}$, $A_{1,1}$ и т.д.). Проанализируем обработку строк:

- первая строка. Элементы строки и вектора отражения выровнены одинаково, обработка начинается с первого элемента. Необходим пролог цикла для обработки первых трех элементов. Далее векторизованная часть (в данном случае 4 элемента). Затем – эпилог цикла для обработки последних трех элементов;
- вторая строка. Элементы строки и вектора отражения выровнены по-разному, в зависимости от способа обработки начала цикла. Может быть сформирован пролог цикла, далее следует векторизованная часть. Затем – эпилог цикла.

Необходимо пояснить смысл терминов «пролог цикла» и «эпилог цикла». Они относятся к анализу выровненности данных, к которым производится обращение. В общем случае данные находятся в памяти по невыровненным адресам, что потенциально снижает производительность работы программы. Избежать данных потерь позволяет разбиение цикла на три части: пролог, выровненная основная часть, эпилог цикла. Пролог представляет собой несколько первых элементов, которые предшествуют первому элементу, расположенному по выровненному адресу. В свою очередь эпилог представляет собой последние несколько элементов цикла, следующие за последним вектором, расположенным по выровненному адресу.

В качестве иллюстрации обратимся к рисунку 3 и рассмотрим преобразование первой строки. Элементы векторов обозначены одним цветом (по четыре элемента на вектор), причем первый элемент матрицы расположен по выровненному адресу. Тогда при обработке первой строки необходимо сформировать пролог, содержащий три элемента ($A_{0,1}, A_{0,2}, A_{0,3}$). Далее следует основной цикл, содержащий в данном случае один выровненный вектор ($A_{0,4}, A_{0,5}, A_{0,6}, A_{0,7}$), и эпилог, содержащий три элемента ($A_{0,8}, A_{0,9}, A_{0,10}$).

При выполнении 5-го шага преобразования наблюдается такая же картина, т.е. необходимо формирование пролога и эпилога цикла, присутствует различное выравнивание элементов вектора отражения и строк матрицы.

Современные оптимизирующие компиляторы осуществляют автоматическую векторизацию кода программ. При этом схема векторизации циклов в общем случае выглядит примерно следующим образом:

- формируется не векторизованный пролог цикла, после выполнения которого текущие элементы обрабатываемых массивов находятся по выровненным адресам;
- векторизуется средняя часть цикла;
- формируется не векторизованный эпилог, обрабатывающий последние элементы, число которых меньше ширины SIMD-регистра;
- если в цикле используются несколько массивов и выровнены они по-разному, то компилятор выбирает один из них. Обработка данного массива будет осуществляться с использованием выровненных считываний из памяти, а обработка остальных – с использованием невыровненных обращений. Пролог и эпилог цикла формируются на основе выбранного массива.

Компиляция исходной программы, реализующей приведение матрицы к верхней хессенберговой форме, осуществлялась компилятором Intel C++ Compiler. В результате автоматической векторизации был получен значительный прирост производительности, о чем будет сказано ниже.

Однако компилятор не может преодолеть описанные выше ограничения, заключающиеся в необходимости формирования не векторизованных прологов и эпилогов циклов, а также в необходимости использования невыровненных массивов в том случае, если вектор отражения и строка матрицы выровнены по-разному. Повысить эффективность векторизации можно, решив проблемы с формированием неэффективных пролога и эпилога цикла, а также выполнив взаимное выравнивание элементов вектора отражения и элементов строк матрицы. Здесь необходимо рассмотреть три случая:

- размерность матрицы кратна ширине SIMD-регистра; например, в случае использования типа данных `double` и технологии AVX – кратна 4, при использовании AVX и `float` – кратна 8 и т.д.;
- размерность матриц четная, но не кратна ширине SIMD-регистра, например, 10 для AVX и `double`;
- размерность матриц нечетная.

Для каждого из этих случаев будет использоваться свой алгоритм векторизации. Проанализируем каждый из этих случаев по отдельности.

На рисунке 4 приведено выполнение шага преобразования для кратной размерности матрицы. Для примера используется матрица 12×12 .

Анализируя рисунок 4, можно сделать следующие выводы:

- элементы вектора отражения и строк исходной матрицы выровнены одинаково;
- эпилог цикла отсутствует в силу того, что длина строки кратна ширине SIMD-регистра (в данном случае 4).

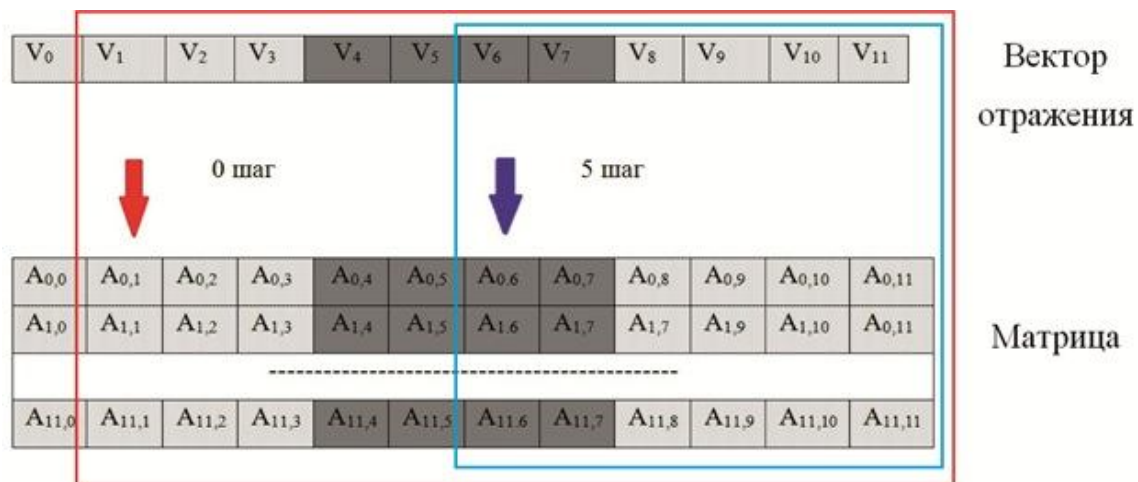


Рисунок 4 – Выполнение шага преобразования для матрицы с размерностью, кратной ширине SIMD-регистра

Несколько повысить эффективность реализации данного цикла можно, избавившись от пролога цикла.

Рассмотрим исходный не векторизованный код обработки строк.

```
for(int row = step; row < N; row++)
{
    double scalar = 0;
    for(int i = (step + shift); i < N; i++)
        scalar += matr[row * N + i] * vect[i];
    scalar *= gamma;
    for(int i = (step + shift); i < N; i++)
        matr[row * N + i] -= scalar * vect[i];
}
```

Для каждой строки матрицы сначала вычисляется скалярное произведение с вектором отражения, затем вычисляются новые значения элементов строки. В строке обрабатываются элементы, начиная с $(step + shift)$, где $step$ – номер шага преобразования, $shift = 1$ для приведения матрицы к хессенберговой форме. Очевидно, что обработка в общем случае начинается с невыровненного адреса. Однако если учесть, что все элементы вектора отражения с индексами, меньшими $(step + shift)$, в соответствии с алгоритмом (6) равны нулю и данные нулевые значения нужно записывать в необходимые элементы V при его формировании, то обработку можно начинать с ближайшего меньшего выровненного индекса. В случае нулевого шага обработку можно начинать с нулевого элемента, на пятом шаге – с четвертого. Код с использованием соответствующих директив компилятора в данном случае будет выглядеть следующим образом.

Формирование скалярного произведения:

```
for(int row = step; row < N; row++)
{
    // Скалярное произведение
    double scalar = 0;
    #pragma vector aligned
    for(int i = stepShift - alignVect; i < N; i++)
        scalar += matr[row * N + i] * vect[i];
    scalar *= gamma;
    #pragma vector aligned
    for(int i = stepShift - alignVect; i < N; i++)
        matr[row * N + i] -= scalar * vect[i];
}
```

Рассмотрим матрицы с четной размерностью, величина которой не кратна ширине SIMD-регистров. Для примера рассмотрим матрицу 10×10 .

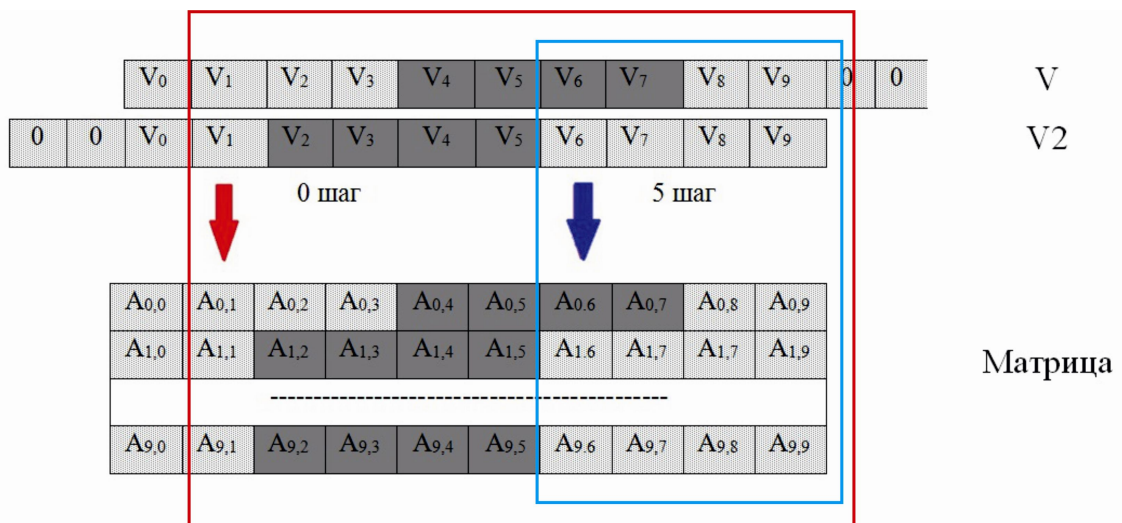


Рисунок 5 – Выполнение шага преобразования для матрицы с четной размерностью, не кратной ширине SIMD-регистра

Анализируя рисунок 5, можно сделать следующие выводы:

- элементы вектора отражения и строк исходной матрицы в общем случае выровнены по-разному;

- эпилог цикла необходим (например, элементы $A_{0,8}$ и $A_{0,9}$ первой строки).

Избавиться от пролога цикла можно так же, как и в предыдущем случае, т.е. путем смещения первого обрабатываемого элемента в сторону первого меньшего выровненного индекса. Однако такой подход сработает только для строк с четными номерами (0, 2 и т.д.), так как они выровнены так же, как и вектор отражения. Для строк нечетными номерами необходимо сформировать еще один вектор отражения V_2 , как показано на рисунке 5. В этом случае, например, обработка элемента $A_{1,1}$ будет осуществляться совместно с $A_{0,8}$, $A_{0,9}$ и $A_{1,0}$. Но за счет наличия ведущих нулей в векторе V_2 результат будет корректным.

В строках с четными номерами необходимо формировать эпилог, однако за счет добавления нулей в конце вектора V результат также будет корректен. Цикл обработки строк в данном случае трансформируется в два цикла – обработки строк с четными и нечетными номерами.

```
alignVect = stepShift % 4;
for(int row = rowEven; row < N; row += 2){
double scalar = 0;
#pragma vector aligned
for(int i = stepShift - alignVect; i < (N + 2); i++)
scalar += matr[row * N + i] * vect[i];
scalar *= gamma;
#pragma vector aligned
for(int i = stepShift - alignVect; i < (N + 2); i++)
matr[row * N + i] -= scalar * vect[i];}
alignMatr = (rowNotEven * N + stepShift) % stride;
for(int row = rowNotEven; row < N; row += 2){
double scalar = 0;
#pragma vector aligned
for(int i = stepShift - alignMatr; i < N; i++)
scalar += matr[row * N + i] * vect2[i + 2];
scalar *= gamma;
#pragma vector aligned
for(int i = stepShift - alignMatr; i < N; i++)
matr[row * N + i] -= scalar * vect2[i + 2];}
```

Для матриц с нечетной размерностью возможны два алгоритма. Они представлены на рисунках 6 и 7.

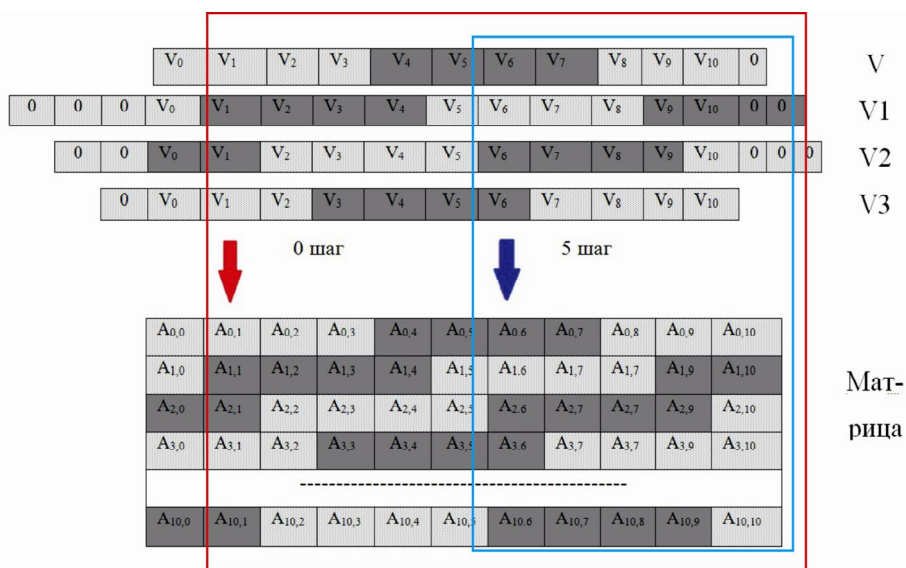


Рисунок 6 – Выполнение шага преобразования для матрицы с нечетной размерностью

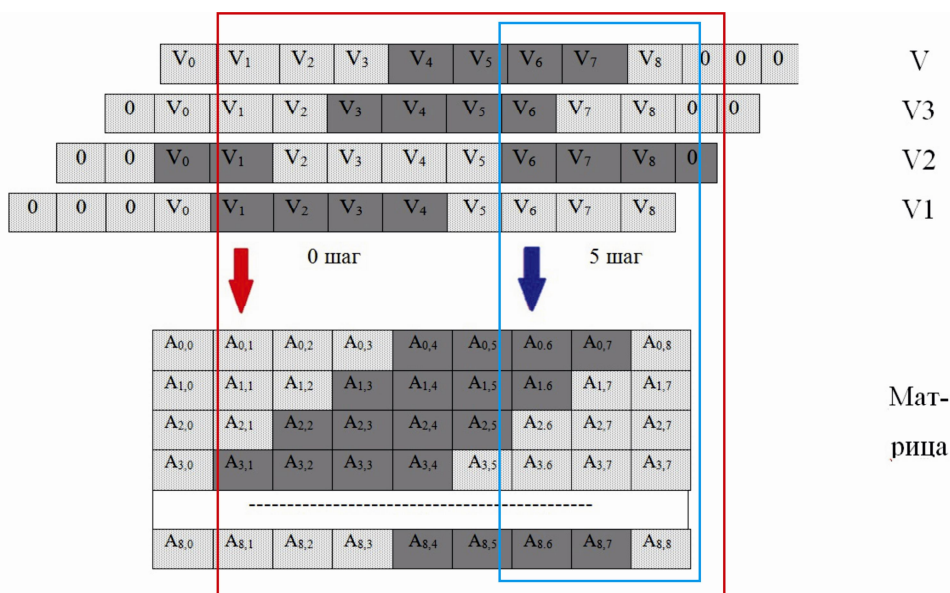


Рисунок 7 – Выполнение шага преобразования для матрицы с нечетной размерностью (вариант 2)

В данном случае необходимо формировать четыре цикла в рамках цикла обработки строк. При этом в каждом цикле используется свой вектор отражения.

Результаты вычислительных экспериментов. В качестве объекта исследований была выбрана параллельная вычислительная система с общей памятью, построенная на базе многоядерных микропроцессоров Xeon E5-2650v3(x2) 2.3 GHz. Эта система входит в состав вычислительного кластера Волгоградского государственного технического университета. В качестве компилятора использовался Intel C++ Compiler version 18.

Эксперименты проводились следующим образом. Отдельно для матриц четной кратной, четной некратной и нечетной размерности:

- осуществлялась компиляция исходного кода без векторизации (ключ компилятора no-vec);
- осуществлялась компиляция исходного кода с автоматической векторизацией (ключ компилятора xAVX);
- осуществлялась компиляция кода, векторизованного с использованием описанных выше алгоритмов;
- осуществлялся замер времени выполнения программ на ряде значений размерностей;

• определялись ускорения полученных программ, векторизованных автоматически и с использованием предложенных алгоритмов.

Отдельно определялось ускорение для векторизуемого цикла и для всего преобразования в целом. Были получены следующие результаты (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Полученные значения ускорения для векторизуемого цикла

Размерность матриц	Автоматическая векторизация	Ручная векторизация
N = 100	2,0	2,7
N = 200	1,9	2,3
N = 500	1,85	2,1
N = 1000	1,8	2,0
N = 1500	1,75	1,9
N = 2000	1,7	1,8
N = 3000	1,43	1,5
N = 4000	1,36	1,4
N = 5000	1,33	1,34
N = 6000	1,30	1,32

Таблица 2 – Полученные значения ускорения для приведения матриц к хессенберговой форме в целом

Размерность матриц	Автоматическая векторизация	Ручная векторизация
N = 100	1,55	1,7
N = 200	1,5	1,55
N = 500	1,4	1,45
N = 1000	1,17	1,2
N = 1500	1,15	1,18
N = 2000	1,13	1,15
N = 3000	1,1	1,12
N = 4000	1,08	1,1
N = 5000	1,07	1,09
N = 6000	1,06	1,08

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

• для векторизуемого цикла максимальное значение ускорения, полученное при ручной векторизации в соответствии с предложенным алгоритмом, достигает 2,7 при асимптотическом значении 4 (соответствует ширине SIMD-регистра). Это на 70 % превышает максимальное значение ускорения, полученное при автоматической векторизации;

• для преобразования в целом значения получено меньшее ускорение. Это связано с необходимостью выполнения ряда других циклов, гораздо менее перспективных с точки зрения векторизации. Например, циклов обработки столбцов матрицы.

Следует также отметить, что при увеличении размерности матрицы значение ускорения значительно снижается. При использовании матриц, размерность которых превышает 4000, ускорение от векторизации не превышает значения 10 %. Снижение производительности связано с тем, что матрицы подобных размерностей не помещаются целиком в кэш-память процессора и при обращении к элементам данных матриц генерируется большое число кэш-промахов (кэш-промах происходит в том случае, когда микропроцессор пытается обратиться к данным, которые отсутствуют в кэш-памяти). В этом случае данные необходимо подгружать из основной памяти. Если же необходимые данные находятся в кэш-памяти, то они быстро извлекаются из нее для обработки. 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 [4]. В данном случае потери производительности от большого числа кэш-промахов начинают превалировать над полученным ускорением от векторизации, и общая производительность программы снижается.

Заключение. Эксперименты подтвердили эффективность предложенных алгоритмов векторизации. Данные алгоритмы позволяют увеличить скорость работы программы, полученной в результате автоматической векторизации на величину до 15 %. При этом увеличение скорости программы по отношению к невекторизованному коду составляет до 70 %. Выполнение векторизованного цикла ускорилось в 2,7 раза, выигрыш по отношению к автоматической векторизации в данном случае составил до 70 %. Следует также отметить, что при больших размерностях, когда возникает необходимость частых обращений к оперативной памяти, в процессе которых генерируются кэш-промахи, эффект от векторизации уменьшается.

Библиографический список

1. Брумштейн Ю. М. Анализ возможных подходов к методам компьютерного моделирования некоторых специальных задач геофильтрации / Ю. М. Брумштейн // *Известия ВолГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах*. – 2014. – № 25 (152). – С. 5–11.
2. Голуб Дж. Матричные вычисления / Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун. – Москва : Мир, 1999.
3. Егунов В. А. Кэш-оптимизация процесса вычисления собственных значений на параллельных вычислительных системах / В. А. Егунов // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2019. – № 1 (45). – С. 154–163.
4. Егунов В. А. О влиянии кэш-памяти на эффективность программной реализации базовых операций линейной алгебры / В. А. Егунов // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2018. – № 3. – С. 88–96.
5. Егунов В.А. Оценка эффективности программной реализации QR-разложения на многоядерных архитектурах. / В. А. Егунов, С. И. Кириносенко, П. Д. Кравченя, О. О. Шумейко // *Известия ВолГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах*. – 2017. – № 1 (196). – С. 56–59.
6. Забелин А. В. Анализ корреляции собственных частот и векторов колебаний конечно-элементных моделей пролетных строений мостов / А. В. Забелин, А. А. Пыхалов // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. – 2018. – Т. 8, № 1 (24). – С. 143–159.
7. Клаф Р. Динамика сооружений / Р. Клаф, Дж. Пензиен. – Москва : Стройиздат, 1979. – 320 с.
8. Кон В. Нобелевские лекции по химии – 1998 / В. Кон, Дж. А. Попл // УФН. – 2002. – Т. 172. – С. 335.
9. Кочура А. Е. Разработка алгоритма решения систем линейных уравнений с варьирруемыми параметрами, использующего разреженность матрицы / А. Е. Кочура, Л. В. Подколызина, Я. А. Ивакин, И. И. Нидзиев // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2014. – № 2. – С. 10–115.
10. Aase S. O. A critique of SVD-based image coding systems / S. O. Aase, J. H. Husoy, P. Waldemar // *Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Circuits and Systems VLSI*. – Piscataway : IEEE Press, NJ, 1999. – Vol. 4. – P. 13–16.
11. Andreev A. E. Solving of Eigenvalue and Singular Value Problems via Modified Householder Transformations on Shared Memory Parallel Computing Systems / A. E. Andreev, V. A. Egunov // *Supercomputing: RuSCDays : 5th Russian Supercomputing Days (Moscow, Russia, September 23–24, 2019) : Conference proceedings*. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, 2019. – P. 131–151. (Book Ser.: Communications in Computer and Information Science (CCIS); Vol. 1129). – Режим доступа: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-030-36592-9>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
12. Andreev A., Doukhnitchev E., Egunov V., Zharikov D., Shapovalov O., Artuh S. Evaluation of Hardware Implementations of CORDIC-Like Algorithms in FPGA Using OpenCL Kernels // *Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volgograd, Russia, September 17–20, 2014)*. – Springer International Publishing, 2014. – P. 228–242. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).
13. 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. – Vol. 36 (3), art. no. 13. – DOI: 10.1145/1527286.1527287.
14. 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. – Vol. 271. – P. 119–143.
15. Bujanovic Z. A householder-based algorithm for hessenberg-triangular reduction / Z. Bujanovic, L. Karlsson, D. Kressner // *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*. – 2018. – Vol. 39 (3). – P. 1270–1294.
16. Dominguez T. Fast Blocking of Householder Reflectors on Graphics Processors / T. Dominguez, A. E. Quintana, E. S.Orti // *26th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing*. – PDP, 2018. – P. 385–393.
17. Egunov V. A. Implementation of QR and LQ decompositions on shared memory parallel computing systems / V. A. Egunov, A. E. Andreev // *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Chelyabinsk, Russia, 19–20 May 2016)*. – IEEE, 2016. – 5 p. – DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911607.
18. Getmanskiy V. Optimization and Parallelization of CAE Software Stress-Strain Solver for Heterogeneous Computing Hardware / V. Getmanskiy, Andreev, S.Alekseev, A. S. Gorobtsov, V. Egunov, E. Kharkov // *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Second Conference, CIT&DS 2017 (Volgograd, Russia, September 12–14, 2017) : Proceedings*. – Germany : Springer International Publishing AG, 2017. – P. 562–674. – (Ser. Communications in Computer and Information Science ; Vol. 754).
19. Glinsky B. The Co-design of Astrophysical Code for Massively Parallel Supercomputers / B. Glinsky, I. Kulikov, I. Chernykh, D. Weins, A. Snytnikov, V. Nenashev, A. Andreev, V. Egunov, E. Kharkov // *Algorithms and Architectures for Parallel Processing. ICA3PP 2016 Collocated Workshops: SCDT, TAPEMS, BigTrust, UCER, DLMCS (Granada, Spain, December 14–16, 2016) : Proceedings*. – Springer International Publishing, 2016. – P. 342–353. – (Ser. Lecture Notes in Computer Science ; Vol. 10049).
20. Harris D. Digital Design and Computer Architecture / D. Harris, S. Harris. – 2nd ed. – NY, Morgan Kaufmann, 2012. – 712 p.
21. Merchant F. Efficient realization of householder transform through algorithm-architecture co-design for acceleration of QR Factorization / F. Merchant, T. Vatwani, A. Chattopadhyay, S. K. Nandy, R. Narayan // *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. – 2018. – Vol. 29 (8). – P. 1707–1720.

22. Polizzi E. Density-matrix-based algorithm for solving eigenvalue problems / E. Polizzi // *Physical Review B – Condensed Matter and Materials Physics*. – 2009. – Vol. 79 (11), art. no. 115112. – DOI: 10.1103/PhysRevB.79.115112.
23. 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.
24. Tian Y. Some results on the eigenvalue problem for a fractional elliptic equation / Y. Tian // *Boundary Value Problems*. – 2019. – no. 1. – P. 13.
25. Vatankeh S. Large-scale Inversion of Magnetic Data Using Golub-Kahan Bidiagonalization with Truncated Generalized Cross Validation for Regularization Parameter Estimation / S. Vatankeh // *Journal of the Earth and Space Physics*. – 2019. – Vol. 44 (4). – P. 29–39.

References

1. Brumshteyn Yu. M. Analiz vozmozhnykh podkhodov k metodam kompyuternogo modelirovaniya nekotorykh specialnykh zadach geofiltratsii [Analysis of possible approaches to computer modeling methods for some special geofiltration problems]. *Izvestiya VolgGTU. Seriya. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual problems of control, computer engineering and Informatics in technical systems], 2014, no. 25 (152), pp. 5–11
2. Golub Dzh., Van Loun Ch. *Matrichnye vychisleniya* [Matrix calculations]. Moscow, Mir Publ., 1999.
3. Egunov V. A. Kesh-optimizatsiya protsessa vychisleniya sobstvennykh znacheniy na parallelnykh vychislitel'nykh sistemakh [Cache-optimization of the eigenvalue calculation process on parallel computing systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokoye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2019, no. 1 (45), pp. 154–163.
4. Egunov V. A. O vliyani kesh-pamyati na effektivnost programmnoy realizatsii bazovykh operatsiy lineynoy algebry [On the influence of cache memory on the effectiveness of software implementation of basic operations of linear algebra]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokoye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 3, pp. 88–96.
5. 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. Seriya. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual problems of control, computer engineering and Informatics in technical systems], 2017, no. 1 (196), pp. 56–59.
6. Zabelin A. V., Pykhalov A. A. Analiz korrelyatsii sobstvennykh chastot i vektorov kolebaniy konechno-elementnykh modeley proletnykh stroeniy mostov [Analysis of correlation of natural frequencies and vibration vectors of finite element models of bridge spans]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost* [University news. Investment. Construction. Realty], 2018, vol. 8, no. 1 (24), pp. 143–159.
7. Klaf R., Penzien Dzh. *Dinamika sooruzheniy* [Dynamics of structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 320 p.
8. Kon V., Popl Dzh. A. *Nobelevskie leksii po khimii – 1998* [Nobel lectures in chemistry – 1998]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)], 2002, vol. 172, p. 335. (
9. Kochura A. E., Podkolzina L. V., Ivakin Ya. A., Nidziev I. I. Razrabotka algoritma resheniya sistem lineynykh uravneniy s variuemymi parametrami, ispolzuyushchego razrezhennost matritsy [Development of an algorithm for solving systems of linear equations with variable parameters using sparsity of the matrix]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokoye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 101–115.
10. Aase S. O.; Husoy J. H. Waldemar P. A critique of SVD-based image coding systems. *Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Circuits and Systems VLSI*. Piscataway, IEEE Press, NJ, 1999, vol. 4, pp. 13–16.
11. Andreev A. E., Egunov V. A. Solving of Eigenvalue and Singular Value Problems via Modified Householder Transformations on Shared Memory Parallel Computing Systems. *Supercomputing: RuSCDays: 5th Russian Supercomputing Days (Moscow, Russia, September 23–24, 2019): Conference proceedings*. Cham (Switzerland), Springer Nature Switzerland AG, 2019, pp. 131–151. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-030-36592-9>. (Book Ser.: Communications in Computer and Information Science (CCIS); Vol. 1129).
12. Andreev A., Doukhnich E., Egunov V., Zharikov D., Shapovalov O., Artuh S. Evaluation of Hardware Implementations of CORDIC-Like Algorithms in FPGA Using OpenCL Kernels. *Knowledge-Based Software Engineering: Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volgograd, Russia, September 17–20, 2014)*. Springer International Publishing, 2014, pp. 228–242. (Series: Communications in Computer and Information Science; Vol. 466).
13. 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, vol. 36 (3), art. no. 13. DOI: 10.1145/1527286.1527287.
14. 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, vol. 271, pp. 119–143.
15. Bujanovic Z., Karlsson L., Kressner D. A householder-based algorithm for hessenberg-triangular reduction. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 2018, vol. 39 (3), pp. 1270–1294.
16. Dominguez T., Quintana A. E., Orti E. S. Fast Blocking of Householder Reflectors on Graphics Processors. *26th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, PDP, 2018*, pp. 385–393.
17. Egunov V. A., Andreev A. E. Implementation of QR and LQ decompositions on shared memory parallel computing systems. *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Chelyabinsk, Russia, 19–20 May 2016)*. IEEE, 2016. 5 p. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911607.
18. Getmanskiy V., Andreev A. E., Alekseev S., Gorobtsov A. S., Egunov V., Kharkov E. Optimization and Parallelization of CAE Software Stress-Strain Solver for Heterogeneous Computing Hardware. *Creativity*

in *Intelligent Technologies and Data Science. Second Conference, CIT&DS 2017 (Volgograd, Russia, September 12–14, 2017) : Proceedings*. Germany, Springer International Publishing AG, 2017, pp. 562–674. (Ser. Communications in Computer and Information Science ; Vol. 754).

19. Glinsky B., Kulikov I., Chernykh I., Weins D., Snytnikov A., Nenashev V., Andreev A., Egunov V., Khar'kov E. The Co-design of Astrophysical Code for Massively Parallel Supercomputers. *Algorithms and Architectures for Parallel Processing. ICA3PP 2016 Collocated Workshops: SCDT, TAPEMS, BigTrust, UCER, DLMCS (Granada, Spain, December 14–16, 2016) : Proceedings*. Springer International Publishing, 2016, pp. 342–353. (Ser. Lecture Notes in Computer Science ; Vol. 10049).

20. Harris D., Harris S. *Digital Design and Computer Architecture*. 2nd ed. NY, Morgan Kaufmann, 2012. 712 p.

21. Merchant F., Vatwani T., Chattopadhyay A., Nandy S. K., Narayan R. Efficient realization of householder transform through algorithm-architecture co-design for acceleration of QR Factorization. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2018, vol. 29 (8), pp. 1707–1720.

22. Polizzi E. Density-matrix-based algorithm for solving eigenvalue problems. *Physical Review B – Condensed Matter and Materials Physics*, 2009, vol. 79 (11), art. no. 115112. DOI: 10.1103/PhysRevB.79.115112.

23. Salam A., Kahla H. B., An upper J-Hessenberg reduction of a matrix through symplectic Householder transformations. *Computers and Mathematics with Applications*, 2019.

24. Tian Y. Some results on the eigenvalue problem for a fractional elliptic equation. *Boundary Value Problems*, 2019, no. 1, p. 13.

25. Vatankhah S. Large-scale Inversion of Magnetic Data Using Golub-Kahan Bidiagonalization with Truncated Generalized Cross Validation for Regularization Parameter Estimation. *Journal of the Earth and Space Physics*, 2019, vol. 44 (4), pp. 29–39.

DOI 10.21672/2074-1707.2020.50.2.096-110

УДК 004.4:004.89:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИГРОВОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА^{1*}

Статья поступила в редакцию 19.03.2020, в окончательном варианте – 21.04.2020.

Анохин Александр Олегович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, магистрант, e-mail: alex.anokhin.st@gmail.com

Садовникова Наталья Петровна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, доктор технических наук, профессор, ORCID 0000-0002-7214-9432 e-mail: npsn1@ya.ru, elibrary: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=427120

Катаев Александр Вадимович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, кандидат технических наук, доцент, e-mail: alexander.kataev@gmail.com

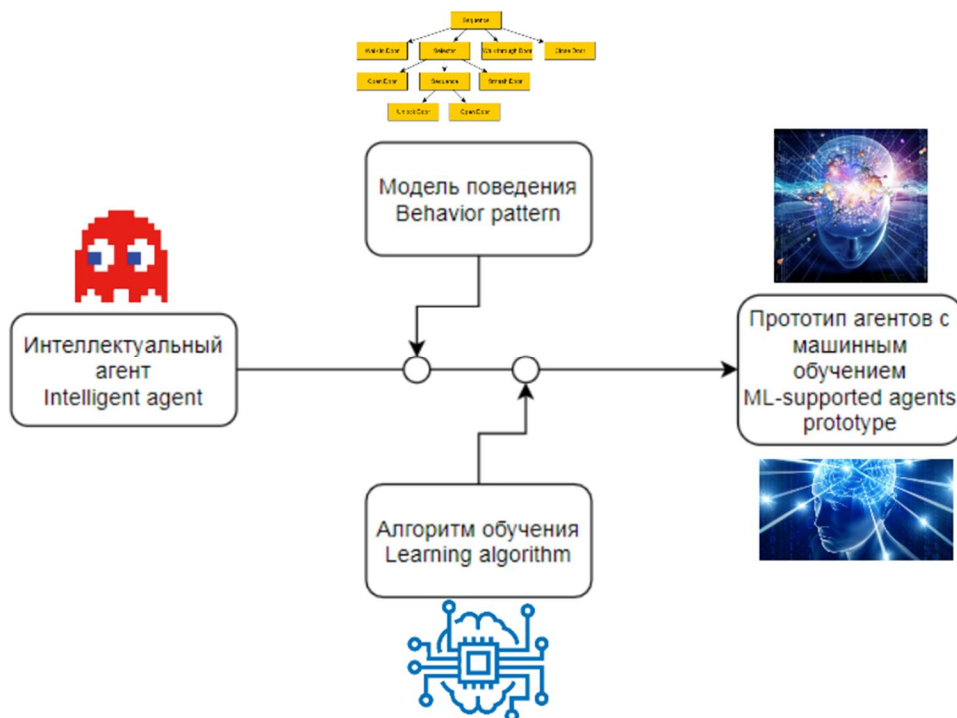
Парыгин Данила Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, кандидат технических наук, доцент, ORCID 0000-0001-8834-5748, e-mail: dparugin@gmail.com, elibrary: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=842349

В статье рассматриваются некоторые вопросы эффективности применения методов машинного обучения к моделированию поведения интеллектуальных агентов в компьютерных играх и других программных разработках. Основное внимание уделено анализу методов построения моделей поведения интеллектуальных агентов. Проведен обзор существующих программных решений, реализующих данные методы в игровых приложениях. Рассмотрены их особенности, достоинства и недостатки. С учетом результатов анализа разработана новая программная платформа для моделирования поведения интеллектуальных агентов. В качестве способа описания поведения агента выбран автоматный подход. Тестирование разработанной модели поведения агента показало, что ее можно использовать для создания игрового искусственного интеллекта, который будет демонстрировать достаточно реалистичное поведение игровых персонажей в различных ситуациях. Платформа реализована на языке C++, для визуализации использовалась библиотека SFML.

Ключевые слова: игровой искусственный интеллект, обучения с подкреплением, интеллектуальный агент, машинное обучение, модель на правилах, дерево поведения, конечно-автоматная модель

^{1*} Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-07-01308_а и № 18-37-20066 “мол_а_вед”

Графическая аннотация (Graphical annotation)



MODELING OF AGENTS BEHAVIOR TO IMPLEMENT GAMING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The article was received by the editorial board on 19.03.2020, in the final version – 21.04.2020.

Anokhin Alexander O., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

postgraduate student, e-mail: alex.anokhin.st@gmail.com

Sadovnikova Natalia P., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID 0000-0002-7214-9432, e-mail: npsn1@ya.ru

Kataev Alexander V., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

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

Parygin Danila S., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID 0000-0001-8834-5748, e-mail: dparygin@gmail.com

The paper discusses the effectiveness of machine learning in modeling the behavior of intelligent agents. The main attention was paid to the analysis of methods for constructing behaviors of intelligent agents. Some of the existing software solutions that implement these methods in gaming applications reviewed and their features and disadvantages considered. A new software platform for modeling the behavior of intelligent agents using an automaton approach as a way of describing agent behavior was developed based on the analysis results. Testing of the developed agent behavior model showed that it can be used to create artificial intelligence for games. This artificial intelligence will demonstrate quite realistic behavior of game characters in various situations. The platform is implemented in C++; the SFML library was used for visualization.

Keywords: game artificial intelligence, reinforcement learning, intelligent agent, machine learning, rule-based model, behavior tree, finite state machine

Введение. С момента появления первых компьютерных игр возникла необходимость в развитии инструментов противостояния действиям игроков. Игровой процесс, заключающийся только в достижении игроком поставленных задач без каких-либо затруднений или конкуренции со стороны игровой программы, может быть скучным, линейным и однообразным, хотя и существуют игры, где вся сложность заключается в геометрии уровней.

Первые модели программных компонентов – ботов – появились вместе с первыми играми. Они были максимально просты и могли выполнять автоматически и/или алгоритмизированные по расписанию действия. Такие ограничения были продиктованы вычислительными мощностями компьютеров того времени, а кроме того, не слишком притязательные игроки, пока ещё не избалованные возможностями игрового искусственного интеллекта, не требовали большего. Такая ситуация сохранялась с момента зарождения компьютерных игр в середине XX в. до начала XXI в.

С течением времени модели поведения ботов в играх стали всё стремительнее совершенствоваться. Одновременно улучшалась и реалистичность компьютерной графики. Основные причины: рост количества компьютеров и иных устройств, используемых населением; совершенствование их технических характеристик; увеличение конкуренции между разработчиками компьютерных игр.

В 2005 г. произошёл прорыв – вышла игра F.E.A.R. [9], боты в которой были способны демонстрировать очень реалистичное поведение, в основе которого лежала новая конечно-автоматная модель. С тех пор игровая индустрия сильно изменилась, но необходимость в создании более совершенных моделей поведения неигровых персонажей (англ. *Non-playable character (NPC)* – персонаж, управляемый компьютером) сохраняется.

Ведущим направлением на данный момент является применение методов машинного обучения (ММО) для получения наиболее реалистичной модели поведения интеллектуальных агентов [3, 48].

Целью данного исследования является разработка системы симуляции «искусственной жизни» с возможностью расширения до самообучения. Создание такого инструмента позволит проводить эксперименты с различными моделями поведения агентов и выбирать лучшие для решения различных задач, связанных с моделированием мультиагентных систем с учетом их особенностей и ограничений [37].

Современные подходы к моделированию поведения агентов. Развитие игрового искусственного интеллекта (ИИ) тесно связано с развитием ИИ вне игр. Некоторые игры могут быть использованы для моделирования определённых стечений (сочетаний) обстоятельств, возможных в реальной жизни, на игровой платформе. Это позволяет определить, к каким последствиям может привести применение искусственного интеллекта в какой-либо сфере деятельности [7, 8].

Эксперименты по применению ММО к моделированию поведения интеллектуальных агентов в играх ведутся не первое десятилетие. Однако вопрос целесообразности применения алгоритмов обучения до сих пор актуален. Поэтому необходимо провести обзор научных статей на тему алгоритмов, используемых в ММО, которые применяются исследователями к различным моделям поведения интеллектуальных агентов.

В целом обзор источников с целью определения методов ММО, наиболее часто применяемых к моделированию поведения агентов, осуществлялся среди тематических публикаций, вышедших с 2014 г. Это связано с высокой скоростью развития соответствующих технологий и, как следствие, быстрым моральным старением некоторых алгоритмов. Суммарно было проанализировано около 400 статей, среди которых около пятидесяти рассматривали примеры применения конкретных методов. При этом почти 90 % из рассмотренных статей являются англоязычными. Далее мы подробно рассмотрим применение различных подходов в актуальных исследованиях вообще и на примере ряда популярных игр в частности (табл. 1).

Таблица 1 – Игры, ставшие основой для тестирования нами методов моделирования поведения агентов

Название игры	Год выхода	Разработчик	URL
StarCraft2	2012	Blizzard Entertainment	https://starcraft2.com/ru-ru/
Heroes of Might and Magic III	1999	New World Computing	https://www.ubisoft.com/ru-ru/game/heroes-of-might-and-magic-3-hd/
Donkey Kong	1981	Nintendo	https://ru.wikipedia.org/wiki/Donkey_Kong
Ms. Pac-Man	1982	Midway Manufacturing	https://ru.wikipedia.org/wiki/Ms._Pac-Man
Mario AI	2009	Amidos2006	http://marioai.org/
Super Mario Bros.	1985	Nintendo	https://supermariobros.io/

Ряд работ предлагают использование «обучения с подкреплением» в качестве основного алгоритма обучения. Исследователи [49] провели широкомасштабную работу по рассмотрению различных подходов к применению «обучения с подкреплением», в том числе «Q-обучение»,

«глубокое Q-обучение» и прочих, а также выполнили сравнительный анализ эффективности каждого подхода. Работа [55] содержит в себе рассмотрение обучения с подкреплением применительно к агенту на базе стратегии в реальном времени StarCraft 2. Эта же площадка для тестирования применяется в источниках [17, 44, 56]. В работе [57] тестирование ведётся на базе площадки VSMI, являющейся движком для игры Heroes of Might and Magic 3 для Android. В работе [40] рассматривается применимость «обучения с подкреплением» для агента на базе игры Donkey Kong – это демонстрирует возможности обучения агентов не только на базе стратегических игр.

В работе [33] описывается проведение соревнования агентов, «обученных с подкреплением», в игре в жанре файтинг (от англ. «fighting» – борьба).

Содержание источника [25] представляет собой общее рассмотрение подходов к реализации ММО в играх, начиная с классических игр, таких как крестики-нолики, шашки или нарды, и заканчивая современными масштабными компьютерными стратегиями. Акцент в этой работе сделан на том, что чаще всего алгоритмы ММО в игровой индустрии применяются именно к стратегиям. Работа [24] также посвящена применению «обучения с подкреплением» к игре в шашки. В работе [27] рассматривается возможность применения «обучения с подкреплением» к агенту для игры в палочки с использованием концепции «мягких» вычислений.

Построение агентно-ориентированной системы без создания агентной модели вручную описывается в работе [39]: все поведенческие тактики получены исключительно путём «обучения с подкреплением». В источниках [21] и [22] рассматривается применимость «глубокого обучения с подкреплением» к играм в жанре «serious games» (от англ. «серьёзные игры»).

Построение натуралистичной модели поведения неигровых персонажей с использованием «Q-обучения», одного из видов «обучения с подкреплением», описано в [42]. А применение различных подвидов «обучения с подкреплением», в том числе и «Q-обучения», к построению агентной модели рассмотрено в работе [18]. В то же время в источнике [53] анализируется процесс построения агентной модели на базе «обучения с подкреплением» и её применения к игре Ms. Pac-Man. И в данной работе авторы осознанно отказываются от использования «Q-обучения», обосновывая это большей скоростью обучения, которой можно достичь без него.

Применимость «обучения с подкреплением» или «Q-обучения» к задаче обучения интеллектуальных агентов в среде Atari рассматривается в источнике [4]. Основная цель данной работы состоит в описании и рассмотрении различных подвидов обучения с подкреплением.

Авторами [51] предлагается использование «Q-обучения» для построения модели поведения, наиболее близкой к человеческой. Этот же вид обучения рассматривается авторами работы [46], в которой выполнено рассмотрение эффективности его применения к игре в хоккей.

Существуют исследования перспективности использования «обучения с подкреплением» для построения модели поведения интеллектуальных агентов в игре с дополненной реальностью [43]. Задача состоит в том, чтобы поведение агентов менялось с течением времени и заставляло игрока адаптироваться к новым условиям игры.

Работа [52] посвящена построению мультиагентной модели с использованием высокопроизводительных систем. Популяция агентов обучается таким образом, чтобы каждый из них был экспертом только в конкретной стадии игры. А для изучения нюансов кооперативного, соревновательного и сопернического обучения на базе серии экспериментов создаются специализированные фреймворки [47].

Многие работы предлагают комбинированные подходы. Популярность набирают, например, гибридные подходы [41], сочетающие «обучение с подкреплением» и «искусственные нейронные сети». В некоторых работах ведётся рассмотрение не только одного конкретного вида обучения. Например, в [12] и [58] идёт речь о «глубоком обучении с подкреплением», а содержание источника [35] посвящено использованию «глубокого обучения» для скрытного наблюдения за успехами пользователя в играх с элементами образовательного процесса. В работе [54] проводится общее рассмотрение применимости алгоритмов «глубокого обучения» в играх, а в работе [28] рассматривается применение подвида алгоритмов глубокого обучения LSTM к агенту для игры в «Мафию». Источник [23] содержит рассмотрение применимости алгоритмов глубинного обучения к реальной ситуации на поле боя. В работе [16] авторы предлагают комбинированный подход на основе обучения с подкреплением и рекуррентных нейронных сетей. Есть также вариации комплексных алгоритмов обучения, основанных на «обучении с подкреплением» с участием нейронных сетей и генетических алгоритмов [10].

Применение генетических алгоритмов к решению задачи обучения также представлено целым рядом работ. Так, в работе [14] предлагается использование генетического алгоритма в игре Mario AI с целью максимизации общего количества очков безотносительно текущего состояния игры. В работе [13] рассмотрена применимость эволюционного алгоритма к построению инвариантной агентной модели. Работа [32] рассматривает применение генетических алгоритмов для обучения привидений в игре Ms. Pac-Man. В этой работе также ведётся построение стайной

стратегии для всех привидений одновременно. Таким образом, стратегия поведения каждого привидения будет отличаться от случая, когда каждое обучается отдельно от других.

Отдельно необходимо упомянуть о развитии подходов к построению натуралистичной модели поведения игрового персонажа [29]. В первую очередь, это деревья поведения, которые не предполагают использования обучающих алгоритмов. Помимо них, рассматриваются такие подходы, как «Q-обучение», генетический алгоритм, а также гибридный подход. В источнике [26] рассматривается подход к построению агентной модели, основанной на мимикрии и повторении поведения игрока-человека с применением подвида эволюционных алгоритмов – генетического программирования. Такой подход может позволить разработчикам не прописывать действия игровых персонажей, а показывать им пример, экономя при этом время и ресурсы.

В некоторых работах, таких как [50], говорится о применении нейронных сетей к построению агентной модели. Именно в работе [50] сравниваются различные нейронные сети на примере игры Ms. Pac-Man. В работе [36] также строится агентная модель на базе игры Ms. Pac-Man, однако в данном случае основной целью работы является имитация человеческого стиля игры с использованием искусственных нейронных сетей. В источнике [30] рассматривается комбинированный подход с использованием нейронных сетей и Q-обучения к задаче передвижения объектов в упрощённом игровом мире.

Различные подходы к организации игрового ИИ и моделей поведения неигровых персонажей рассмотрены в [11]. В числе таких подходов рассматриваются алгоритмы, используемые в ММО и искусственные нейронные сети. Похожее рассмотрение ведётся также в работе [6], где речь идёт о применении именно нейронных сетей к агентным моделям в играх.

В работе [5] исследуются различные подходы к обучению, такие как глубокое обучение, свёрточные и рекуррентные нейронные сети, к вопросу компьютерной имитации интуиции. В источнике [38] рассматриваются существующие подходы к обучению игровых агентов на основе нейросетевых моделей. В работе [45] авторами решается задача построения модели поведения на базе «деревьев поведения» с применением к ним нейронных сетей для упрощения внесения изменений в поведение персонажей.

В отдельных работах предлагаются собственные обучающие модели. В работе [59], например, используются клеточные автоматы, а в [19] – скрытая марковская модель. Источники [31] и [34] описывают модель на основе «экстремальной обучающей машины». Работа [20] описывает сложный обучающий алгоритм, основанный на «глубоком нечётком обучении с подкреплением». В работе [17] применяется «метод опорных векторов» (SVM).

Оценка общего уровня развития технологий моделирования поведения агентов. Анализ основных тенденций, связанных с применением ММО к моделированию поведения агентов, показывает, что наибольшее внимание исследователи уделяют «обучению с подкреплением» – на долю этого вида обучения приходится более половины рассмотренных источников.

Применение «обучения с подкреплением» к модели поведения интеллектуального агента предполагает, что агент будет обучаться при взаимодействии со средой по следующему алгоритму:

- агент получает данные о текущем состоянии системы (окружающей среды);
- на основе полученных данных совершает действие, которое переводит среду в новое состояние;
- среда посылает агенту отклик, называемый вознаграждением.

Задача агента сводится к максимизации получаемого вознаграждения. Эта задача приводит агента к необходимости совершения наилучшей возможной последовательности действий.

Похожий принцип заложен в основу разновидности «обучения с подкреплением», называемого «Q-обучением». Оно более применимо к агентным системам и достаточно распространено. Отличие от обычного «обучения с подкреплением» состоит в том, что формируется также «функция полезности Q» на основе получаемого вознаграждения. Это даёт агенту возможность учитывать предыдущий опыт взаимодействия со средой.

Помимо этого, большим распространением пользуется нейросетевой подход и «глубокое обучение». Отдельные источники предлагают свои реализации, однако в большинстве случаев исследователи базируются на распространённых видах обучения. На рисунке 1 наглядно представлено распределение популярности различных методов у исследователей и разработчиков.



Рисунок 1 – Частота применения различных методов моделирования поведения агентов в современных исследованиях

Базовые подходы к созданию модели поведения агентов. К настоящему моменту наиболее распространены три основных подхода к моделированию поведения интеллектуальных агентов [2]. Первый подход предполагает построение модели на правилах, при котором у агента есть набор правил собственного поведения в каждой ситуации. Однако при этом его поведение оказывается жёстко детерминированным и негибким.

Пример логики в моделях поведения такого рода приведён на рисунке 2. Так, видно, что синий призрак всегда поворачивает направо, оранжевый – налево, розовый поворачивает налево или направо, выбирая направление случайным образом, и только красный призрак по-настоящему преследует персонажа, управляемого игроком.

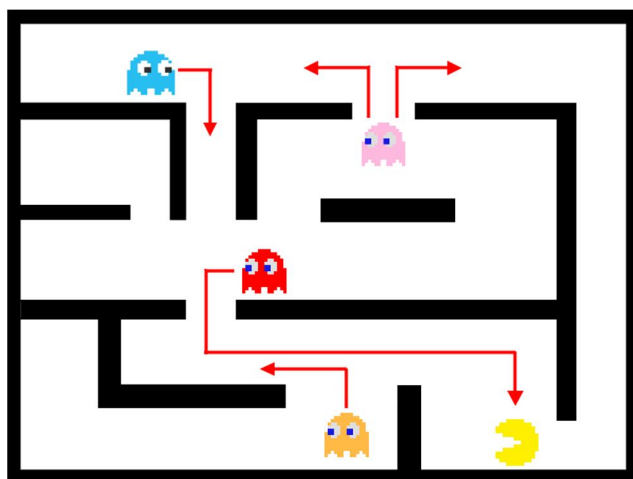


Рисунок 2 – Жёстко детерминированная модель поведения агентов

Второй подход предполагает построение конечно-автоматной модели поведения, самой известной реализацией которого является Goal-Oriented Action Planning (GOAP). При таком подходе каждому агенту сопоставляется множество состояний, сменяемых под влиянием внешних или внутренних факторов. При этом у каждого состояния определяется цель и последовательность действий ее достижения, заканчивающаяся переходом агента в новое состояние (рис. 3).

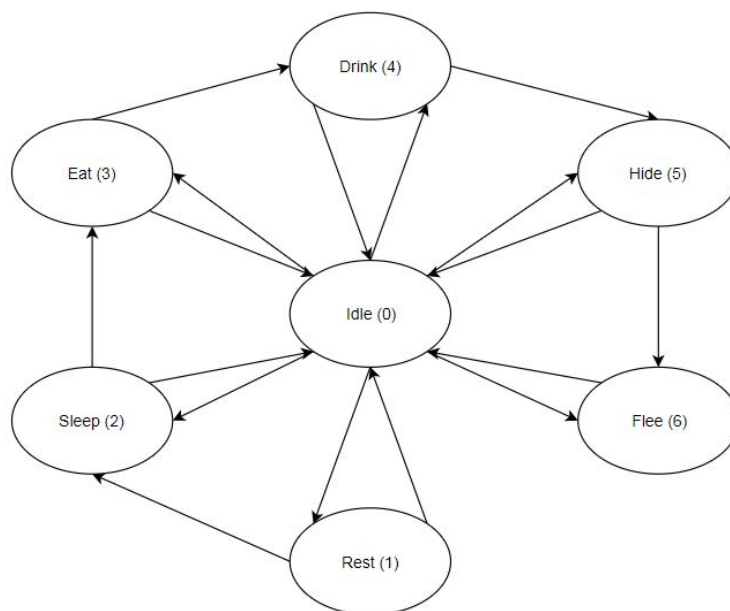


Рисунок 3 – Конечно-автоматная модель поведения актора в модели

Третий подход основан на использовании математической модели «деревьев поведения». На рисунке 4 графически представлено «дерево поведения» для случая, когда агенту необходимо что-то съесть, чтобы повысить показатель сытости.

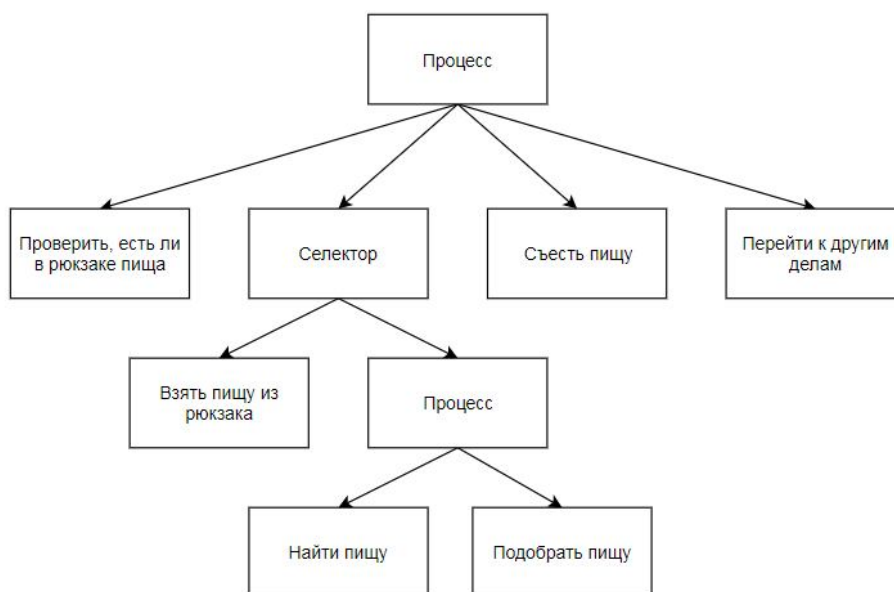


Рисунок 4 – Пример модели «дерева поведения»

Разработка среды для тестирования моделей поведения интеллектуальных агентов. Чтобы оценить возможности использования интеллектуальных агентов, была разработана программная платформа на языке C++. Визуализация игрового мира и интерфейса выполнена на основе мультимедийной библиотеки SFML. Выбор средств реализации был обусловлен информацией, полученной из источника [1].

На начальном этапе подготовки рассмотрен вариант реализации модели поведения на основе конечных автоматов. На данном этапе обучающие алгоритмы не использовались.

Программная платформа формирует игровую среду со следующими правилами:

- реализуется регулярная смена времени суток и сезона времени года;
- происходит смена погодных условий, выполняемая случайным образом;

- на игровом поле располагаются объекты (камни, деревья, дома);
- игровая среда «населена» животными и людьми.

В качестве основы для моделирования генерируется карта игрового мира, в котором агенты будут существовать, и с которым будут взаимодействовать. Игровая карта была сгенерирована тайловым методом, то есть путём совмещения отдельных плиток, соответствующих отдельным видам ландшафта. Для этого были нарисованы наборы плиток размером 16×16 пикселей (тайлсеты) для четырёх сезонов симуляции (табл. 2): «зима», «весна», «лето» и «осень».

Таблица 2 – Тайлсеты для различных сезонов

Сезон	Тип тайла					
	Природный ландшафт				Забор и дом	Границы карты
	Вода/лед	Валун	Деревья	Земля/травы		
Зима						
Весна						
Лето						
Осень						

Разработанный модуль симуляции окружающего мира призван выполнять задачи смены погодных условий, времени суток и сезона. Каждый из этих факторов может повлиять на поведение агентов. Поэтому были разработаны методы, которые осуществляют манипулирование погодными условиями и временем. Также был разработан блок, осуществляющий визуализацию различных погодных и временных условий.

Общая популяция моделируемых игровых агентов, представленная в виде двух множеств (животные и люди), должна действовать в симулируемом мире в автоматическом режиме. В связи с этим необходимо было изначально определить весь спектр возможностей агентов.

Спектр возможностей животных определялся действиями, направленными на поддержание их собственной жизнеспособности. Были заданы такие параметры, как «сытость» и «жажда», которые определяли, нуждается ли агент в поиске еды или питья, а также показатель «запаса сил», который определял, нуждается ли агент в отдыхе.

Был сформирован список целей «агентов-животных». В этот список были занесены такие цели, как поиск пищи, поиск питья, сон (для животных считается возможным спать в любой точке игрового мира, доступной для перемещения), безделье (если не сработало ни одно из условий, и не была принята к исполнению никакая другая цель), поиск укрытия и бегство.

Тестирование конечно-автоматной модели поведения. Предполагаемый результат разработки должен был представлять собой мультимедийную программу, в которой пользователь мог создавать симуляцию мира и поведения интеллектуальных агентов, представленных в виде населяющих его персонажей.

Для реализации был выбран подход, основанный на конечно-автоматной модели поведения. Такой подход обеспечивает достаточную гибкость поведения агента без необходимости расписывать дерево поведения для каждого отдельного действия.

В рамках проектирования поведенческой модели агентов были выделены их существенные свойства: показатели здоровья и запаса сил, а также показатели сытости и жажды. Эти показатели напрямую влияют на поведение каждого агента, поскольку поддержание каждого из них в нормальных пределах – это ключевая задача для выживания каждого игрового существа.

Затем были выделены основные методы, которые будут управлять их поведением. В число таких методов вошёл планировщик целей, который на основе данных о текущем состоянии агента и мира должен формировать цель, к которой агент будет стремиться (например, в случае снижения показателя сытости агенту необходимо найти пищу). Другим основным методом стал планировщик действий. Он отвечает за построение конкретной цепочки действий, которая приводит агента из текущего состояния в состояние, определяемое целью агента.

Конечно-автоматная модель, реализованная в ходе разработки, оказалась пригодной для того, чтобы создать на её базе игровой искусственный интеллект, который будет достаточно реалистично вести себя в различных ситуациях.

Скриншоты выполнения программы представлены на рисунке 5. Мультимедийное окно программы разделено на несколько логических частей. Наибольшую площадь экрана занимает окно вывода текущего состояния мира, в котором изображён непосредственно игровой мир, наполненный объектами и обитателями. Состояние этого окна меняется каждый такт исполнения программы: положение обитателей пересчитывается и отображается заново. Агенты представлены цветными спрайтами.



а



б

Рисунок 5 – Демонстрация работы программы: а) сезон «лето»; б) сезон «осень»

В правой части экрана размещено окно вывода информации о мире. Верх этого окна занимает блок информации с текущей датой, временем и погодой. Рядом с этим блоком размещены кнопки управления, с помощью которых можно сохранить текущее состояние симуляции или выйти в меню. Ниже расположены два блока вывода информации об обитателях мира. Первый блок содержит информацию о списке животных, населяющих мир в следующем формате: индивидуальный идентификатор животного, его показатели здоровья и запаса сил, а также текущее состояние конечного автомата, управляющего поведением конкретного животного. Второй блок содержит аналогичную информацию о людях. Однако, в отличие от животных, в отношении населяющих мир людей выводится информация, включающая их имена и фамилии, а также положения в пространстве.

На основе экспериментов, проведенных с использованием разработанной платформы, была проведена оценка работоспособности конечно-автоматной модели, которая показала возможность реализации всех необходимых сценариев поведения агентов. Предполагается, что в дальнейшем функциональность модели будет расширена за счет включения в нее алгоритмов самообучения, основанных на методах, описанных выше в рамках литературного обзора.

Выводы. В ходе проведенного исследования были решены следующие задачи.

1. Выполнен анализ существующих подходов к моделированию поведения интеллектуальных агентов и определена задача разработки среды для тестирования этих моделей.

2. Разработана платформа для моделирования поведения агентов на основе автоматной модели, реализующая два метода управления поведением агента: планировщик целей и планировщик действий.

3. Проведена апробация подхода, основанного на конечно-автоматной модели поведения, изучены её основные достоинства и недостатки. Результаты, полученные при проведении симуляции на базе этого подхода, позволили установить, что данная модель может быть успешно применена для моделирования поведения интеллектуальных агентов как в компьютерных играх, так и в других компьютерных системах, где требуется организовать сложное поведение. Например, в системах управления поведением толпы в чрезвычайных ситуациях, при моделировании развития эпидемий и т.п.

Библиографический список

1. Алимов А. А. Применение мета-информации в C++ и компонент-ориентированного подхода для разработки игровых приложений / А. А. Алимов, О. А. Шабалина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4 (24). – С. 108–118.
2. Анохин А. О. Конечно-автоматная модель управления поведением интеллектуальных агентов в обучающих играх / А. О. Анохин, А. В. Катаев // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 4 (14). – С. 75–80.
3. Донченко Д. С. Обзор подходов к применению алгоритмов искусственного интеллекта для выявления факторов, влияющих на риск возникновения ДТП / Д. С. Донченко, Н. П. Садовникова, Д. С. Парыгин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2018. – № 4 (27). – С. 54–57.
4. Коробов Д. А. Современные подходы к обучению интеллектуальных агентов в среде Atari / Д. А. Коробов, С. А. Беляев // Программные продукты и системы. – 2018. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-obucheniyu-intellektualnyh-agentov-v-srede-atari>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 14.05.2019).
5. Джабраилов Ш. В. Подходы и реализации компьютерной имитации интуиции / Ш. В. Джабраилов, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова // Наукоедение. – 2017. – № 2 (39). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-i-realizatsii-kompyuternoy-imitatsii-intuitsii>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 14.05.2019).
6. Дубенко К. И. Возможное применение нейронных сетей в играх в будущем / К. И. Дубенко // Наука, образование и культура. – 2018. – № 10 (34). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnoe-primenenie-neuronnyh-setey-v-igrakh-v-buduschem>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 14.05.2019).
7. Истомин В. В. Алгоритм поведения групп автономных интеллектуальных агентов для биомедицинских систем на основе теории роевого интеллекта / В. В. Истомин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 54–63.
8. Курочкин А. Г. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / А. Г. Курочкин, В. В. Жилин, С. Е. Суржикова, С. А. Филист // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 85–95.
9. Серия игр F.E.A.R. // Fandom. – Режим доступа: https://feorgame.fandom.com/ru/wiki/Серия_игр_F.E.A.R., свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.03.2020).
10. Сотников И. Ю. Адаптивное поведение программных агентов в мультиагентной компьютерной игре / И. Ю. Сотников, И. В. Григорьева // Вестник КемГУ. – 2014. – № 4 (60). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnoe-povedenie-programmyh-agentov-v-multiagentnoy-kompyuternoy-igre>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 16.12.2018).
11. Шасти́н Д. С. Игрок или NPC. ИИ как инструмент социализации в игровых проектах / Д. С. Шасти́н // Проблемы науки. – 2018. – № 12 (36). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/igrok-ili-npc-ii-kak-instrument-sotsializatsii-v-igrovyyh-proektah>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 14.05.2019).
12. Andersen P. A. Towards a deep reinforcement learning approach for tower line wars / P. A. Andersen, M. Goodwin, O. C. Granmo // International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence. – Springer, Cham, 2017. – P. 101–114.
13. Balabanov K. Developing a General Video Game AI Controller Based on an Evolutionary Approach / K. Balabanov, D. Logofătu // Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems. – Springer, Cham, 2019. – P. 315–326.
14. Baldominos A. Learning levels of mario ai using genetic algorithms / A. Baldominos et al. // Conference of the Spanish Association for Artificial Intelligence. – Springer, Cham, 2015. – P. 267–277.
15. Bazzan A. L. C. Beyond reinforcement learning and local view in multiagent systems / A. L. C. Bazzan // KI-Künstliche Intelligenz. – 2014. – Vol. 28, № 3. – P. 179–189.
16. Bonnici I. Effects of Input Addition in Learning for Adaptive Games: Towards Learning with Structural Changes / I. Bonnici, A. Gouaich, F. Michel // International Conference on the Applications of Evolutionary Computation (Part of EvoStar). – Springer, Cham, 2019. – P. 172–184.
17. Budianto T. Learning to Identify Rush Strategies in StarCraft / T. Budianto, H. Oh, T. Utsuro // International Conference on Entertainment Computing. – Springer, Cham, 2018. – P. 90–102.
18. Chen T. Adversarial attack and defense in reinforcement learning-from AI security view / T. Chen et al. // Cybersecurity. – 2019. – Vol. 2, № 1. – P. 11.
19. Chen W. A unifying learning framework for building artificial game-playing agents / W. Chen, Y. Chen, D. K. Levine // Annals of mathematics and artificial intelligence. – 2015. – Vol. 73, № 3–4. – P. 335–358.
20. Cheng Y. Fuzzy Categorical Deep Reinforcement Learning of a Defensive Game for an Unmanned Surface Vessel / Y. Cheng et al. // International Journal of Fuzzy Systems. – 2019. – Vol. 21, № 2. – P. 592–606.
21. Dobrovsky A. Improving adaptive gameplay in serious games through interactive deep reinforcement learning / A. Dobrovsky, U. M. Borghoff, M. Hofmann // Cognitive infocommunications, theory and applications. – Springer, Cham, 2019. – P. 411–432.
22. Dobrovsky A. Deep reinforcement learning in serious games: Analysis and design of deep neural network architectures / A. Dobrovsky et al. // International Conference on Computer Aided Systems Theory. – Springer, Cham, 2017. – P. 314–321.

23. Feng Z. Inspiration for battlefield situation cognition from AI military programs launched by DARPA of USA and development of AI technology / Z. Feng et al. // *Theory, Methodology, Tools and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems*. – Springer, Singapore, 2016. – P. 566–577.
24. Frankland C. Evolving heuristic based game playing strategies for checkers incorporating reinforcement learning / C. Frankland, N. Pillay // *Advances in Nature and Biologically Inspired Computing*. – Springer, Cham, 2016. – P. 165–178.
25. Fürnkranz J. Machine Learning and Game Playing / J. Fürnkranz // *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining*. – Springer, Boston, MA., 2017.
26. Gaudl S. E. Learning from play: Facilitating character design through genetic programming and human mimicry / S. E. Gaudl, J. C. Osborn, J. J. Bryson // *Portuguese Conference on Artificial Intelligence*. – Springer, Cham, 2015. – P. 292–297.
27. Jayashree P. Design and Evaluation of Reinforcement Learning Based AI Agent: A Case Study in Gaming / P. Jayashree, K. Ramakrishnan // *International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition*. – Springer, Cham, 2016. – P. 330–339.
28. Kondoh M. Development of Agent Predicting Werewolf with Deep Learning / M. Kondoh, K. Matsumoto, N. Mori // *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence*. – Springer, Cham, 2018. – P. 18–26.
29. Kopel M. Implementing AI for non-player characters in 3D video games / M. Kopel, T. Hajas // *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. – Springer, Cham, 2018. – P. 610–619.
30. Kuznetsov D. Aspects of Using Elman Neural Network for Controlling Game Object Movements in Simplified Game World / D. Kuznetsov, N. Plotnikova // *Computer Science On-line Conference*. – Springer, Cham, 2018. – P. 384–393.
31. Li Y. J. A fast evaluation method for RTS game strategy using fuzzy extreme learning machine / Y. J. Li, P. H. F. Ng, S. C. K. Shiu // *Natural Computing*. – 2016. – Vol. 15, № 3. – P. 435–447.
32. Liberatore F. Evolving evil: optimizing flocking strategies through genetic algorithms for the ghost team in the game of Ms. Pac-Man / F. Liberatore et al. // *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. – P. 313–324.
33. Majchrzak K. Advanced dynamic scripting for fighting game AI / K. Majchrzak, J. Quadflieg, G. Rudolph // *International Conference on Entertainment Computing*. – Springer, Cham, 2015. – P. 86–99.
34. Miche Y. Meme representations for game agents / Y. Miche et al. // *World Wide Web*. – 2015. – Vol. 18, № 2. – P. 215–234.
35. Min W. DeepStealth: leveraging deep learning models for stealth assessment in game-based learning environments / W. Min et al. // *International Conference on Artificial Intelligence in Education*. – Springer, Cham, 2015. – P. 277–286.
36. Miranda M., A CBR approach for imitating human playing style in Ms. Pac-Man video game / M. Miranda, A. A. Sánchez-Ruiz, F. Peinado // *International Conference on Case-Based Reasoning*. – Springer, Cham, 2018. – P. 292–308.
37. Multi-agent Approach to Modeling the Dynamics of Urban Processes (on the Example of Urban Movements) / D. Parygin, A. Usov, S. Burov, N. Sadovnikova, P. Ostroukhov, A. Pyannikova // *Communications in Computer and Information Science : Proceedings of the 6th International Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2019), St. Petersburg, Russia, 13–14 November 2019*. – Springer Nature Switzerland AG, 2020. – Vol. 1135. – P. 243–257.
38. Nakatsu R. (ed.) *Handbook of digital games and entertainment technologies* / R. Nakatsu, M. Rauterberg, P. Ciancarini (ed.) – Springer Singapore, 2017.
39. Norman M. D. Applying Complexity Science with Machine Learning, Agent-Based Models, and Game Engines: Towards Embodied Complex Systems Engineering / M. D. Norman et al. // *International Conference on Complex Systems*. – Springer, Cham, 2018. – P. 173–183.
40. Ozkohen P. Learning to play donkey kong using neural networks and reinforcement learning / P. Ozkohen et al. // *Benelux Conference on Artificial Intelligence*. – Springer, Cham, 2017. – P. 145–160.
41. Phon-Amnuaisuk S. What Does a Policy Network Learn After Mastering a Pong Game? / S. Phon-Amnuaisuk // *International Workshop on Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence*. – Springer, Cham, 2017. – P. 213–222.
42. Ponce H. A hierarchical reinforcement learning based artificial intelligence for non-player characters in video games / H. Ponce, R. Padilla // *Mexican International Conference on Artificial Intelligence*. – Springer, Cham, 2014. – P. 172–183.
43. Razzaq S. Zombies Arena: fusion of reinforcement learning with augmented reality on NPC / S. Razzaq et al. // *Cluster Computing*. – 2018. – Vol. 21, № 1. – P. 655–666.
44. Rudolph S. et al. Design and evaluation of an extended learning classifier-based starcraft micro ai / S. Rudolph et al. // *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*. – Springer, Cham, 2016. – P. 669–681.
45. Sagredo-Olivenza I. Combining neural networks for controlling non-player characters in games / I. Sagredo-Olivenza et al. // *International Work-Conference on Artificial Neural Networks*. – Springer, Cham, 2017. – P. 694–705.
46. Schulte O. A Markov Game model for valuing actions, locations, and team performance in ice hockey / O. Schulte et al. // *Data Mining and Knowledge Discovery*. – 2017. – Vol. 31, № 6. – P. 1735–1757.

47. Silvey P. E. Embodied cognition and multi-agent behavioral emergence / P. E. Silvey, M. D. Norman // International Conference on Complex Systems. – Springer, Cham, 2018. – P. 189–201.
48. Simulation of Malicious Scenarios using Multi-Agent Systems / M. Umnitsyn, A. Nikishova, T. Omelchenko, N. Sadovnikova, D. Parygin, Y. Goncharenko // SMART 2018 : Proceedings of the 7th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends, Moradabad, India, 23–24 November 2018. – IEEE, 2018. – P. 3–9. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8746971>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
49. Singal H. Modeling Decisions in Games Using Reinforcement Learning / H. Singal, P. Aggarwal, V. Dutt // 2017 International Conference on Machine Learning and Data Science (MLDS). – IEEE, 2017. – C. 98–105.
50. Tan T. G. A comparative investigation of non-linear activation functions in neural controllers for search-based game AI engineering / T. G. Tan, J. Teo, P. Anthony // Artificial Intelligence Review. – 2014. – Vol. 41, № 1. – P. 1–25.
51. Temsiririrkkul S. Survey of how human players divert in-game actions for other purposes: Towards human-like computer players / S. Temsiririrkkul et al. // International Conference on Entertainment Computing. – Springer, Cham, 2017. – P. 243–256.
52. Tomaz L. B. P. A multiagent player system composed by expert agents in specific game stages operating in high performance environment / L. B. P. Tomaz, R. M. S. Julia, V. A. Duarte // Applied Intelligence. – 2018. – Vol. 48, № 1. – P. 1–22.
53. Tziortziotis N. Play ms. pac-man using an advanced reinforcement learning agent / N. Tziortziotis, K. Tziortziotis, K. Blekas // Hellenic Conference on Artificial Intelligence. – Springer, Cham, 2014. – P. 71–83.
54. Vieira A. Introduction to Deep Learning Business Applications for Developers / A. Vieira, B. Ribeiro. – Apress, 2018.
55. Wender S. Combining case-based reasoning and reinforcement learning for tactical unit selection in real-time strategy game AI / S. Wender, I. Watson // International Conference on Case-Based Reasoning. – Springer, Cham, 2016. – P. 413–429.
56. Wender S. Integrating case-based reasoning with reinforcement learning for real-time strategy game micromanagement / S. Wender, I. Watson // Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence. – Springer, Cham, 2014. – P. 64–76.
57. Wilisowski Ł. The application of co-evolutionary genetic programming and TD (1) reinforcement learning in large-scale strategy game VCMI / Ł. Wilisowski, R. Dreżewski // Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications. – Springer, Cham, 2015. – P. 81–93.
58. Xenou K. Deep Reinforcement Learning in Strategic Board Game Environments / K. Xenou, G. Chalkiadakis, S. Afantenos // European Conference on Multi-Agent Systems. – Springer, Cham, 2018. – P. 233–248.
59. Xue L. A Game-theoretical Approach for a Finite-time Consensus of Second-order Multi-agent System / L. Xue, C. Sun, D. C. Wunsch // International Journal of Control, Automation and Systems. – 2019. – Vol. 17, № 5. – P. 1071–1083.

References

1. Alimov A. A., Shabalina O. A. Primeneniye meta-informatsii v S++ i komponent-orientirovannogo podkhoda dlya razrabotki igrovyykh prilozheniy [The use of meta-information in C++ and component-oriented approach for the development of gaming applications]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii* [Caspian journal: Control and High Technologies], 2013, no. 4 (24), pp. 108–118.
2. Anokhin A. O., Kataev A. V. Konechno-avtomatnaya model upravleniya povedeniyem intellektualnykh agentov v obuchayushchikh igrakh [Finite-automaton model for controlling the behavior of intelligent agents in educational games]. *ITNOU: Informatsionnyye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii* [ITNOU: Information Technologies in Science, Education and Management], 2019, no. 4 (14), pp. 75–80.
3. Donchenko D. S., Sadovnikova N. P., Parygin D. S. Obzor podkhodov k primeneniyu algoritmov iskusstvennogo intellekta dlya vyyavleniya faktorov, vliyayushchikh na risk vozniknoveniya DTP [Review of approaches to the application of artificial intelligence algorithms to identify factors affecting the risk of accident]. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy* [Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies], 2018, no. 4 (27), pp. 54–57.
4. Korobov D. A., Belyaev S. A. Sovremennyye podkhody k obucheniyu intellektualnykh agentov v srede Atari [Modern approaches to the training of intelligent agents in the Atari environment]. *Programmnyye produkty i sistemy* [Software products and systems], 2018, no. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-podhody-k-obucheniyu-intellektualnykh-agentov-v-srede-atari> (accessed 05.14.2019).
5. Dzhabrailov S. V., Rozaliev V. L., Orlova Yu. A. Approaches and implementations of computer simulation of intuition [Podkhody i realizatsii kompyuternoy imitatsii intuitsii]. *Naukovedeniye* [Science], 2017, no. 2 (39). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-i-realizatsii-kompyuternoy-imitatsii-intuitsii> (accessed 05.14.2019).
6. Dubenko K. I. Vozmozhnoye primeneniye neyronnykh setey v igrakh v budushchem [Possible use of neural networks in games in the future]. *Nauka, obrazovaniye i kultura* [Science, Education and Culture], 2018, no. 10 (34). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnoe-primeneniye-neyronnykh-setey-v-igrakh-v-budushchem> (accessed 05.14.2019).
7. Istomin V. V. Algorithm for the behavior of groups of autonomous intelligent agents for biomedical systems based on the theory of swarm intelligence [Algoritm povedeniya grupp avtonomnykh intellektualnykh agentov dlya biomeditsinskikh sistem na osnove teorii royeвого intellekta]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2013, no. 3, pp. 54–63.

8. Kurochkin A. G., Zhilin V. V., Surzhikova S. E., Filist S. A. Ispolzovaniye gibrnidnykh neyrosetevykh modeley dlya mnogoagentnykh sistem klassifikatsii v geterogenom prostranstve informativnykh priznakov [Use of hybrid neural network models for multi-agent classification systems in a heterogeneous space of informative features]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 3, pp. 85–95.
9. Seriya igr F.E.A.R. [F.E.A.R. series of games]. *Fandom*. Available at: https://feargame.fandom.com/wiki/F.E.A.R._game_series (accessed 03.17.2020).
10. Sotnikov I. Yu., Grigoryeva I. V. Adaptivnoye povedeniye programmnykh agentov v multiagentnoy kompyuternoy igre [Adaptive behavior of software agents in a multi-agent computer game]. *Vestnik KemGU* [Bulletin of KemSU], 2014, no. 4 (60). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnoe-povedenie-programmnyh-agentov-v-multiagentnoy-kompyuternoy-igre> (accessed 12.16.2018).
11. Shastin D. S. Player or NPC. Igrok ili NPC. Ii kak instrument sotsializatsii v igrovyykh proyektakh [AI as an instrument of socialization in game projects]. *Problemy nauki* [Problems of Science], 2018, no. 12 (36). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/igrok-ili-npc-ii-kak-instrument-sotsializatsii-v-igrovyyh-proektakh> (accessed 05.14.2019).
12. Andersen P. A., Goodwin M., Granmo O. C. Towards a deep reinforcement learning approach for tower line wars. *International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2017, pp. 101–114.
13. Balabanov K., Logofătu D. Developing a General Video Game AI Controller Based on an Evolutionary Approach. *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. Springer, Cham, 2019, pp. 315–326.
14. Baldominos A. et al. Learning levels of mario ai using genetic algorithms. *Conference of the Spanish Association for Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2015, pp. 267–277.
15. Bazzan A. L. C. Beyond reinforcement learning and local view in multiagent systems. *KI-Künstliche Intelligenz*, 2014, vol. 28, no. 3, pp. 179–189.
16. Bonnici I., Gouaich A., Michel F. Effects of Input Addition in Learning for Adaptive Games: Towards Learning with Structural Changes. *International Conference on the Applications of Evolutionary Computation (Part of EvoStar)*. Springer, Cham, 2019, pp. 172–184.
17. Budiarto T., Oh H., Utsuro T. Learning to Identify Rush Strategies in StarCraft. *International Conference on Entertainment Computing*. Springer, Cham, 2018, pp. 90–102.
18. Chen T. et al. Adversarial attack and defense in reinforcement learning-from AI security view. *Cybersecurity*, 2019, vol. 2, no. 1, p. 11.
19. Chen W., Chen Y., Levine D. K. A unifying learning framework for building artificial game-playing agents. *Annals of mathematics and artificial intelligence*, 2015, vol. 73, no. 3–4, pp. 335–358.
20. Cheng Y. et al. Fuzzy Categorical Deep Reinforcement Learning of a Defensive Game for an Unmanned Surface Vessel. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 592–606.
21. Dobrovsky A., Borghoff U. M., Hofmann M. Improving adaptive gameplay in serious games through interactive deep reinforcement learning. *Cognitive infocommunications, theory and applications*. Springer, Cham, 2019, pp. 411–432.
22. Dobrovsky A. et al. Deep reinforcement learning in serious games: Analysis and design of deep neural network architectures. *International Conference on Computer Aided Systems Theory*. Springer, Cham, 2017, pp. 314–321.
23. Feng Z. et al. Inspiration for battlefield situation cognition from AI military programs launched by DARPA of USA and development of AI technology. *Theory, Methodology, Tools and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems*. Springer, Singapore, 2016, pp. 566–577.
24. Frankland C., Pillay N. Evolving heuristic based game playing strategies for checkers incorporating reinforcement learning. *Advances in Nature and Biologically Inspired Computing*. Springer, Cham, 2016, pp. 165–178.
25. Fürnkranz J. Machine Learning and Game Playing. *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining*. Springer, Boston, MA., 2017.
26. Gaudl S. E., Osborn J. C., Bryson J. J. Learning from play: Facilitating character design through genetic programming and human mimicry. *Portuguese Conference on Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2015, pp. 292–297.
27. Jayashree P., Ramakrishnan K. Design and Evaluation of Reinforcement Learning Based AI Agent: A Case Study in Gaming. *International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition*. Springer, Cham, 2016, pp. 330–339.
28. Kondoh M., Matsumoto K., Mori N. Development of Agent Predicting Werewolf with Deep Learning. *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2018, pp. 18–26.
29. Kopel M., Hajas T. Implementing AI for non-player characters in 3D video games. *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. Springer, Cham, 2018, pp. 610–619.
30. Kuznetsov D., Plotnikova N. Aspects of Using Elman Neural Network for Controlling Game Object Movements in Simplified Game World. *Computer Science On-line Conference*. Springer, Cham, 2018, pp. 384–393.
31. Li Y. J., Ng P. H. F., Shiu S. C. K. A fast evaluation method for RTS game strategy using fuzzy extreme learning machine. *Natural Computing*, 2016, vol. 15, no. 3, pp. 435–447.
32. Liberatore F. et al. Evolving evil: optimizing flocking strategies through genetic algorithms for the ghost team in the game of Ms. Pac-Man. *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 313–324.
33. Majchrzak K., Quadflieg J., Rudolph G. Advanced dynamic scripting for fighting game AI. *International Conference on Entertainment Computing*. Springer, Cham, 2015, pp. 86–99.
34. Miche Y. et al. Meme representations for game agents. *World Wide Web*, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 215–234.

35. Min W. et al. DeepStealth: leveraging deep learning models for stealth assessment in game-based learning environments. *International Conference on Artificial Intelligence in Education*. Springer, Cham, 2015, pp. 277–286.
36. Miranda M., Sánchez-Ruiz A. A., Peinado F. A CBR approach for imitating human playing style in Ms. Pac-Man video game. *International Conference on Case-Based Reasoning*. Springer, Cham, 2018, pp. 292–308.
37. Parygin D., Usov A., Burov S., Sadovnikova N., Ostroukhov P., Pyannikova A. Multi-agent Approach to Modeling the Dynamics of Urban Processes (on the Example of Urban Movements). *Communications in Computer and Information Science*. Springer Nature Switzerland AG, 2020, vol. 1135, pp. 243–257.
38. Nakatsu R., Rauterberg M., Ciancarini P. (ed.). *Handbook of digital games and entertainment technologies*. Springer Singapore, 2017.
39. Norman M. D. et al. Applying Complexity Science with Machine Learning, Agent-Based Models, and Game Engines: Towards Embodied Complex Systems Engineering. *International Conference on Complex Systems*. Springer, Cham, 2018, pp. 173–183.
40. Ozkohen P. et al. Learning to play donkey kong using neural networks and reinforcement learning. *Benelux Conference on Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2017, pp. 145–160.
41. Phon-Amnuaisuk S. What Does a Policy Network Learn After Mastering a Pong Game? *International Workshop on Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2017, pp. 213–222.
42. Ponce H., Padilla R. A hierarchical reinforcement learning based artificial intelligence for non-player characters in video games. *Mexican International Conference on Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2014, pp. 172–183.
43. Razzaq S. et al. Zombies Arena: fusion of reinforcement learning with augmented reality on NPC. *Cluster Computing*, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 655–666.
44. Rudolph S. et al. Design and evaluation of an extended learning classifier-based starcraft micro ai. *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*. Springer, Cham, 2016, pp. 669–681.
45. Sagredo-Olivenza I. et al. Combining neural networks for controlling non-player characters in games. *International Work-Conference on Artificial Neural Networks*. Springer, Cham, 2017, pp. 694–705.
46. Schulte O. et al. A Markov Game model for valuing actions, locations, and team performance in ice hockey. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2017, vol. 31, no. 6, pp. 1735–1757.
47. Silvey P. E., Norman M. D. Embodied cognition and multi-agent behavioral emergence. *International Conference on Complex Systems*. Springer, Cham, 2018, pp. 189–201.
48. Umnitsyn M., Nikishova A., Omelchenko T., Sadovnikova N., Parygin D., Goncharenko Y. Simulation of Malicious Scenarios using Multi-Agent Systems. *Proceedings of the 7th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends*. IEEE, 2018, pp. 3–9. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8746971>
49. Singal H., Aggarwal P., Dutt V. Modeling Decisions in Games Using Reinforcement Learning. *2017 International Conference on Machine Learning and Data Science (MLDS)*. IEEE, 2017, pp. 98–105.
50. Tan T. G., Teo J., Anthony P. A comparative investigation of non-linear activation functions in neural controllers for search-based game AI engineering. *Artificial Intelligence Review*, 2014, vol. 41, no. 1, pp. 1–25.
51. Temsiririrkkul S. et al. Survey of how human players divert in-game actions for other purposes: Towards human-like computer players. *International Conference on Entertainment Computing*. Springer, Cham, 2017, pp. 243–256.
52. Tomaz L. B. P., Julia R. M. S., Duarte V. A. A multiagent player system composed by expert agents in specific game stages operating in high performance environment. *Applied Intelligence*, 2018, vol. 48, no. 1, pp. 1–22.
53. Tziortziotis N., Tziortziotis K., Blekas K. Play ms. pac-man using an advanced reinforcement learning agent. *Hellenic Conference on Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2014, pp. 71–83.
54. Vieira A., Ribeiro B. *Introduction to Deep Learning Business Applications for Developers*. Apress, 2018.
55. Wender S., Watson I. Combining case-based reasoning and reinforcement learning for tactical unit selection in real-time strategy game AI. *International Conference on Case-Based Reasoning*. Springer, Cham, 2016, pp. 413–429.
56. Wender S., Watson I. Integrating case-based reasoning with reinforcement learning for real-time strategy game micromanagement. *Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*. Springer, Cham, 2014, pp. 64–76.
57. Wilisowski Ł., Dreżewski R. The application of co-evolutionary genetic programming and TD (1) reinforcement learning in large-scale strategy game VCM. *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*. Springer, Cham, 2015, pp. 81–93.
58. Xenou K., Chalkiadakis G., Afantenos S. Deep Reinforcement Learning in Strategic Board Game Environments. *European Conference on Multi-Agent Systems*. Springer, Cham, 2018, pp. 233–248.
59. Xue L., Sun C., Wunsch D. C. A Game-theoretical Approach for a Finite-time Consensus of Second-order Multi-agent System. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 2019, vol. 17, no. 5, pp. 1071–1083.

УДК 004.056

**REALIZATION OF EXPERT INTRUSION DETECTION SYSTEM
BASED ON THE RESULTS OF DATASETS
AND MACHINE LEARNING ALGORITHM ANALYSIS**

The article was received by the editorial board on 05.12.2019, in the final version – 06.05.2020.

Ivkin Andrey N., Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation,

postgraduate student, e-mail: Ivkin.92@bk.ru

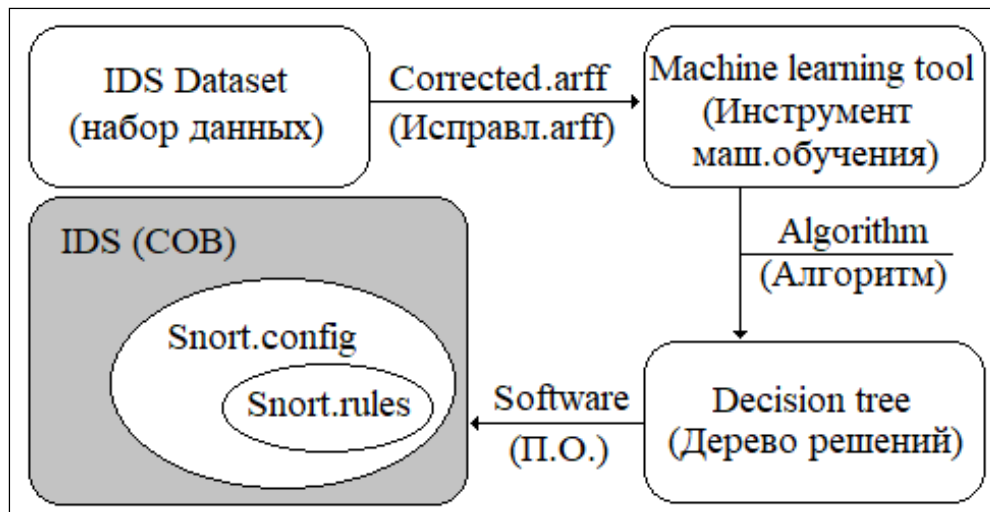
Burlakov Michael E., Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation,

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

Intrusion detection system is one of the most important devices for the protection of computing systems. The system is enabled to detect and investigate packets of network traffic. IDS Snort is an open source with free software that is used to protect your network. Snort detects only confirmed attacks using predefined signatures. In order to detect new, previously unknown network attacks and reduce false positives, this work has developed advanced rules for Snort, obtained using the WEKA machine learning tool and the j48 algorithm. In the article, for experimental research, the CICIDS dataset is used. The main goal of this research is the realization of IDS with embedded machine learning tool rules. The main stages of research are comparative analysis of different publicly available datasets, data preparation, application and comparison of 8 different algorithms, extraction of expert rules, implementation of Snort rules and attacks identification. The proposed system provides effective detection rates.

Keywords: intrusion detection system, Snort, machine learning, WEKA, j48 algorithm, CICIDS dataset, signatures

Graphical annotation (Графическая аннотация)



**РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ,
ОСНОВАННОЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ АНАЛИЗА НАБОРОВ ДАННЫХ
И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Статья получена редакцией 05.12.2019, в окончательном варианте – 06.05.2020.

Ивкин Андрей Николаевич, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34, аспирант, e-mail: Ivkin.92@bk.ru

Бурлаков Михаил Евгеньевич, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасности информационных систем», e-mail: knownwhat@gmail.com

Система обнаружения вторжений выявляет факт применения различного вредоносного программного обеспечения, всевозможных аномальных действий, наносящих ущерб целостности и безопасности компьютерной системы. Главной задачей системы обнаружения вторжений является корректное и своевременное оповещение об атаках на информационную систему. Ключевым моментом успешного обнаружения вторжений является выбор набора правил для детектирования угроз. С целью улучшения эффективности работы СОВ в данной исследовательской работе предлагается использовать экспертные правила, полученные из инструмента машинного обучения, что также даст возможность детектировать атаки, не представленные в базах сигнатур. Для реализации системы обнаружения вторжений, основанной на экспертных правилах, необходим корректный набор данных. Существует целый ряд наборов данных, таких как KDD99, ISC2012, ADFFA2013 и т.д., которые используются для оценки эффективности предлагаемых методов обнаружения и предотвращения вторжений. Большинство наборов данных содержат устаревшую информацию, недостаточно разнообразный трафик, однотипные атаки, сильно урезанную информацию о пакетах, также имеет место нехватка некоторых атрибутов. В статье проведен сравнительный анализ 15-ти общедоступных наборов данных для поддержки разработки/тестирования СОВ. Также оценивается эффективность применения 8-ми различных алгоритмов машинного обучения к набору данных CICIDS. Мерами оценки эффективности рассмотренных алгоритмов выступает следующее: точность, полнота, Ф-мера. Предлагаемая система обнаружения вторжений, основанная на системе обнаружения Snort, обеспечивает высокие (свыше 98 %) показатели обнаружения вторжений.

Ключевые слова: система обнаружения вторжений, наборы данных, машинное обучение, *CICIDS*, *WEKA*, *Snort*, сигнатуры

Introduction. There are many means of information protection such as firewall, intrusion detection systems (IDS), antivirus systems etc. Each of them is directed to the defense from specific threat. Intrusion detection plays a vital role in the network defense process by aiming security administrators in forewarning them about malicious behaviors such as intrusions, attacks, and malware. IDS is a specialized software and hardware tool designed to detect unauthorized access attempts to system resources [6], which will not allow an attacker to disrupt the system, steal confidential information, delete or modify data and so on. IDS can detect attacks that the firewall missed, because firewall restricts certain traffic to a host or subnet to prevent intrusions and does not monitor intrusions from within the network. IDS passes traffic, analyzing it and signaling when it detects suspicious activity. Security breach detection is usually done using heuristic rules and signature analysis of known computer attacks.

According to the approach to detection, IDS are classified as systems based on signature and behavioral analysis. The last of this is based on models of the normal functioning of the information system, while signature analysis is based on clearly defined tabular values of signatures [10]. IDS based on behavioral analysis [3] include: machine learning systems, anomaly-based systems and based on the detection of violations in the protocol. The approach proposed in this paper based on the expert rules of a machine learning tool and has the following advantages:

- a small number of false positives (number of incorrectly defined attacks);
- increased attack detection speed (quick comparisons with submitted rules);
- low resource costs (high capacity computing are not required);
- the ability to detect unknown attacks (applied machine learning methods will identify modified attacks).

The basis for the implementation of the proposed method was the SNORT system. IDS «Snort» [7] is open source software, which allows creating your own system, implement machine learning methods, apply borrowed code in the firewall and etc. As a rule, Snort is deploying on the router as a network IDS. Snort detects attacks based on rules written in a defined format and syntax. Snort is a multi variant packet investigation tool which works in multiple modes. The main Snort advantage over analogues is the flexibility and simple of modifying rules compared to other commercial IDS. The Snort architecture is represented in figure 1.

Snort rules are recorded in one line. They consist of a header and options, as shown in the example below (fig. 2). The rule header contains the rule actions, protocol name, IP addresses and port numbers. Rule options include rule execution criteria and additional responsive actions; they are used to implement more stringent traffic filtering. Rule options are optional; more information is provided in [7]. An example of a simple Snort rule which determines the presence of a SYN flag is shown in figure 2. This Flag, in the header of the TCP segment, used for synchronization of session numbers of data. SYN flag is used for SYN-flood attacks (form of DOS attack)

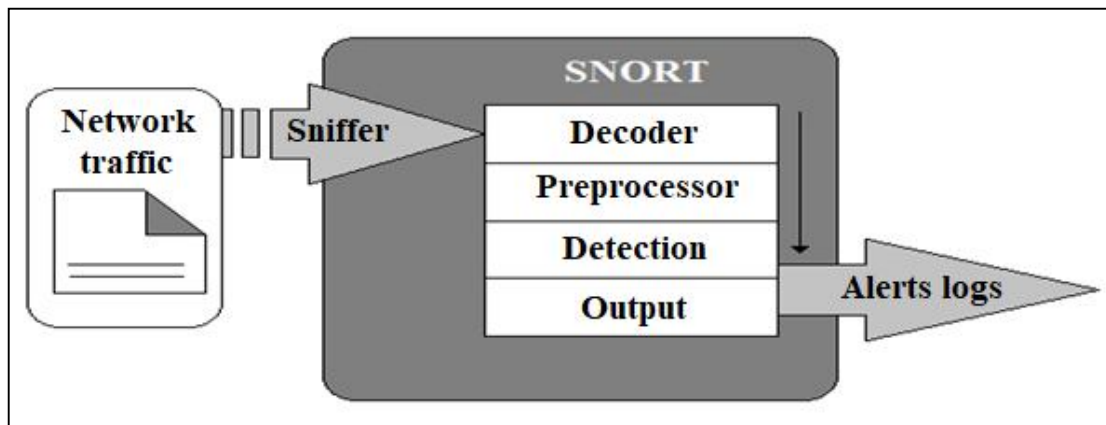


Figure 1 – Architecture of IDS Snort

<i>Rule Header</i>	<i>Rule Options</i>
alert tcp any any ->	\$MY_NET any (flags: S; msg: "SYN packet");

Figure 2 – Example of a Snort rule

The action "alert" is selected on the presented rule, which generates an alert and sends information to the logging system. According to the rule, an alert will be generated if packets with the presence of SYN flag (flags: S) are sent to our network (\$MY_NET any – IP of our computer and all ports) from any source (any – all IP, any – all ports), using the TCP transfer protocol (tcp). In the logging system, the message presented in the rule will be recorded (msg: «SYN packet»).

The purpose of this research is to implement adaptive intrusion detection system based on expert rules obtained from the optimal dataset using the most suitable machine learning algorithm.

Comparative analysis of data sets for IDS. For testing and evaluating the effectiveness of various methods used in IDS, a correct dataset with real traffic and modern network attacks is required. A large number of datasets cannot be distributed in the public domain, because they contain confidential information. The other part of the datasets contains a lack of traffic and a variety of attacks. It should also be noted that good datasets should be updated periodically. According to research [1, 2, 11] proposed many ways to evaluate quality of datasets for IDS. In this paper we use the most modern evaluation system [2]. This system consists of 11 criteria: «Attack Diversity», «Anonymity», «Available Protocols», «Complete Capture», «Complete Interaction», «Complete Network Configuration», «Complete Traffic», «Feature Set», «Heterogeneity», «Labelling», and «Metadata» are critical for a comprehensive and valid IDS dataset.

Further, the disadvantages of each of the considered datasets are demonstrated:

- DARPA (Lincoln Laboratory 1998–99). DARPA is the first dataset for the evaluation of intrusion detection system. Within two weeks, about 201 cases of about 56 types of attacks were distributed. This set does not correspond to the real modern network traffic and contains various errors. Dataset is outdated for effective evaluation of IDSs;
- KDD'99 (University of California, Irvine 1998–99). KDD'99 is the subset of DARPA dataset. KDDCup dataset contains about 4,9 million single instances which are described by 41 features. They are classified as either normal or an intrusion. Also outdated dataset. Contains a large number of unnecessary records, as well as corrupted data;
- DEFCON (The Shmoo Group 2000, 2002). DEFCON datasets uses port scan and sweeps, bad packets, administrative privilege, and FTP by telnet protocol attacks. The dataset was generated during an open information security competition, which leads to a mismatch with real traffic;
- CAIDA (Center of Applied Internet Data Analysis 2002–2016). Contains 3 different datasets: CAIDA OC48, CAIDA DDOS and CAIDA Internet 2016. These datasets are very specific for machine learning and contain anonymous information, which makes them not effective in comparative analysis;
- LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory 2015). Network traffic with full packet headers recorded on an average site. There is no payload and too much anonymous information;
- CDX (United States Military Academy 2009). This dataset contains network traffic from cybersecurity competitions. The set contains Internet traffic, email traffic, DNS lookup and other necessary services.

Network attack tools such as Nikto, Nessus, and WebScarab were also used. Insufficient traffic diversity (quite common problem);

- Kyoto (Kyoto University 2009). The Kyoto 2006 dataset was created from November 2006 to August 2009. This dataset contains 50 million regular sessions and 43 million attack sessions. It does not coincide with the actual network traffic. The normal data in this dataset contains only DNS and mail traffic. Thus, the total number of false positives is reduced;
- Twente (University of Twente 2009). This dataset contains three services such as OpenSSH, Apache web server and Proftpd using auth/ident on port 113 and captured data from a honeypot network by Netflow. The dataset contains unmarked traffic. Also contains small amount of total traffic and monotonous network attacks;
- UMASS (University of Massachusetts 2011). The dataset includes trace files, which are network packets, and some traces in wireless applications (from Massachusetts, Amherst, 2011) (Nehinbe, 2011). UMASS was created using one attack scenario; therefore, there is no diverse traffic, which makes it useless for testing IDS methods;
- ISCX2012 (University of New Brunswick 2012). A set with two profiles: a profile of various attack scenarios, and a profile for generating benign traffic. It includes network traffic for the HTTP, SMTP, SSH, IMAP, POP3, and FTP protocols with packet payloads. Important modern network protocols are not presented in ISCX;
- HTTPCSIC2010 (Spanish Research National Council 2010). The HTTP dataset CSIC 2010 contains 223 thousands of web requests automatically generated with 18 attributes. HTTP is a narrowly specialized data set with a lack of total information, network attacks, and the types of protocols;
- ADFA (University of New SouthWales 2013). This dataset includes normal training and validating data and 10 attacks per vector (Creech and Hu, 2013). It contains FTP and SSH password brute force, Java based Meterpreter, Add new Superuser, Linux Meterpreter payload and C100Webshel attacks. ADFA contains mislabeled data and insufficient network attacks.

According to a comparative analysis of this work (as shown in table 1) CICIDS selected for further research, because it meets all criteria of the standard dataset [2].

Table 1 – Results of comparative analysis

	Attacks	\Protocols	Features	Heterogeneity	Net. Config.	Interaction	Traffic	Anonymity	Labelling	Metadata	Capture	Result
DARPA	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	5/11
KDD	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+	6/11
Kyoto	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	7/11
CDX	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	2/11
LBNL	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	3/11
CAIDA	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	4/11
DEFCON	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	2/11
UMASS	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	3/11
Twente	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	6/11
ISCX	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	7/11
ADFA	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	6/11
HTTPCSIC	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	5/11
CICIDS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	11!

CICIDS dataset analysis. This dataset [8] contains the most common attacks and protocols. First, duplicated information is removed from the dataset, such as «Fwd Packet Header». Extra spaces and other input errors are also removed. Then, using the implemented software, the dataset is reformatted into a format compatible with the tool WEKA (.arff format). This format has a clear structure that is implemented in the CICIDS dataset. Presented in a tabular format, the set has 79 different attributes for each package (such as Destination port, Flow duration, Total fwd packets, Total backward packets and so on [9]). To generate traffic, two networks were emulated, an attacker network and a victim network as shown in figure 3.

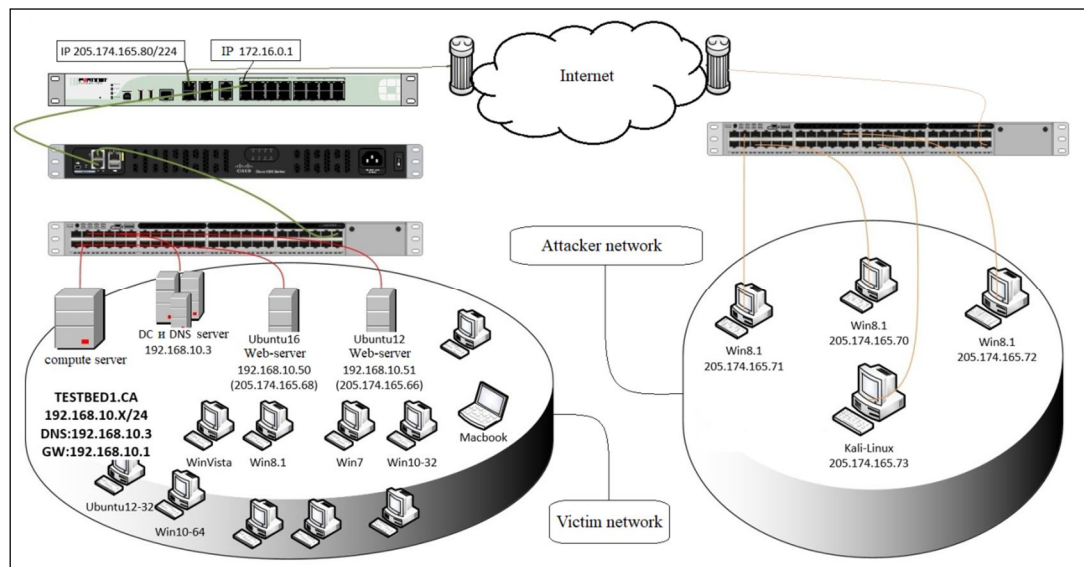


Figure 3 – CICIDS traffic generation architecture

It is worth noting that the heterogeneity of the set is achieved by capturing the network traffic from the main switch, and records of all system alerts and memory dumps of victim network computers. The network topology includes a modem, a firewall, switches, routers, and the presence of different operating systems such as Windows, Ubuntu and Macintosh. This dataset used software to emulate the real network user's behavior. The traffic generation lasted five days, and contains the following data as shown in table 2.

Table 2 – Daily CICIDS dataset traffic

Day	Traffic
Monday	Benign
Tuesday	Benign, BForce: (SFTP and SSH)
Wednesday	Benign, DoS and Hearbleed Attacks: Slowloris, Slowhttptest, Hulk and GoldenEye
Thursday	Benign, Web and Infiltration Attacks: Web BForce, XSS and Sql-injection Infiltration Dropbox Download and Cool disk
Friday	Benign, DDoS LOIT, Botnet ARES, Infiltration Attacks: PortScan

In this table «Benign» is the normal user behavior. «BForce» (Brute Force) is basically a hit and try attack, then the victim succeeds. «DoS» (Denial of Service attacks) – this type of attack creates difficult conditions for user access or a complete denial of service (for example, by creating a large number of requests). «Hearbleed Attacks» – attacks based on a bug in the OpenSSL cryptographic library, which is a widely used implementation of the TLS protocol. «Web» attacks on web systems, for example, embedding malicious code in a web page issued by a web system. «Infiltration attacks» probe attack which receiving information about the target system. «Botnet ARES» computer network consisting of a number of hosts with bots running that can provide remote shell, file upload/download, capturing screenshots and key logging.

Analysis of machine learning algorithms. One of the goals of this work was to choose the best machine learning algorithm and create expert rules for IDS based on it. To achieve the goal we need a machine learning tool and evaluation measures.

A large number of excellent tools available today, such as RapidMiner, Apache Mahout, Cafee, PyTorch and so on. The choice of a machine learning tool depends on the programming language, the possibility of implementing program code, or the need to obtain graphical results. The machine learning tool WEKA was used in this work. WEKA is tried and tested open source machine learning software [4]. The software can be used through a graphical user interface, Java API or a standard terminal. WEKA is widely used for research and industrial applications, contains built-in tools for machine learning tasks, and additionally gives transparent access to well-known toolboxes such as scikit-learn, R, and Deeplearning4j. An excellent choice for Python and Java programmers involved in research in the field of machine learning.

The metrics used to measure the effectiveness of the proposed methods are precision, recall and Fmeasure. Precision is the fraction of relevant attacks among the retrieved attacks (1). Recall is the fraction

of the total amount of relevant attacks that were actually retrieved (2). To determine the balance between precision and recall there is metric combining two concepts. Fmeasure is the harmonic mean of precision and recall (3).

$$Precision = TP / (TP + FP), \tag{1}$$

$$Recall = TP / (TP + FN), \tag{2}$$

$$Fmeasure = (2 \times Precision \times Recall) / (Precision + Recall). \tag{3}$$

In this formula TP (truepositives) is the number of correctly defined attacks, FP (falsepositives) is the number of incorrectly defined attacks, FN (falsenegatives) is the number of undefined attacks.

The dataset CICIDS was tested on various machine learning algorithms with the presentation of the classification results in table 3. The calculations were made on the Intel Core i7-8700T processor, with 4 gigabytes of memory heap size.

Table 3 – CICIDS algorithm testing results

Algorithm	Precision	Recall	Fmeasure
KNN	0.96	0.96	0.96
RF	0.98	0.97	0.97
ID3	0.98	0.98	0.98
Adaboost	0.77	0.84	0.80
MLP	0.77	0.83	0.76
Naive-Bayes	0.88	0.84	0.86
QDA	0.97	0.88	0.92
J48	0.98	0.98	0.98

The presented classification outputs show that some algorithms cope poorly with the task and are not suitable for further research. As a result of the evaluation of the effectiveness of the algorithms, which coped with the task, the «j48 algorithm» was chosen [5]. As an example in figure 4, the output of the J48 algorithm on the CICIDS dataset (day: Wednesday) is presented.

```

Time taken to build model: 992.18 seconds

=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===

Correctly Classified Instances      692325      99.9454 %
Incorrectly Classified Instances    378         0.0546 %
Kappa statistic                    0.9989
Mean absolute error                0.0003
Root mean squared error            0.0132
Relative absolute error            0.1714 %
Root relative squared error        4.6527 %
Total Number of Instances          692703

=== Detailed Accuracy By Class ===

                Precision  Recall  F-Measure  Class
                1,000     1,000     1,000     BENIGN
                0,990     0,994     0,992     DoS slowloris
                0,992     0,990     0,991     DoS Slowhttptest
                0,999     1,000     1,000     DoS Hulk
                0,995     0,995     0,995     DoS GoldenEye
                0,833     0,909     0,870     Heartbleed
Weighted Avg.                0,999     0,999     0,999

=== Confusion Matrix ===

  a    b    c    d    e    f  <-- classified as
439844 22   24   115  24   2  | a = BENIGN
  21 5763  10    1    1    0  | b = DoS slowloris
  17  34 5443    3    2    0  | c = DoS Slowhttptest
  26  0  0 231026  21    0  | d = DoS Hulk
  25  0  8    21 10239  0  | e = DoS GoldenEye
   1  0  0    0    0   10  | f = Heartbleed
    
```

Figure 4 – J48 algorithm WEKA output for CICIDS (Wednesday)

This output of the program contains information about the operating time of the model used classification methods and general information about the set. Also it compiled confusion matrix and calculated averages, which greatly simplifies the task of data analysis

Creation and implementation of expert rules. Rules created using the WEKA tool were saved as a decision tree j48. In this work, software for creating expert rules was written in the python programming language, consists of 200 lines of code. The program monitors «end nodes» and compiles a set of rules for each of presented attacks (fig. 5).

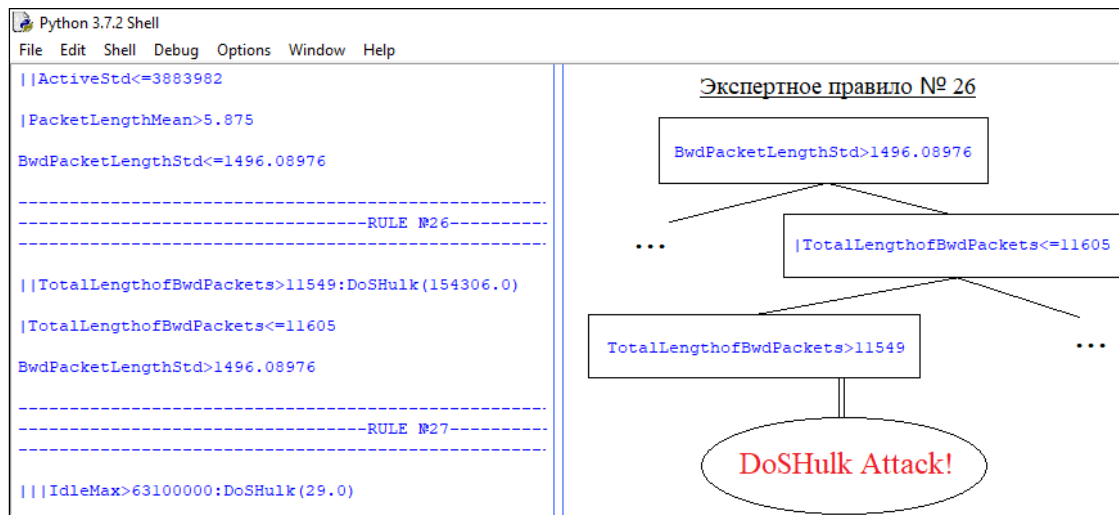


Figure 5 – An example of creating an expert rule for a DoS attack

The figure 5 shows one of the rules for detecting DoS attacks. Thus, if standard deviation size of packet in backward direction is more than 1496.08976 bytes and total size of packet in backward direction in the interval from 11549 to 11605 bytes then the packet is attack (type DoSHulk). As a result of the work, it was revealed that some attributes are more interest for a particular attack. For example, for GoldenEye attacks (type of DoS attacks), the attributes «B. Packet Len Std», «Flow IAT Min», «Fwd IAT Min», «Flow IAT Mean» are more interesting than the others (for a detailed description of the attributes see [8]).

Then the extracted expert rules are drawn up according to the syntax of the Snort rules language and written to the Snort.rules file. Snort runs in network IDS mode and accesses the rules file, as specified in snort.config. The implemented IDS shows effective indicators of correctly classified information, over 98 %.

Moreover, this system allows detecting new attacks that are not represented in signatures, since the obtained rules are drawn up on the identified patterns [4]. Thus, any modified old attack is detected.

Conclusion. In this research paper, the results of a comparative analysis of 15 datasets for IDS are obtained. Based on the analysis one best dataset CICIDS was selected. Duplicated information is removed from the dataset, such as «Fwd Packet Header». Extra spaces and other input errors are also removed. Then, using the implemented software, the data set is reformatted into a format compatible with the tool WEKA. Next, the implementations of 8 machine learning algorithms are presented. As a result of the evaluation of the effectiveness of the algorithms, the j48 algorithm was chosen. In this work, software for creating expert rules was written. Further, based on the results of classification of the j48 algorithm, expert rules were created that were able to respond to network intrusions.

In the work reproduced IDS with embedded expert rules. All expert rules are implemented in the Snort rules language. Snort runs in network IDS mode and accesses the rules file, as specified in snort.config. The proposed system provides effective detection rates (over 98 %)

In the future, the task will increase the detection and implementation of an artificial immune system for comparative analysis.

Библиографический список

1. Ali L. W. Network intrusion detection and prevention: Concepts and techniques / L. W. Ali, T. Mahbod. – Springer Science, LLC, 2010. – 205 p.
2. Gharib A. An evaluation framework for intrusion detection dataset // A. Gharib, I. Sharafaldin, A. A. Ghorbani // 2016 International Conference on Information Science and Security (ICISS). – 2016. –p. 6.
3. Gong Fengmin. Deciphering Detection Techniques: Part II Anomaly-Based Intrusion Detection / Gong Fengmin. – White Paper from McAfee Network Security Technologies Group, 2003. – 30 p.
4. Hall Mark. The WEKA data mining software: an update / Hall Mark // ACM SIGKDD explorations newsletter_11. – 2009. – № 1. – P. 10–18.

5. Hssina B. A comparative study of decision tree ID3 and C4.5 / Badr Hssina, Abdelkarim Merbouha, Mohammed Erritali // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2014. – P. 1–19.
6. Holland T. Understanding IPS and IDS: Using IPS and IDS together for Defense in Depth, Information Security Reading Room / T. Holland. – SANS Institute, 2004. – P. 14.
7. Holmes G. Snort open source network intrusion prevention and detection system (ids/ips) / G. Holmes. – Режим доступа: <https://snort.org>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.01.2020).
8. Lashkari. A. H. Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization // A. H. Lashkari, S. Iman and A. A. Ghorbani // *4th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP)*. – Portugal, 2018. – P. 108.
9. Lashkari A. H. Network traffic flow analyzer / A. H. Lashkari, Gerard Draper-Gil, Mohammad Saiful Islam Ma mun and Ali A. Ghorbani. – Режим доступа: <http://www.netflowmeter.ca/netflowmeter.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.01.2020).
10. Sagar N. Shah. Signature-Based Network Intrusion Detection System Using SNORT And WINPCAP / Sagar N. Shah. Purnima Singh // *IJERT*. – December, 2012. – Vol. 1, issue 10. – P. 7.
11. Shiravi A. Toward developing a systematic approach to generate benchmark datasets for intrusion detection // Ali Shiravi, M. T. Hadi Shiravi, and A. A. Ghorbani // *Computers and Security*. – 2012. – № 31. – P. 357.

References

1. Ali L.W., Mahbod T. *Network intrusion detection and prevention: Concepts and techniques*. Springer Science, LLC 2010. 205 p.
2. Gharib A., Sharafaldin I., Ghorbani A. A. An evaluation framework for intrusion detection dataset. *2016 International Conference on Information Science and Security (ICISS)*, 2016, p. 6.
3. Gong Fengmin. *Deciphering Detection Techniques: Part II Anomaly-Based Intrusion Detection*. White Paper from McAfee Network Security Technologies Group, 2003. 30 p.
4. Hall Mark. The WEKA data mining software: an update. *ACM SIGKDD explorations newsletter_11*, 2009, no. 1, pp.10–18.
5. Hssina Badr, Abdelkarim Merbouha, Mohammed Erritali. A comparative study of decision tree ID3 and C4.5. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2014, pp. 1–19.
6. Holland T. *Understanding IPS and IDS: Using IPS and IDS together for Defense in Depth, Information Security Reading Room*. SANS Institute, 2004, p. 14.
7. Holmes G. *Snort open source network intrusion prevention and detection system (ids/ips)*. Available at: <https://snort.org> (accessed 01.01.2020).
8. Lashkari. A. H., S. Iman, Ghorbani A. A. Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization. *4th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP)*, Portugal, 2018, p. 108.
9. Lashkari A. H., Gerard Draper-Gil, Mohammad Saiful Islam Ma mun and Ali A. Ghorbani. Network traffic flow analyzer. Available at: <http://www.netflowmeter.ca/netflowmeter.html> (accessed 01.01.2020).
10. Sagar N. Shah, Purnima Singh: Signature-Based Network Intrusion Detection System Using SNORT And WINPCAP, (*IJERT*), ISSN: 2278-0181, Vol. 1 Issue 10, December- 2012, 7 p.
11. Shiravi A., Hadi Shiravi M. T., Ghorbani A. A. Toward developing a systematic approach to generate benchmark datasets for intrusion detection. *Computers and Security*, 2012, no. 31, p. 357.

УДК 004.01

**РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА БЕЗОПАСНОЙ КОММУНИКАЦИИ
НА БАЗЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ¹**

Статья поступила в редакцию 20.03.2020, в окончательной варианте – 01.06.2020.

Власов Роман Сергеевич, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
студент, e-mail: roma1202@mail.ru

Лукащик Елена Павловна, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: lep_9091@mail.ru

Осипян Валерий Осипович, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: v.osipyan@gmail.com

Разработка безопасного канала передачи данных – одно из решений проблемы обеспечения безопасности данных клиентов, которая по-прежнему остается первоочередной для современных информационных сервисов. Возможное решение этой проблемы видится в создании механизма, способного адаптироваться к текущему состоянию канала и в целях усиления безопасности автоматически изменять его криптографические характеристики. Для решения сложных задач, которые выходят за рамки простых функциональных спецификаций, в настоящее время все чаще используют методы машинного обучения. В данной работе при создании системы безопасной передачи данных по защищенному каналу применяют нейронные сети. Организация предлагаемой криптосистемы соответствует классическому сценарию в области безопасности. Эта система состоит из трех нейронных сетей: **А**, **В** и **Е**. Основная задача сетей **А** и **В** – безопасное общение на основе симметричного шифрования. Сеть **Е** желает подслушать их «информационный обмен», проанализировать его и в конечном счете получить возможность знакомиться с содержанием передаваемых сообщений, содержащих конфиденциальную информацию. Главной отличительной чертой предлагаемой системы защиты является то, что она не основана на строгом криптографическом алгоритме, а обучается безопасной коммуникации с течением времени. Состязательное функционирование нейронных сетей приводит к постоянной модификации системы шифрования. Предложенная система демонстрирует способности нового адаптивного метода обеспечения безопасности – нейронного. Искусственный интеллект способен автоматически разработать такое шифрование, которое будет недоступно для взлома. Примеров успешного применения нейросетевой технологии в криптографии к настоящему моменту крайне мало, что связано со спецификой данной области. Однако, учитывая потенциал передовых информационных технологий, можно утверждать, что применение методов машинного обучения в эру квантовых компьютеров, что, по-видимому, ожидает нас в ближайшем будущем, будет необходимым при создании оптимальных систем защиты.

Ключевые слова: безопасная коммуникация, защищенный канал связи, криптография, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, состязательность

**DEVELOPMENT OF SECURE COMMUNICATION MECHANISM
BASED ON MACHINE LEARNING METHODS**

The article was received by the editorial board on 20.03.2020, in the final version – 01.06.2020.

Vlasov Roman S., Kuban State University, Krasnodar, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,
student, e-mail: roma1202@mail.ru

Lukashchik Elena P., Kuban State University, Krasnodar, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,
Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, e-mail: lep_9091@mail.ru

Osipyan Valery O., Kuban State University, Krasnodar, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,
Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, e-mail: v.osipyan@gmail.com

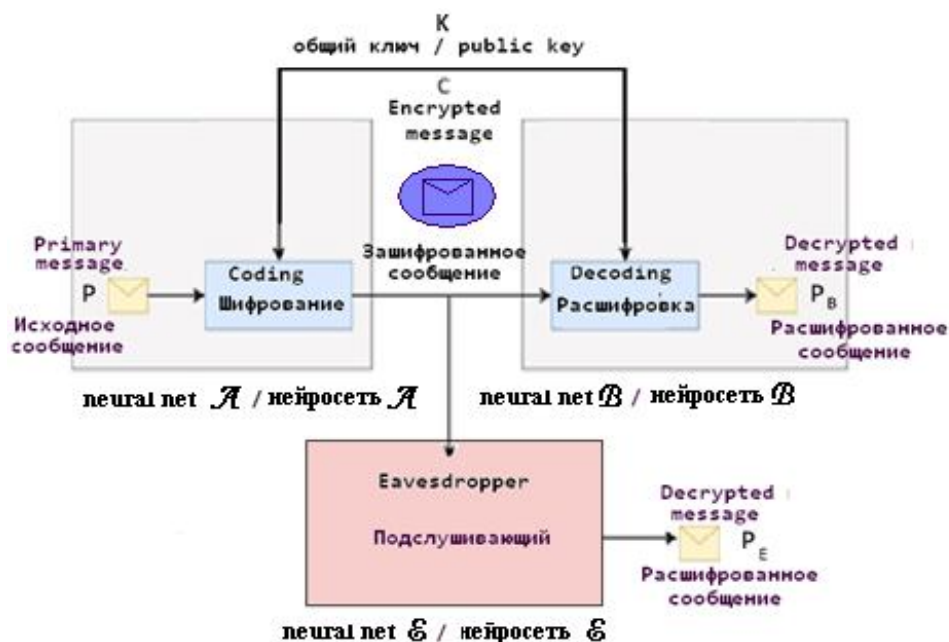
Development of a secure data transmission channel is one of the solutions to the problem of customer data security, which remains a priority for modern information services. One of the solutions seems to be the creation of a

¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 19-01-00596 «Теоретико-числовые и алгоритмические аспекты разработки математических моделей систем защиты информации, содержащих диофантовы трудности».

mechanism that can adapt to the current state of the channel and, in order to enhance security, automatically change its cryptographic characteristics. To solve complex problems that go beyond simple functional specifications, machine learning methods are increasingly being used. In this work, during creating a system for the secure transmission of data over a secure channel, neural networks are used. The organization of the proposed cryptosystem corresponds to the classical scenario in the security field. This system consists of three neural networks: **A**, **B** and **E**. Networks **A** and **B** want to communicate securely using symmetric encryption. Network **E** wants to eavesdrop on their messages in order to receive the original message. The main distinguishing feature of the proposed security system is that it is not based on a strict cryptographic algorithm, but learns how to communicate securely over time. The adversarial functioning of neural networks leads to constant modification of the encryption system. The proposed system demonstrates the capabilities of a new security method - neural, when artificial intelligence itself develops such encryption that will be inaccessible for hacking. To date, there are very few examples of the use of neural network technology in cryptography due to its specificity. However, given the potential of the advanced information technologies, it can be argued that the application of machine learning methods in the era of quantum computers, into which we are gradually diving, will be necessary for creating optimal security systems.

Keywords: secure communication, secure communication channel, cryptography, artificial intelligence, machine learning, neural networks, adversary

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Защита информации клиентов остается задачей первостепенной важности для динамично растущих в настоящее время направлений ИТ-рынка. Международная исследовательская и консалтинговая компания International Data Corporation (IDC) [15] провела исследование, которое показало, что даже с «облачными» технологиями, которые стремительно внедряются в ИТ-среду, многие компании связывают большие проблемы по части безопасности. Независимая исследовательская организация Portio Research [10] только подтвердила это, указав конкретные цифры: 68 % опрошенных руководителей европейских ИТ-компаний в целях обеспечения безопасности отказываются использовать «облачные» сервисы [8].

В ИТ-индустрии одним из способов защиты данных в процессе передачи по сети является построение виртуальных защищенных каналов связи. Они представляют собой соединение в сети, по которому передаются криптографически защищенные пакеты сообщений. Криптографические системы защиты постоянно совершенствуются, часто для этих целей используют сложные математические модели. Так, в последнее время появился цикл работ, посвященных созданию криптографических систем высокой стойкости на основе математического аппарата параметрических решений систем диафантовых уравнений [19].

К сожалению, со временем реализация почти любого способа шифрования все в меньшей степени обеспечивает необходимую защиту конфиденциальных данных. В связи с этим оправданными являются попытки разработки механизма безопасности, способного адаптироваться к сложившейся в канале криптографической ситуации и, при необходимости, динамически изменять

применяемый способ шифрования с целью улучшения безопасности передачи данных. Для создания подобного сложного механизма целесообразно использование современных возможностей искусственного интеллекта [3].

Тема искусственного интеллекта, интеллектуальных алгоритмов и машинного обучения чрезвычайно популярна. Это легко можно увидеть, наблюдая за новостями на различных IT порталах [17]. Среди множества парадигм и подходов в машинном обучении выделяется одна очень интересная область – искусственные нейронные сети (ИНС). Опыт использования ИНС показал их возможности при решении задач, алгоритм которых неизвестен [1]. Например, они используются для анализа сетевого трафика, выявления и определения сетевых атак [4, 5]. Однако в криптографии, связанной с использованием алгоритмов и протоколов, которые обеспечивают секретность и целостность информации, удачных решений на базе ИНС крайне мало.

Впервые взгляд на криптографию как новую область машинного обучения реализовался благодаря исследованиям, проводимым компанией Google (подразделение Google Brain) [9]. Команда данного подразделения предложила оригинальную модель криптографической системы состязательных ИНС. Реализованный в этой модели подход созвучен с последними исследованиями автоматического синтеза криптосистем с использованием таких технологий, как Zoo Crypt [13].

Главная цель исследований на базе машинного обучения – доказать, что ИНС могут научиться защищать конфиденциальность используемых данных от других ИНС. Благодаря состязательному обучению ИНС способны изобретать новые оптимальные формы шифрования и дешифрования без разработки каких-либо специальных алгоритмов для этих целей. В настоящей работе на основе нейросетевой технологии предложен вариант криптосистемы, обеспечивающей устойчивую работу защищенного канала связи. Результаты проведенного численного эксперимента демонстрируют возможности использования искусственного интеллекта для построения адаптивных систем защиты; подтверждают перспективность исследований в данном направлении.

Архитектура используемой нейросистемы. Архитектура предложенной в данной работе криптографической системы соответствует классическому криптографическому сценарию, в котором принимают участие три участника: два собеседника и несанкционированный слушатель [3]. Задача собеседников: обладая секретным ключом, безопасно передавать текст. Задача слушателя: получить исходную информацию из зашифрованного текста, не используя секретный ключ. В качестве критерия защиты коммуникации выбрана только секретность. Злоумышленник является «пассивным злоумышленником», который может перехватывать сообщения, но не может инициировать сеансы, вводить дополнительные сообщения или изменять передаваемые сообщения.

Согласно принятому сценарию в состав модельной системы входят три ИНС. Мы дали им классические для криптографии имена [14]: **А**, **В** и **Е**. Каждая система была обучена поддерживать общение с двумя другими. Работа **А** заключается в отправке секретных сообщений **В**. Сеть **В** должна расшифровать сообщение, присланное **А**. Задачей ИНС **Е**, в свою очередь, является наблюдение за общением двух других.

На рисунке 1 схематически изображена соответствующая данному сценарию система обмена данными. Компоненты криптосистемы представлены в виде сверточных ИНС, что является традиционным при глубинном обучении [6], позволяет уменьшить количество определяемых параметров при обучении. Все три нейросети состоят из полносвязного слоя и четырех одномерных сверточных слоев [7]. Каждый слой свертки логически объединен со слоем активации. В качестве функции активации для первых трех сверточных слоев используется функция сигмоида, а для последнего – гиперболический тангенс. Численный эксперимент подтвердил, что выбор таких функций для активации позволяет оптимальным образом определить вероятность наличия характерных признаков.

На вход сети **А** подается исходное сообщение P и ключ K в виде двух векторов, элементы которых в общем случае могут принимать вещественные значения. Входные данные для решения тестовых задач поставляются из случайного распределения. Если исходное сообщение и ключ имеют одинаковую длину N , а на выходе первого полносвязного слоя имеется $2N$ нейронов, тогда количество параметров этого слоя равно $2N \times 2N$. Размер зашифрованного текста равен также N . То есть предлагаемый криптосистемой способ шифрования сводится к перестановке и изменению значений исходного текста. Размер ядер последующих сверточных слоев принимались равными 4, 2, 1 и 1, а шаг свертки 1, 2, 1 и 1 соответственно. Сеть **В** на вход принимает шифротекст C и ключ K . Структура слоев сети **В** аналогична структуре слоев **А**. На вход сети **Е** принимается только зашифрованный текст C без ключа. В силу чего полносвязный слой этой сети имеет N входов и $2N$ выходов, а количество параметров этого слоя равно $N \times 2N$.

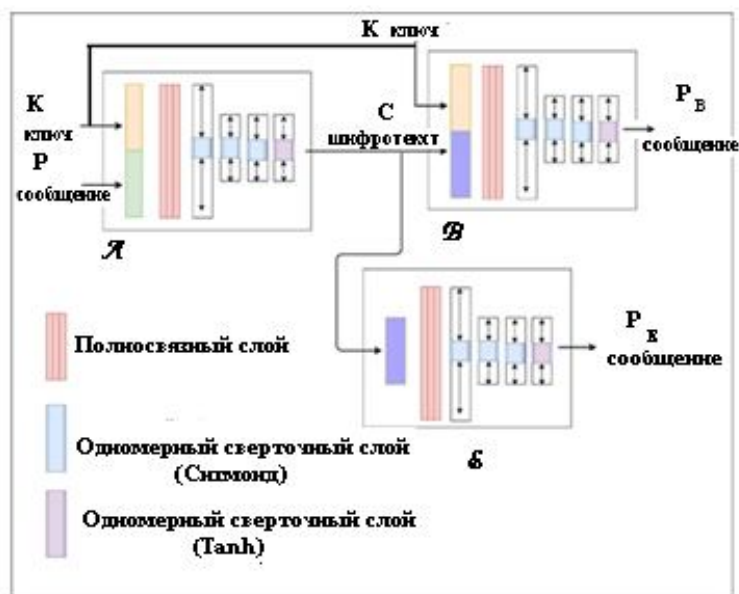


Рисунок 1 – Структура криптосистемы

Сети **В** и **Е** получают шифротекст **С** и пытаются восстановить исходный текст **Р**. Результаты работы сетей **В** и **Е** обозначим P_B , P_E соответственно. **А** и **В** имеют преимущество перед **Е**, так как обладают секретным ключом **К**. Для того, чтобы скрыть смысл изначального сообщения, **А** должна конвертировать открытый текст таким образом, чтобы **Е** его не понимала. Измененный текст должен быть понятен только **В**. Изначально **А** и **В** должны договориться о том, каким образом нужно изменять текст, чтобы они могли понимать друг друга, а **Е** бы его не понимала.

Роли входящих в данную криптосистему ИНС сводятся к следующему: **А** стремится к улучшению шифра, **В** обучается дешифрованию с использованием ключа, а **Е**, соответственно, к дешифрованию без ключа. Заметим, что **А** и **В** для безопасной коммуникации заранее не предоставляется пара «сообщение – шифр», реализующая конкретный алгоритм симметричного шифрования. Они должны самостоятельно обучиться защищать информацию в результате тренировок. Наличие **Е** стимулирует обучение **А**. Если бы в представленной модели не участвовала **Е**, то возможен случай передачи сообщения от **А** к **В** без какой-либо формы шифрования, что является небезопасным.

В ходе тренировок результаты дешифрования криптотекста сетями **В** и **Е** используются сетью **А** для изменения своих параметров с целью создать способ шифрования, для которого сеть **В** будет достигать нужной степени точности, а сеть **Е** окажется неспособной вскрыть истинный смысл передаваемого зашифрованного сообщения. С течением времени может оказаться, что для сгенерированного сетью **А** шифра сеть **Е** может обнаружить значительные успехи в дешифровании. В этом случае сеть **А** меняет шифр, что приводит, как правило, к ухудшению качества дешифрования сетью **Е**. В результате такой генеративно-сопоставительный процесс приводит к безопасной коммуникации.

Математический аппарат. Нейронные сети **А**, **В** и **Е** данной криптосистемы в общем случае работают с кортежами чисел с плавающей точкой. Функционирование системы можно описать при помощи следующего математического аппарата [14].

Для используемых данных примем следующие обозначения:

θ_A , θ_B и θ_E – параметры сетей **А**, **В** и **Е** соответственно;

K , P , P_B , P_E и C – кортежи чисел с плавающей точкой.

Заметим, что C , P_B , P_E могут состоять из вещественных чисел, даже если P и K состоят только из «0» и «1».

Также определим функциональные зависимости:

$E_A(\theta_A, P, K)$ – шифр сети **А** на сообщение P и ключ K ;

$D_B(\theta_B, C, K)$ – расшифровка сетью **В** криптотекста C при наличии ключа K ;

$D_E(\theta_E, C)$ – расшифровка сетью **Е** криптотекста C без ключа K .

Для оценки степени близости между подлинным текстом и приближительным значением, полученным при дешифровке, будем использовать дистанцию L_1 :

$$d(P, \hat{P}) = \sum_{i=1}^N |p_i - \hat{p}_i|,$$

где N – длина текста; p_i – элемент оригинального текста; \hat{p}_i – элемент дешифрованного текста.

Задача сети **Е** состоит в том, чтобы точно восстановить текст P . Насколько сильно **Е** ошиблась во взломе при исходном тексте P и ключе K , показывает функция ошибок:

$$L_E(\theta_A, \theta_E, P, K) = d(P, D_E(\theta_E, E_A(\theta_A, P, K))).$$

Обобщенная функция ошибок для сети **Е** определяется как математическое ожидание над распределением исходных текстов и публичных ключей

$$L_E(\theta_A, \theta_E) = \bar{E}_{P,K}[L_E(\theta_A, \theta_E, P, K)].$$

Оптимальный результат работы сети **Е** определяется по формуле:

$$O_E(\theta_A) = \operatorname{argmin}_{\theta_E}(L_E(\theta_A, \theta_E)).$$

Аналогично функция ошибок сети **В** для конкретного текста и ключа представляется в виде:

$$L_B(\theta_A, \theta_B, P, K) = d(P, D_B(\theta_B, E_A(\theta_A, P, K), K)),$$

и математическое ожидание распределения исходных текстов и публичных ключей

$$L_B(\theta_A, \theta_B) = \bar{E}_{P,K}[L_B(\theta_A, \theta_B, P, K)].$$

Основная задача сетей **А** и **В** – корректное общение и при этом сокрытие их коммуникации от **Е**, что реализуется минимальной ошибкой для **В** и максимальной для **Е**. Таким образом, функция совместной ошибки для сетей **А** и **В** должна включать компоненты, связанные с ошибкой дешифрования **В** и с успехом подслушивающей сети **Е**. В качестве такой целевой функции можно предложить суперпозицию функции ошибок **В** L_B и оптимального значения L_E :

$$L_{AB}(\theta_A, \theta_B) = L_B(\theta_A, \theta_B) - L_E(\theta_A, O_E(\theta_A)).$$

Оптимальное состояние системы соответствует точке экстремума указанной целевой функции:

$$(O_A, O_B) = \operatorname{argmin}_{(\theta_A, \theta_B)}(L_{AB}(\theta_A, \theta_B)).$$

Опыт обучения сетей **А** и **В** (см. далее) показал, однако, что ошибка восстановления текста для **Е** не должна стремиться к максимуму. Если **Е** максимально ошиблась при дешифровании криптотекста, то есть неправильно распознала все символы исходного текста, то, выполнив инвертирование всех битов в следующей итерации, она получит корректный исходный текст. В силу чего оптимальным поведением для **А** и **В** является провоцирование сети **Е** на создание результатов, близких к случайным. Для реализации описанного поведения в функции ошибок $L_{AB}(\theta_A, \theta_B)$ оставляем первую компоненту как «расстояние» между исходным текстом и результатом дешифровки **В**, а для вычисления второй компоненты предлагается следующая формула:

$$\left(\frac{N}{2} - L_E\right)^2 / \left(\frac{N}{2}\right)^2,$$

где N – размерность текста; L_E – функция, описывающая ошибку для **Е**.

Такая модификация функции ошибок способствует приближению функционирования сети **Е** к случайному угадыванию. Вторая компонента стремится к минимуму, когда половина битов сообщения верная, а вторая – нет. Квадратичный характер последней формулы позволяет делать акцент на том, когда **Е** допускает максимальную ошибку, или, если её догадки были верными. Данное уточнение позволяет улучшить надежность обучения безопасной коммуникации сетей **А** и **В**.

Процесс обучения. Процесс обучения ИНС криптографической системы базируется на методе стохастического градиентного спуска. Для больших объемов данных этот метод по скорости превосходит стандартный метод градиентного спуска, известный в теории сетей как метод обратного распространения ошибок [18].

Входной поток данных, используемый для обучения системы, разбит на партии – эпохи, эпоха разбита на серию подпартий-батчей, за одну итерацию проходит один батч [6].

Оптимальное значение для параметров ИНС **Е** не вычисляется для данного значения θ_A , а аппроксимируется, чередуя тренировки **Е** с тренировками **А** и **В**. Для процесса обучения выбран следующий порядок: один батч для тренировки **А** и **В**, затем два батча для тренировки **Е**.

Обучение происходит по следующему сценарию. **А** создает шифротекст, который изначально не понимают ни **В**, ни **Е**. За несколько эпох **А** и **В** могут найти способ общения, который позволит **В** хотя бы частично расшифровывать сообщения **А**, которое все также остается непонятным для **Е**. В частности, **А** и **В** могут использовать для безопасной коммуникации тривиальные преобразования, похожие на rot13 (представляет собой шифр подстановки обычной заменой для алфавита ан-

глийского языка) [23]. После нескольких итераций обучения сеть **Е** может начать взламывать шифр **А**. В процессе обучения **А** и **В** могут совершенствовать безопасность обмена данными, создавая новые шифры, приводящие к увеличению ошибок дешифрования для **Е**. В итоге **Е** не сможет приспособиться к новому шифру. Обучение прекращается, когда **А** и **В** создадут достаточно надежную криптосистему (то есть ошибка сети **В** не более 0,05 бит).

Далее подобранный системой шифр проверяется на криптостойкость. Обучаются экземпляры **Е**, которые пытаются взломать систему. Параметры сети **Е** сбрасываются, и затем она обучается заново 5 раз, при этом фиксируется лучший результат, достигнутый одним из вариантов **Е**. Обученные таким образом экземпляры **Е** назовем переподготовленными.

Если **А** и **В** не могут достичь необходимой точности за 150000 итераций, то обучение нейросистемы классифицируется как *неуспешное*. Если переподготовленные для проверки стойкости шифра экземпляры **Е** показывают хорошие результаты дешифрования, то обучение системы признается *ненадежным*. В противном случае результат обучения считается *успешным*.

Численный эксперимент. На основе описанного метода в среде разработки PyCharm на языке Python была реализована криптосистема, в которой безопасный обмен данными происходит с помощью ИНС.

Для разработки программы использовалась реализация библиотеки TensorFlow на языке Python. TensorFlow – это библиотека программного обеспечения с открытым исходным кодом, разработанная компанией Google и чаще всего используемая в задачах машинного обучения, в том числе обучения нейронных сетей [18]. Преимуществом TensorFlow является достаточно высокая скорость работы, особенно при использовании процессоров, имеющих архитектуру параллельных вычислений CUDA [14].

Программное обеспечение разрабатывалось согласно требованиям концепции MVC [11]: логика и интерфейс разделены и реализованы в отдельных модулях.

При инициализации программы пользователь задает необходимые параметры обучения: размер текста для шифрования, размер ключа, коэффициент обучения и количество эпох для обучения. Коэффициент скорости обучения – параметр градиентного метода обучения, позволяющий управлять величиной коррекции весов на каждой итерации. Экспериментально было установлено значение, равное 0,0008, что позволяет сетям **А**, **В** и **Е** решительно реагировать на изменения в других компонентах системы, пока не будет достигнуто решение, устойчивое к изменениям в сети **Е**.

Обучение проводилось для текста и ключа, размерами в 16 бит (значения 0 или 1). Графики функций ошибок сетей **В** и **Е** на рисунке 2 (красная линия – сеть **В**, зеленая линия – сеть **Е**) демонстрируют динамику успешного обучения системы при увеличении количества итераций. На горизонтальной оси указано пройденное количество эпох, на вертикальной – количество неверных бит при расшифровке текста. Результат считается идеальным, если количество неверных бит для **В** равно 0, а для **Е** – 8 (т.е. половина от размера текста).

Начальный этап обучения (первые 1000 итераций) более детально показан на рисунке 3. Видно, что первые попытки добиться шифрования для безопасной коммуникации были не слишком удачными. Сети **В** на первых порах не удавалось достаточно точно дешифровать сообщения от **А**. Ошибка **Е** была близка к ошибке **В**. Обучение проводилось всего за 1000 итераций. Следовательно, из этого можно сделать вывод, что за такое количество итераций, система не способна корректно определить параметры, позволяющие реализовать безопасную коммуникацию сетей **А** и **В**.

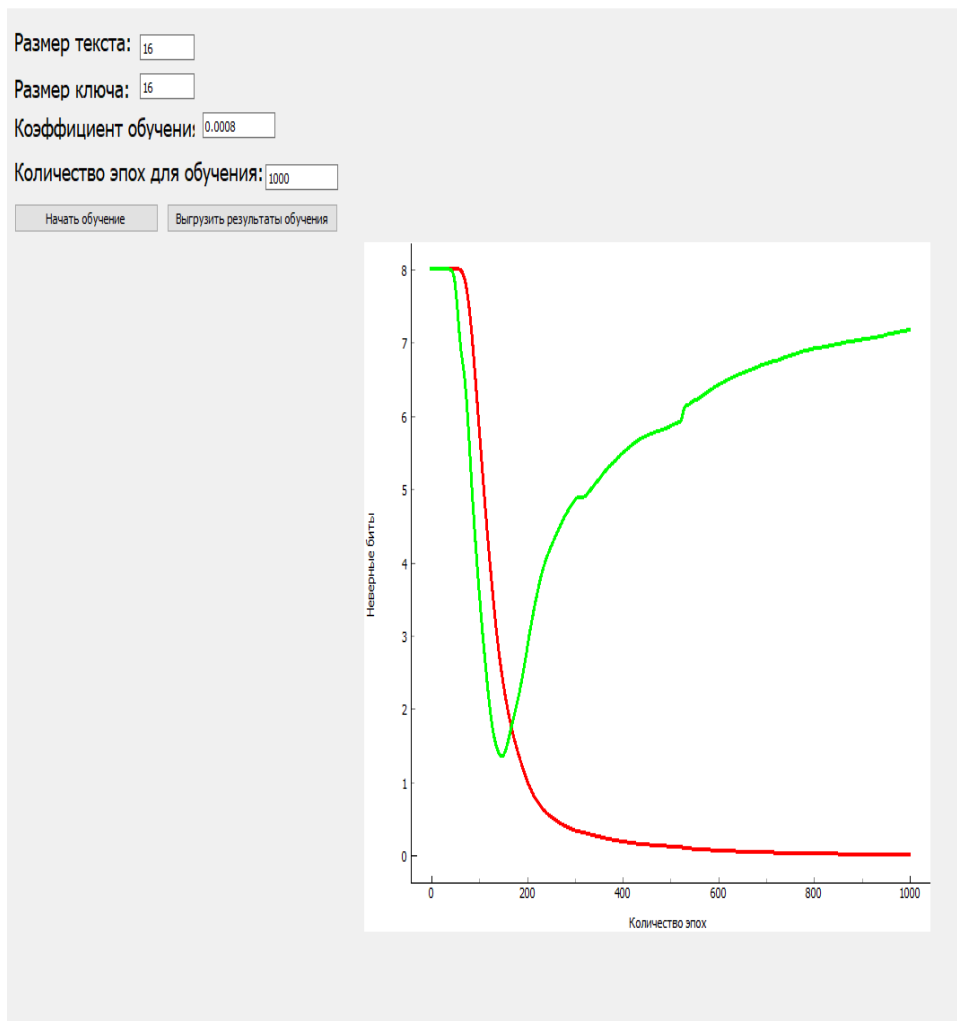


Рисунок 2 – Результаты обучения сетей В и Е

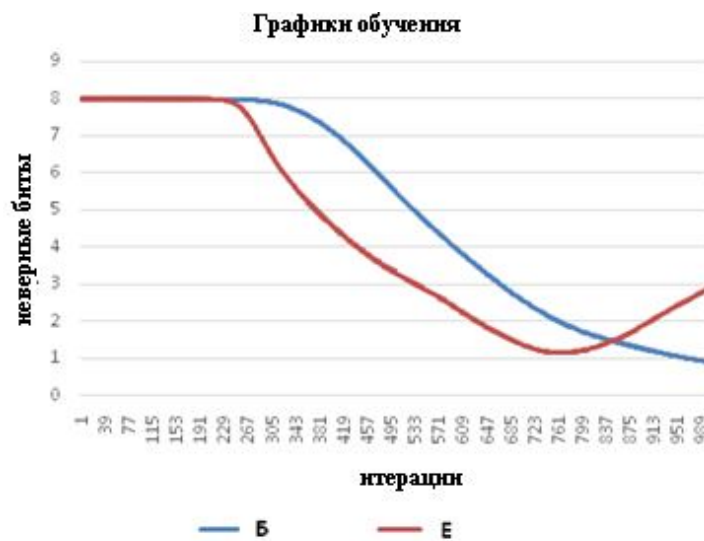


Рисунок 3 – Начальный этап обучения

Однако в процессе обучения (рис. 4) при увеличении количества эпох **А** и **В** начинают взаимодействовать намного лучше. После 10000 итераций успехи **В** превосходят успехи **Е**.

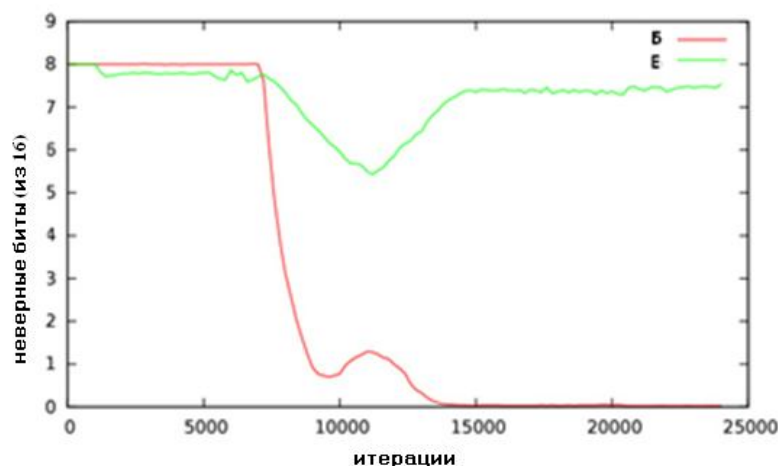


Рисунок 4 – Изменение количества ошибок дешифрования текста В и Е во время обучения

Эксперимент подтвердил, что обучение не всегда является успешным. Так при $N = 16$ шесть из двадцати попыток создания оптимального метода коммуникации заканчивались неудачей. Иными словами, ошибка дешифрования для В не падала ниже порога 0,05, а ошибка дешифрования Е была выше 7,3.

В четырнадцати успешных случаях сети А удалось разработать надежный метод передачи, который был понятен В, но Е при этом не могла расшифровать сообщения. Если иногда сети Е удавалось раскрыть систему шифрования сообщений двух других ИНС, то те после каждой удачной попытки Е вновь модифицировали метод шифрования.

На рисунке 5, где представлены результаты обучения за более длительный период (до 150000 итераций), явно заметны «скачки» в процессе обучения. Представленный на рисунке график обучения не похож на типичный результат для ИНС, где он обычно изменяется монотонно. Это связано с тем, что когда Е адаптируется к шифру А, то А снова перестраивает свой метод шифрования. Это снова увеличивает ошибку расшифрования для Е, а ошибку В, наоборот, снижает до минимума.

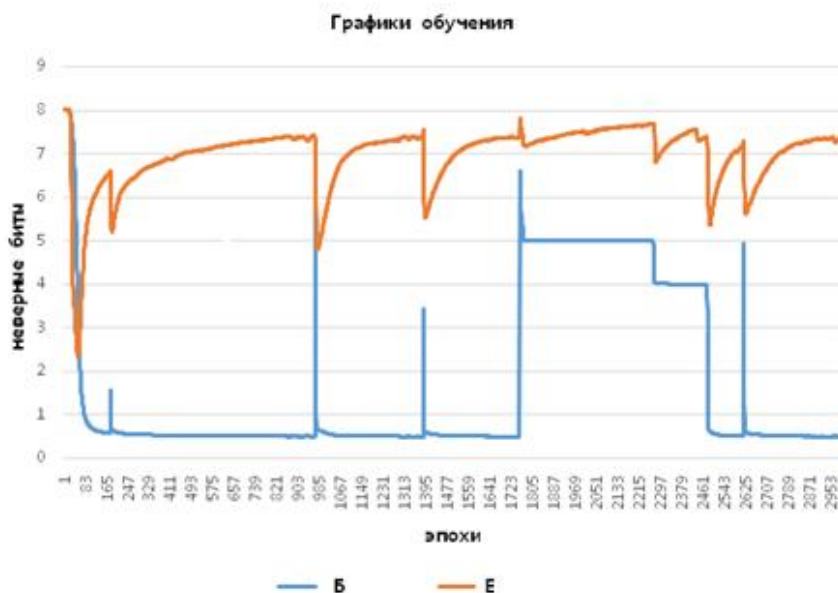


Рисунок 5 – Период длительного обучения

Таким образом, в данной работе показано, что при определенной организации генеративно-состязательного функционирования компонентов (ИНС) нейро-криптосистемы возможно автоматически поддерживать безопасную коммуникацию по защищенному каналу.

Заключение. Рассматриваемый в настоящей работе вариант механизма автоматической генерации нейросетями метода безопасной коммуникации представляется достаточно интересным для будущих разработок применением методов машинного обучения в криптографии. Результаты про-

веденных вычислительных экспериментов на основе модели состязательных ИНС свидетельствуют об их способности адаптироваться к криптографической ситуации в канале и автоматически разрабатывать простые способы шифрования сообщений, что согласуется с выводами работы [12].

Машинное обучение, применяемое в данном проекте, позволяет получить результат, но не демонстрирует путь его разработки. Поэтому точно не понятен алгоритм полученного метода шифрования.

Данный модельный проект можно усовершенствовать, если в основу его положить более сложный криптографический сценарий, гарантирующий не только секретность, но и, например, целостность передаваемой информации. Это вызовет включение в систему дополнительных компонент, например, **M** (Мэллори – “active attacker”) – активного злоумышленника, способного изменять, подменять сообщения [3] в канале. Увеличение требований к системе безопасности, несомненно, приведет к усложнению ее логики и потребует значительного увеличения времени для получения необходимых результатов. Необходимым условием преодоления этих проблем можно считать возможность распараллеливания и высокую скорость вычислений в современных многопроцессорных системах.

Занимающийся вопросами шифрования специалист из компании PKWARE Джо Стуронас [20] подчеркивает, что «методы работы с нейронными сетями начали развиваться на текущем уровне в последние несколько лет, поэтому мы лишь в начале пути». Пока что человек без труда может взломать систему защиты информации, разработанной нейронными системами. Возможно, через некоторое время машины научатся создавать более надежные системы шифрования данных, на взлом которых человеку придется потратить немало времени, если он будет вообще в состоянии понять результат работы машин.

Библиографический список

1. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. – Москва : Финансы и статистика, 2004 – 176 с.
2. Загинайлов Ю. Н. Теория информационной безопасности и методология защиты информации : учебное пособие / Ю. Н. Загинайлов. – Москва : Директ-Медиа, 2015. – 253 с.
3. Защита информации и ЭПО. – Режим доступа: <http://www.yztm.ru/2018/02/08/alicebk/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 12.10.2019).
4. Кочетов Д. А. Нейросетевая технология обнаружения сетевых вторжений / Д. А. Кочетов, Е. П. Лукашик // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – №. 2 (42). – С. 104–112.
5. Лукашик Е. П. Применение нейронных сетей для обнаружения сетевых атак / Е. П. Лукашик, Д. А. Кочетов // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы : сборник статей Международной научно-практической конференции (Уфа, 21.08.2017 г.). – Стерлитамак : АМИ, 2017. – С. 24–27.
6. Никоненко С. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / С. Никоненко, А. Кадулин, Е. Архангельская. – Санкт-Петербург : Питер, 2018. – 480 с.
7. Сверточные нейронные сети: взгляд изнутри. – Режим доступа: <http://ru.datasides.com/code/cnn-convolutional-neural-networks/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.01.2020).
8. Сравнение безопасности популярных облачных хранилищ. – Режим доступа: <https://falcongaze.ru/pressroom/publications/articles/compare-security-of-popular-cloud-services.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 18.02.2020).
9. Стельмах С. Нейронная сеть Google изобрела собственный протокол шифрования / С. Стельмах. – Режим доступа: <https://www.itweek.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.01.2020).
10. Шифрование облачных сервисов в компаниях и организациях. Блог компании КиберСофт, Информационная безопасность. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/cybersafe/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 13.12.2019).
11. Что такое MVC: базовые концепции и пример приложения. – Режим доступа: https://skillbox.ru/media/code/chto_takoe_mvc_bazovye_kontseptsii_i_primer_prilozheniya/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 24.02.2020).
12. Abadi M. Learning to protect communications with adversarial neural cryptography / M. Abadi, D. G. Andersen. – Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/1610.0698>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 07.04.2019).
13. Barthe Gilles. Fully automated analysis of padding-based encryption in the computational model / Barthe Gilles, Juan Manuel Crespo, Benjamin Gr. Egoire, C. Esar Kunz, Yassine Lakhnech, Benedikt Schmidt, and Santiago Zanella-B. Eguelin // Proceedings of the 2013 ACM SIGSAC Conference on Computer & Communications security, CCS'13. – NY, USA, 2013. – P. 1247–1260.
14. Ferguson Niels. Practical Cryptography / Ferguson Niels, Schneier Bruce. – Wiley Publishing, Inc., 2003. – 432 p.
15. IDC: The premier global market intelligence firm. – Режим доступа: <https://www.idc.com>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 15.02.2020).
16. Mirza M. Conditional generative adversarial nets / M. Mirza, S. Osindero. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1411.1784.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 04.08.2019).
17. Nano news net. – Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 24.05.2019).
18. Neelakantan A. Neural programmer: Inducing latent programs with gradient descent. CoRR, abs/1511.04834, 2015 / A. Neelakantan, Q. Le and I. Sutskever. – Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 14.04.2019).

19. Osipyany V. O. Development of information security system mathematical models by the solutions of the multigrade Diophantine equation systems / V. O. Osipyany, K. I. Litvinov, R. Kh. Bagdasaryan, E. P. Lukashchik, S. G. Sinita, A. S. Zhuk. – ACM Press, 2019. – P. 1–8.

20. Pkware Blog. – Режим доступа: <http://www.pkware.com>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 25.12.2019).

21. Portio Research. The home of mobile messaging research. – Режим доступа: <https://www.crunchbase.com/organization/portio-research>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 08.6.2019).

22. Rivest R. L. A method for obtaining digital signatures and public key cryptosystems / R. L. Rivest, A. Shamir, L. Adleman // *Communication of the ACM*. – 1978, Feb. – Vol. 21, issue 2. – P. 120–126.

23. Rot-13 Encryptor & Decryptor. – Режим доступа: <http://www.decode.org/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 15.07.2019).

References

1. Barskiy A. B. *Neuronnye seti: raspoznavanie, upravlenie, prinyatie resheniy* [Neural nets: discernment, management, decision making]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2004. 176 p.

2. Ziginaylov Yu. N. *Teoriya informatsionnoy bezopasnosti i metodologiya zashchity informatsii: uchebnoe posobie* [Information security theory and information protection methodology: tutorial]. Moscow, Direkt-Media Publ., 2015. 253 p.

3. *Zashchita informatsii i EPO* [Information protection and EPO]. Available at: <http://www.YZTM.ru/2018/02/08/alicebk/> (accessed 12.10.2019).

4. Kochetov D. A., Lukashchik E. P. Neyrosetevaya tekhnologiya obnaruzheniya setevykh vtorzheniy [Neural network technology to detect network intrusions]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 2 (42), pp. 104–112.

5. Lukashchik E. P., Kochetov D. A. Primenenie neuronnykh setey dlya obnaruzheniya setevykh atak [Use of neural networks to detect network attacks]. *Traditsionnaya i innovatsionnaya nauka: istoriya, sovremennoye sostoyaniye, perspektivy: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Traditional and innovativeness: history, current status, prospects: proceeding of the international scientific-practical conference] (Ufa, 21.08.2017). Cterlitamak, AMI Publ., 2017, pp. 24–27.

6. Nikonenko S., Kadurin A., Arkhangel'skaya E. *Glubokoe obuchenie. Pogruzhenie v mir neyronnykh setey* [Deep learning. Dive into the world of neural networks]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2018. 480 p.

7. *Svertochnyye neyronnye seti: vzglyad iznutri* [Convolutional neural networks: an inside view]. Available at: <http://ru.datasides.com/code/cnn-convolutional-neural-networks/> (accessed 17.01.2020).

8. *Sravnienie bezopasnosti populyarnykh oblachnykh khranilishch* [Comparison of the security of popular cloud storage]. Available at: <https://falcongaze.ru/pressroom/publications/articles/compare-security-of-popular-cloud-services.html> (accessed 18.02.2020).

9. Stelmah S. *Neuronnyy set Google uzobrela sobstvennyy protokol shifrovaniya* [Google neural network invents own encryption protocol]. Available at: <https://www.itweek.ru> (accessed 30.01.20).

10. *Shifrovaniye oblachnykh servisov v kompaniyakh i organizatsiyakh. Blog kompanii KiberSoft. Informatsionnaya bezopasnost* [Encryption of cloud services in companies and organizations. CyberSoft company blog, Information security]. Available at: <https://habr.com/ru/company/cybersafe/> (accessed 13.12.2019).

11. *Chto takoe MVC: bazovye konseptsii i primer prilozheniya* [What is MVC: basic concepts and an example application]. Available at: https://skillbox.ru/media/code/chto_takoe_mvc_bazovye_konseptsii_i_primer_prilozheniya/ (accessed 24.02.2020).

12. Abadi M., Andersen D. G. *Learning to protect communications with adversarial neural cryptography*. Available at: <http://arxiv.org/abs/1610.0698> (accessed 7.04.2019).

13. Barthe Gilles, Juan Manuel Crespo, Benjamin Gr. Egoire, C. Esar Kunz, Yassine Lakhnech, Benedikt Schmidt, and Santiago Zanella-B. Eguelin. Fully automated analysis of padding-based encryption in the computational model. *Proceedings of the 2013 ACM SIGSAC Conference on Computer & Communications security, CCS'13*. NY, USA, 2013, pp. 1247–1260.

14. Ferguson Niels, Schneier Bruce. *Practical Cryptography*. Wiley Publishing, Inc., 2003. 432 p.

15. IDC: *The premier global market intelligence firm*. Available at: <https://www.idc.com>. (accessed 15.02.2020).

16. Mirza M., Osindero S. *Conditional generative adversarial nets*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1411.1784.pdf> (accessed 4.08.2019).

17. *Nano news net*. Available at: <http://www.nanonewsnet.ru/news/2016> (accessed 24.05.2019).

18. Neelakantan A., Le Q., and Sutskever I. *Neural programmer: Inducing latent programs with gradient descent*. *CoRR, abs/1511.04834, 2015*. Available at: <http://arxiv.org/abs/> (accessed 14.04.2019).

19. Osipyany V. O., Litvinov K. I., Bagdasaryan R. Kh., Lukashchik E. P., Sinita S. G., Zhuk A. S. *Development of information security system mathematical models by the solutions of the multigrade Diophantine equation systems*. 2019, ACM Press, pp. 1–8.

20. *Pkware. Blog*. Available at: <http://www.pkware.com> (accessed 25.12.2019).

21. *Portio Research. The home of mobile messaging research*. Available at: <https://www.crunchbase.com/organization/portio-research> (accessed 08.06.2019).

22. Rivest R. L., Shamir A., Adleman L. A method for obtaining digital signatures and public key cryptosystems. *Communication of the ACM*, 1978, Feb., vol. 21, issue 2, pp. 120–126.

23. *Rot-13 Encryptor & Decryptor*. Available at: <http://www.decode.org/> (accessed 15.07.2019).

УДК 004.588

**МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ АНАЛИЗА ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ
ЕЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

Статья поступила в редакцию 31.03.2020, в окончательном варианте – 28.05.2020.

Ажмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

доктор технических наук, профессор, декан факультета цифровых технологий и кибербезопасности, профессор кафедры информационной безопасности, e-mail: aim_agtu@mail.ru

Завьялова Елена Евгеньевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

доктор филологических наук, заведующая кафедрой литературы, e-mail: zavyalovaelena@mail.ru

Кузнецова Валентина Юрьевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

ассистент, e-mail: arhelial@bk.ru

В работе рассмотрены методы автоматизации анализа русскоязычной текстовой информации с целью выявления ее семантической направленности на примере выполнения лингвистических экспертиз экстремистских материалов. Обоснована актуальность проблемы выявления экстремистских материалов на русском языке посредством лингвистических экспертиз. Проанализированы существующие подходы к исследованию продуктов речевой деятельности и выявлены их основные особенности и недостатки. Описана последовательность действий эксперта при проведении лингвистической экспертизы. Доказана возможность автоматизации процесса лингвистической экспертизы русскоязычных материалов. Предложены методические рекомендации по автоматизированному анализу текстов для решения различных прикладных задач, например, с целью поиска запрещенного контента или материалов ограниченного доступа на просторах интернета, фильтрации возрастного контента, построения расширенных цифровых профилей заемщиков микрофинансовых и банковских организаций с использованием контента из социальных сетей для определения степени их дефолтного поведения.

Ключевые слова: лингвистическая экспертиза, автоматизированный лингвистический анализ, экстремистские материалы, веса Фишберна, семантический анализ текста

**METHODS OF AUTOMATION OF ANALYSIS OF TEXT INFORMATION
IN RUSSIAN IN ORDER TO IDENTIFY ITS SEMANTIC DIRECTION**

Azhmukhamedov Iskandar M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Full Professor, Dean of the Faculty of Digital Technologies and Cybersecurity, Professor of the Department of Information Security, e-mail: aim_agtu@mail.ru

Zavyalova Elena E., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Full Professor, Head of the Department of Literature, e-mail: zavyalovaelena@mail.ru

Kuznetsova Valentina Yu., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

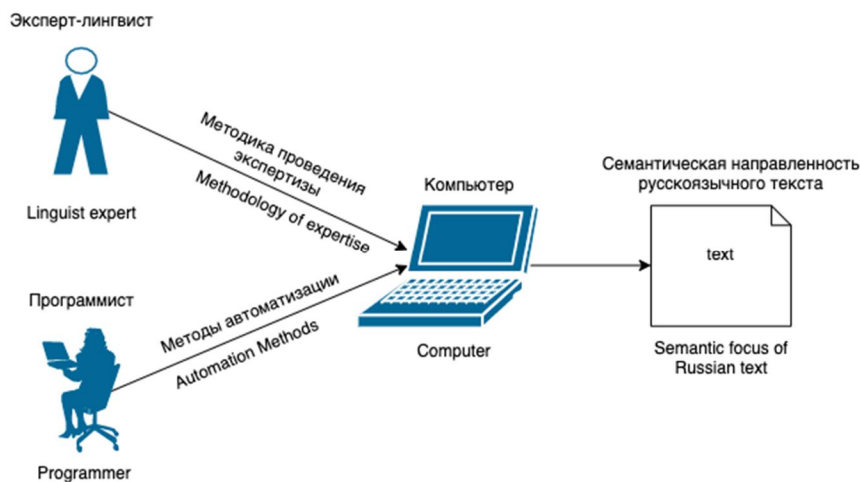
Assistant, e-mail: arhelial@bk.ru

The article was received by the editorial board on 31.03.2020, in the final version – 28.05.2020.

The paper considers automation methods for analyzing Russian-language textual information in order to identify its semantic orientation using the example of linguistic examinations of extremist materials. The urgency of the problem of identifying extremist materials in Russian through linguistic examinations is substantiated. The existing approaches to the study of speech activity products are analyzed and their main features and disadvantages are revealed. The sequence of actions of an expert during a linguistic examination is described. The possibility of automating the process of linguistic examination of Russian-language materials is proved. Methodological recommendations on automated text analysis for solving various applied problems are proposed, for example, to search for prohibited content or restricted access materials on the Internet, filter age-related content, build advanced digital profiles of microfinance and banking organizations borrowers using content from social networks to determine the extent of their default behavior.

Keywords: linguistic examination, automated linguistic analysis, extremist materials, Fishburn weights, semantic analysis of the text

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Распространение экстремистских идей в Российской Федерации угрожает национальной безопасности государства. Если терроризм безусловно отвергается обществом, то экстремизм – ключевой элемент разрушения основ конституционного строя – все еще воспринимается гражданами как вполне допустимый инструмент политического противостояния.

Экстремизм – это приверженность к крайним взглядам и мерам [14]. К ним можно отнести публичное оправдание террористической деятельности, возбуждение социальной, национальной, расовой или религиозной вражды, пропаганда националистической атрибутики, финансирование таких деяний или любая помощь в их организации [15].

В настоящее время развитие коммуникационных технологий, доступность оружия, широкие возможности по переводу денежных средств, простота вербовки кадров для осуществления экстремистской деятельности способствуют расширению масштабов экстремизма во всём мире. Террористические организации, в том числе действующие в России, используют интернет для вербовки новых членов, включая террористов-смертников из числа экстремистски настроенной молодежи с целью привлечения их в радикальный ислам, а затем и для побуждения к совершению противоправной деятельности. Кроме того, интернет используется для формирования лояльно настроенной к террористическим организациям среды, играющей активную роль в их поддержке. В соцсетях создаются аккаунты и закрытые группы, в которых ведётся пропаганда идеологии экстремизма и терроризма. Помимо информационной функции социальные сети могут выполнять и функции по организации и координации массовых акций, имеющих своей целью открытую конфронтацию с законно избранной властью [6].

Существует перечень общественных и религиозных объединений, иных некоммерческих организаций, в отношении которых судом принято вступившее в законную силу решение о ликвидации или запрете деятельности по основаниям, предусмотренным Федеральным законом «О противодействии экстремистской деятельности», и этот перечень регулярно обновляется [23]. Однако идеология подобных объединений пользуется популярностью, о чём можно судить на примере «Исламского государства» (ИГИЛ). Под его контролем находится целый ряд информационных агентств, печатных и электронных средств массовой информации Сирии, Ирака, Саудовской Аравии и ряда других стран. Создана масштабная разветвленная сеть интернет-ресурсов – около 500 сайтов и большое количество аккаунтов в социальных сетях [4]. Серьёзное внимание пропагандистские структуры указанной группировки уделяют вещанию на русском языке: объём материалов на нём лишь в незначительной степени уступает арабскому и английскому языкам. Данная статистика говорит о том, что российские граждане планомерно подвергаются деструктивному воздействию. Это также подтверждается отчетом американской компании Soufan Group, согласно которому Россия обошла другие страны по числу граждан, которые отправляются воевать за «Исламское государство» (около 3 500 человек) [11].

Число преступлений экстремистской направленности выросло в России в январе 2020 г. на 77,1 % по сравнению с аналогичным периодом 2019 г. – об этом сообщается на ведомственном портале правовой статистики Генпрокуратуры [18]. Несмотря на то, что по сравнению с 2017 г. отмечено снижение соответствующих преступлений, количество зарегистрированных преступлений в последние годы остается достаточно большим (рис.) [21]. Кроме того, высокая общественная

опасность рассматриваемых преступлений, их латентность требуют особого внимания к ним со стороны правоохранительных органов; комплексного подхода, в том числе при взаимодействии с экспертами-филологами для проведения лингвистических экспертиз подозрительных материалов.

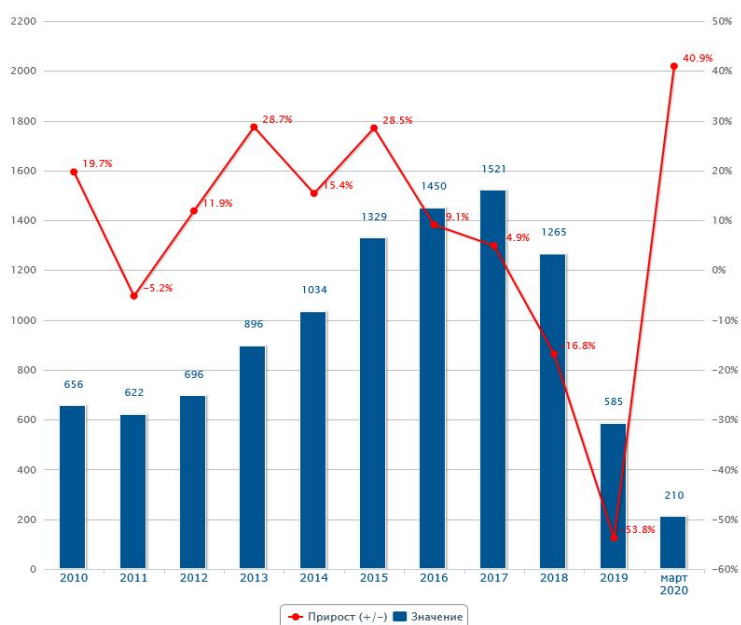


Рисунок – График, отражающий статистику по количеству преступлений экстремистской направленности (по данным сайта Генпрокуратуры) [21]

Это связано с необходимостью юридической оценки речевых действий с целью обнаружения признаков состава правонарушения, в частности, наличия или отсутствия в тексте «публичных призывов к осуществлению экстремистской деятельности»; «признаков возбуждения социальной, расовой, национальной или религиозной ненависти либо вражды»; «признаков унижения национального достоинства человека, либо группы лиц»; «оскорбления, затрагивающего национальные или религиозные чувства» и т.п.

При этом проведение лингвистической экспертизы, которую назначает суд, достаточно дорогостоящее мероприятие – средняя стоимость данной услуги колеблется в пределах 20 тысяч рублей [25].

Постановка задачи и предполагаемые результаты. В связи с этим становится актуальной задача совершенствования процедур автоматизации лингвистического анализа текстовой информации. Компьютерный анализ рассматривается нами в качестве предварительного этапа оценки степени деструктивности анализируемого текста. При этом:

- сотрудники органов внутренних дел смогут самостоятельно выявлять подозрительные материалы в короткие сроки;
- поиск запрещенных материалов в интернете и уведомление ответственных лиц о найденном опасном объекте может осуществляться в фоновом режиме;
- за счёт использования автоматизации на предварительном этапе достигается снижение затрат на проведение трудоемких очных лингвистических экспертиз для проверки потенциально деструктивного материала.

Важно отметить, что автоматизация лингвистического анализа текстовой информации не предполагает полного отказа от работы эксперта-лингвиста, а будет являться лишь первым этапом проверки (выявления) потенциально опасной текстовой информации.

Анализ литературных источников по теме статьи. Научных работ, посвященных автоматизации лингвистического анализа русскоязычных текстов, не так много. Использование методов математической лингвистики связано с решением узкого перечня задач – например, определение падежей, склонений или семантики конкретного слова в тексте. Имеющиеся работы касаются анализа преимущественно англоязычных материалов. Это связано со спецификой самого языка: русский, в отличие от других, гибкий, и предложения в нём не строятся в соответствии со строгой последовательностью слов. Существует колоссальное количество синонимов, определяющих одно и то же понятие. Необходимо учесть форм шести падежей (по которым меняются окончания не только существительных, но и

прилагательных), вида, спряжения, времени глаголов, сложных конструкций отрицания. Поэтому автоматизация анализа русскоязычных текстов является достаточно сложной и трудоемкой задачей.

Попытки системно охарактеризовать этапы проведения экспертизы экстремистских материалов на русском языке уже предпринимались. Например, Д. Л. Карпов сформулировал краткую модель анализа экстремистского текста в современной практике лингвокриминалиста [8–9], подразумевающую выявление следующих признаков: призывность, негативная оценка, враждебные высказывания, подчёркивание антагонизма, возлагание ответственности за негативные последствия, формирование страха как причины враждебного отношения, оправдание и пропаганду противоправных действий в отношении какой-либо группы лиц, в том числе угрозу подобных действий. Однако при этом признаки данных критериев сформулированы не были. Поэтому положить их в основу разработки автоматизированной методики не представляется возможным.

А. С. Арутюнов в ряде своих работ [2–3] освещает теоретические и философские аспекты анализа экстремистских текстов, а также обозначает базовые принципы и проблемы данного процесса. Однако конкретные приемы, которые используют эксперты и какие можно автоматизировать, не упоминаются.

Б. Я. Мисонжников и Г. С. Мельник считают целесообразным обратить внимание на условия, в которых находится анализируемый материал, и предлагают учитывать его контекст [12, 13]. Особенно это актуально для материалов, опубликованных в интернете на интерактивных сервисах: блоги, твиттер, «живой журнал» и др. В качестве исследуемых объектов в таких случаях выступают записи, которые имеют не только линейную последовательность букв, но и гипертекстовую структуру, то есть являются репликами письменного диалога, который в электронных документах оформляется с помощью гиперссылок. Поэтому исследуемые объекты необходимо анализировать не только по их бумажным копиям, но и в виде электронных документов, в их естественном интернет-контексте. При этом часть его в виде гиперссылок отражена на бумажных копиях, но по ним всесторонне не может быть изучена.

Анализ действий эксперта при лингвистической экспертизе. Для автоматизации процесса экспертизы необходимо сформулировать последовательность действий при проведении лингвистической экспертизы и основные маркеры, на которые обращает внимание эксперт при ее проведении.

Согласно нормативно-правовой базе РФ, *«судебная лингвистическая экспертиза – это процессуально регламентированное лингвистическое исследование устного и (или) письменного текста, завершающееся дачей заключения по вопросам, разрешение которых требует применения специальных познаний в языкознании и судебном речеведении»* [17].

К компетенции лингвистической экспертизы относятся интерпретация смысла высказываний и их лингвистическая квалификация. В этом смысле судебная лингвистическая экспертиза является одной из основных форм использования возможностей современного языкознания и речеведения при отправлении правосудия [5]. *«В случаях, если при производстве по делу об административном правонарушении возникает необходимость в использовании специальных познаний в науке, технике, искусстве или ремесле, судья, орган, должностное лицо, в производстве которых находится дело, выносят определение о назначении экспертизы»* [10].

Как правило, до начала процедуры эксперт уже знает, на какие аспекты следует обратить внимание, так как в документе-направлении содержатся конкретные вопросы: *«Носят ли выражения <...> характер оскорбления личности, групп, общества в целом?», «Имеется ли наличие признаков деятельности экстремисткой направленности?»* и т.п.

При этом правовая квалификация деяния, установление вины и её форм, мотивов правонарушения в компетенцию экспертов не входят (согласно Постановлению Пленума Верховного суда России № 28 от 21.12.2010 «О судебной экспертизе по уголовным делам») [20].

При анализе текстов эксперт обращает внимание на следующее:

- 1) о ком (чём) говорится;
- 2) что именно сообщается;
- 3) как преподносится информация (характер высказываний);
- 4) зачем это делается (возможная цель).

Комплексный характер анализа – по всем трём составляющим – принципиально важен, так как отсутствие одного из пунктов анализа может привести к ложноположительным или ложноотрицательным результатам экспертизы.

Помимо вышеперечисленного оценивается *коммуникативная ситуация* – система взаимодействующих факторов (реальных и воображаемых), определяющих речевое поведение: состояние автора, его языковая компетенция, степень спонтанности порождения текста, формат сообщения и проч. Речь зачастую характеризует неоднозначность и возможность разной интерпретации сказанного. В задачу

эксперта входит выявление скрытых, неявных смыслов путём экспликации лексически невыраженных компонентов. Это определяется как установление актуального значения языкового выражения.

Экспертом обращается внимание на негативную и позитивную оценку лиц, обстоятельств, событий. Нейтральная позиция в большинстве случаев в расчёт не принимается.

О. В. Кукушкина выделяет следующие типы важных оценок предмета речи [11]:

- общая (аксиологическая) оценка типа «хороший/плохой»;
- эмоциональная (экспрессивная) оценка «нравится/не нравится»;
- оценка типа «достойн/не достоин предмет речи определённого социального статуса и соответствующего ему отношения»;
- оценка типа «свой/чужой»;
- модальная оценка (какие действия считает автор необходимыми, допустимыми, возможными, желательными по отношению к предмету речи);
- оценка по степени важности.

К. Е. Изард называет три типа враждебных эмоций: гнев, отвращение и презрение [7]. Ю. В. Щербинина перечисляет чувства, их вызывающие: первый тип связывает с раздражением, недовольством, возмущением, негодованием, злостью, яростью, досадой, огорчением, разочарованием; второй – с неприязнью, омерзением, брезгливостью, гадливостью; третий – с высокомерием, пренебрежением, заносчивостью, надменностью [27].

Эксперт, как правило, идентифицирует эмоции интуитивно, а также «вымеряет» их по степени, длительности, способу проявления и т.д.

Предлагаемая методика. На основании анализа литературы по изучаемому вопросу и результатов опроса фокус-группы астраханских экспертов-лингвистов были сформулированы основные категории лексем, которые являются индикаторами тематики текста (табл. 1). Приведенные в таблице категории лексем, отсылающих текстовую информацию к той или иной семантической направленности, могут потенциально свидетельствовать о том, что анализируемый текст является экстремистским. Для каждой категории были приведены примеры слов-индикаторов, которые ее характеризуют.

Таблица 1 – Категории и примеры лексем-индикаторов

Категории тем (m)	Предположение	Примеры лексем-индикаторов
Цитаты из священных книг	Возможна интерпретация религиозных идей	Библия, Коран, Таинах, Ганджур и др.
Насилие	Возможны призывы к экстремистской деятельности	Кровь, война, смерть, враг, захват, мочить, к стенке, в бой, боевик, смертник, террор, угроза, шахид, жертвовател, взрывать, унижение
Религия	Возможны попытки возбуждения религиозной розни	Господь, Всевышний, Иблис, Шайтан, Сатана, божество, вера, вероисповедание, Вседержитель, Глас божий, Творец, закон
Возвышенная лексика	Возможны попытки возбуждения религиозной розни	Грядёт, посланник, сотоварищ, избранный, истинный, Священный, предшественник, предки, воспеть, предание, благоволить, благословил, благодеяние, боговоплощение
Политика	Возможны призывы к насильственному нарушению целостности государства	Власть, система, силовики, авторитаризм, легитимность, узурпация, насилие, ватник, либераст, подтасовка, засудить, государство, ваххабиты, геноцид, президент, глава государства, страна, движение, идеология и т.д.
Шовинизм	Возможны попытки возбуждения национальной розни	Москаль, великорусский, хохол, узкоглазый, нигер, чёрный, жид, чурбан, зверь, хачик, нация, оккупанты, грязный, хач, корсак, чурка, еврей, чернокожий, негр, скинхеды, славяне, нацист, дискриминация, расовой, вражды, вражду, вражде, этнической, расовой, рознь, ислам, исламский фундаментализм
Подлог	Возможны попытки возбуждения эмоциональной розни	Махинации, вор, жулик, братки, понятия, мафия, банда, рэкет, тюрьма, подделка, мошенничество, криминал, вор, бандит, барыга, грабеж, оборот, разбой, коррупция, сговор
Обесцененная лексика	Возможны попытки публичного заведомо ложного обвинения лиц	«Русский матерный словарь»

Продолжение таблицы 1

Инвективная лексика	Возможно наличие оскорблений	«Словарь русских национальных ругательств»
Экспрессивная лексика	Возможны негативные эмоции значительной интенсивности	Избавиться, подавиться, захлебнуться, распоряжаться, разглагольствовать, призывать, отживать, истребить, бороться, сопротивляться, гибнуть, уничтожить, расправиться, напасть, нанести, подавить, истязать, принудить, лишить, породить, исповедовать, господствовать, карать, вынудить, ужесточает, запрещенных, безответственное, подрывать, скандал, отстранение, опровергнуть, ударный, недопустимые, неприемлемые
Лексемы с семантикой должен-ствования	Возможно наличие призывов к действию	Должен, нужно, следует, требуется, будь, необходимо, обязательно, непременно, в обязательном порядке, придется, надлежит, подобает, надобно, нельзя не..., соответственно, обязан, облигаторный

Приведенная выше таблица 1 служит своего рода продукционной базой правил.

Например, фрагмент такой базы может выглядеть следующим образом:

Если в тексте **встречается** слово «захват», **то** в нём наличествует тема «насилие», что может свидетельствовать о том, что **текст содержит призывы к экстремистской деятельности.**

Если в тексте **встречается** слово «узурпация», **то** в нём наличествует тема «политика», что может свидетельствовать о том, что **текст содержит призывы к насильственному нарушению целостности государства.**

У слов-индикаторов в каждой категории есть свой вес – нормированная величина относительно всех других слов в категории. Для определения этих весов предлагается использовать модифицированную схему получения обобщенных на случай смешанного распределения предпочтений весов Фишберна. При её использовании для назначения весовых коэффициентов необходимо знать только то, насколько одно слово более существенно при анализе, чем другое, или, возможно, оба слова имеют одинаковый уровень важности [22].

Для примера рассмотрим распределение слов-индикаторов в категории «насилие» и нахождение для них весов Фишберна. Эксперту-лингвисту было предложено распределить слова из исследуемой категории по уровню их влияния. Целью являлось отнесение материала к тематике категории – чем выше слово в иерархии, тем большее воздействие оно оказывает на результаты анализа текста. При этом допускалось, что некоторые слова могут быть на одном и том же уровне по уровню их влияния.

Таким образом, в результате совместной работы с практикующим экспертом-лингвистом для категории «насилие» была получена иерархическая структура, состоящая из четырех уровней (табл. 2). Самые существенные (в отношении оценки силы влияния) слова в категории получили оценку «4», наименее существенные и «агрессивные» – оценку «1».

Таблица 2 – Результат работы эксперта-лингвиста по расстановке слов в соответствии с их степенью влияния в категории «насилие»

Оценка влияния (в баллах) - В	Слово
4	мочить; смертник; террор; смерть; шахид
3	кровь; к стенке; боевик; угроза
2	война; враг; взрывать; захват
1	в бой; угроза, унижение

Для вычисления нормированного значения веса (V_i) для i -го слова по схеме Фишберна имеем следующую формулу:

$$V_i = \frac{B_i}{\sum_{k=1}^n n_k B_k},$$

где n – количество слов в категории; B – оценка существенности слова в категории; k – индекс категории слов.

Например, для слова «враг» в категории «насилие» вес определяется так:

$$V_i = \frac{2}{4*5+3*4+2*4+1*3} = \frac{2}{43} = 0,0465.$$

При наличии весов слов-индикаторов в категориях можно просчитать параметр γ_m (принадлежность текста к категории m). Он характеризует то, насколько анализируемый текст принадлежит к категории «насилие»:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n s_i V_i,$$

где s_i – частота повтора i -го слова в тексте.

Аналогично проводятся расчеты для всех остальных категорий. В результате формируется отчет, в котором указано, насколько исследуемый текст принадлежит к каждой из категорий.

С использованием этой методики был проведен анализ материалов, ранее определенных экспертами как экстремистские. Тексты для анализа в количестве 4000 штук были получены из личных архивов экспертов-лингвистов. Объем каждого текста – в пределах 3000–5000 символов без пробелов.

Для указанных текстов были выявлены такие γ_m , которые характеризуют типичные тексты экстремистской направленности.

Таблица 3 – Значимые показатели принадлежности текста к обозначенным категориям

Категории тем	Типичный интервал величины
Цитаты из священных книг	0,578–0,711
Насилие	0,592–0,837
Религия	0,341–0,562
Возвышенная лексика	0,270–0,302
Политика	0,281–0,388
Шовинизм	0,210–0,342
Подлог	0,192–0,233
Обесцененная лексика	0,387–0,456
Инвективная лексика	0,482–0,537
Экспрессивная лексика	0,522–0,594
Лексемы с семантикой долженствования	0,634–0,688

Таким образом, если анализируемый текст по значению γ_m попадает в обозначенный в таблице интервал, то можно сделать вывод о том, что материал потенциально может относиться к категории экстремистских.

Важно отметить, что наличие политических, шовинистических мыслей, возвышенной, инвективной и другой лексики строго не определяет экстремистские материалы, а лишь указывает на возможное проявление в них экстремистских идей. Поэтому автоматизированный анализ необходим исключительно для первичного анализа потенциально деструктивного контента с целью принятия решения о целесообразности передачи материала эксперту-лингвисту.

Заключение. Предложенная методика позволяет автоматизировать процесс предварительного анализа текстового материала для выявления в нем возможных проявлений экстремизма. Автоматизация лингвистического анализа позволит снизить нагрузку на экспертов-лингвистов, сэкономить бюджетные средства на проведение предварительных экспертиз, а также автоматизировать процесс поиска деструктивного контента в интернете в режиме реального времени. Кроме того, предложенную методику можно использовать для анализа текста любой направленности при подборе тематических категорий и слов-индикаторов, например, с целью поиска запрещенного контента или материалов ограниченного доступа на просторах интернета, фильтрации возрастного контента, построения расширенных цифровых профилей заемщиков микрофинансовых и банковских организаций с использованием контента из социальных сетей для определения степени их дефолтного поведения [28].

Библиографический список

1. Антонова Ю. А. Экстремистский текст и деструктивная личность : моногр. / Ю. А. Антонова, Л. Е. Веснина, М. Б. Ворошилова, К. В. Злоказов, Ю. Р. Тагильцева, А. А. Карапетян. – Екатеринбург : Урал. гос. пед. ун-т, 2014. – 276 с.
2. Арутюнов А. С. Методология производства судебной лингвистической экспертизы с целью установления проявлений экстремизма / А. С. Арутюнов // Общество и право. – 2019. – № 2. – С. 79–83.
3. Арутюнов А. А. Терроризм и террористы: современная Россия : монография / А. А. Арутюнов. – Москва : Центр политической информации, 2003. – 91 с.
4. Воронцов С. А. Терроризм 2016: Новые вызовы и угрозы / С. А. Воронцов // Северо-Кавказский юридический вестник. – 2016. – № 3. – С. 108–113.
5. Галяшина Е. Судебная лингвистическая экспертиза в гражданском судопроизводстве: востребованность и компетенции / Е. Галяшина // Межрегиональное бюро судебных экспертиз им. Сикорского. – Режим доступа: <https://www.expertsud.ru/content/view/237/36/>, свободный – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
6. Гладышев-Лядов В. Социальные сети как инструмент для пропаганды экстремизма / В. Гладышев-Лядов // Обзор НЦПТИ. – 2013. – № 2. – С. 28–31.
7. Изард К. Е. Эмоции человека / К. Е. Изард ; пер. с англ. ; под ред. Л. Я. Гозмана, М. С. Егоровой. – Москва : Изд-во МГУ, 1980. – С. 299.
8. Карпов А. В. Развитие способов противодействия экстремистским и террористическим проявлениям, подрывающим национальную безопасность и государственность Российской Федерации / А. В. Карпов, В. В. Ломакин // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 8. – С. 2–8.

9. Карпов Д. Л. Сопоставительный анализ лингвистического и литературоведческого подходов в анализе экстремистского текста / Д. Л. Карпов // Сопоставительные исследования 2020.– Воронеж : ООО «РИТМ», 2020. – Вып. 17. – С. 197–202.
10. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 01.04.2020, с изм. и доп., вступ. в силу с 12.04.2020). – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/a51ab7ec50452cd0a2d08a5a54a1d48cacbf3468, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
11. Кукушкина О. В. Теоретические и методические основы судебной психолого-лингвистической экспертизы текстов по делам, связанным с противодействием экстремизму / О. В. Кукушкина, Ю. А. Сафонова, Т. Н. Секераж. – Москва : ЭКОМ-Паблишер, 2011. – С. 56.
12. Мельник Г. С. Социолингвистические маркеры экстремистского текста / Г. С. Мельник, Б. Я. Мисонжников // Гуманитарный вектор. – 2015. – № 4 (44). – С. 107–113.
13. Меркулова Н. Г. Менталитет – культурный код – язык культуры: к вопросу о корреляции понятий / Н. Г. Меркулова // Регионология. – 2015. – № 2 (91). – С. 188–196.
14. Ожегов С. И. Толковый словарь русского языка: 100 000 слов, терминов и выражений / С. И. Ожегов ; под общ. ред. Л. И. Скворцова. – Москва : Мир и образование, 2015. – 1375 с.
15. О противодействии экстремистской деятельности: Федеральный закон № 114-ФЗ от 25 июля 2002 г. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12127578/https://www.expertsud.ru/content/view/237/36/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
16. О судебной экспертизе по уголовным делам. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12081630/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
17. Письмо ФССП России от 18.09.2014 № 00043/14/56151-ВВ «О Методических рекомендациях» (вместе с «Методическими рекомендациями по порядку назначения и производства судебных экспертиз в рамках доследственных проверок и расследования преступлений...»). – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148806, свободный – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
18. Портал новостного агентства «ТАСС». – Режим доступа: <https://tass.ru/obschestvo/7056912>, свободный – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.03.2020).
19. Портал новостного агентства «РБК». – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/politics/26/10/2017/59f129209a7947a28f9bf623>, свободный – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.03.2020).
20. Постановление Пленума Верховного суда России № 28 от 21.12.2010 «О судебной экспертизе по уголовным делам». – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12081630/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
21. Прокуратора Российской Федерации. – Режим доступа: <http://crimestat.ru/24>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
22. Проталинский О. М. Системный анализ и моделирование слабо структурированных и плохо формализуемых процессов в социотехнических системах / О. М. Проталинский, И. М. Ажмухамедов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3.
23. Министерство юстиции РФ. – Режим доступа: https://minjust.ru/nko/perechen_zapret, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
24. Сайт РИА «Новости». Режим доступа: <https://ria.ru/20200228/1565305050.htmlhttps://www.expertsud.ru/content/view/237/36/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
25. Сайт научно-исследовательского центра экспертиз «Новости». – Режим доступа: https://astrakhan.gov-expertiza.ru/services/ekspertiza/lingvisticheskaya_ekspertiza/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
26. Симоненко Е. И. Взаимодействие следователя с экспертно-криминалистическими подразделениями при расследовании преступлений экстремистской направленности / Е. И. Симоненко, В. Ю. Васюкова // Научный портал МВД России. – 2019. – № 3. – С. 81–86.
27. Щербинина Ю. В. Вербальная агрессия / Ю. В. Щербинина. – Москва : URSS, 2008. – С. 34–35.
28. Azhmuhamedov I. M. Social Media Analytics for Better Detection of Fraudulent Applications for Online Microfinance Loans / I. M. Azhmuhamedov, V. Yu. Kuznetsova, O. M. Protalinskiy // The materials of 6th International Conference Engineering & Telecommunication – En&T-2019. – Moscow, 2019.

References

1. Antonova Yu. A., Vesnina L. E., Voroshilova M. B., Zlokazov K. V., Tagiltseva Yu. R., Karapetyan A. A. *Ekstremistskiy tekst i destruktivnaya lichnost : monografiya* [Extremist text and destructive personality : monograph]. Ekaterinburg, Ural State Pedagogical University, 2014. 276 p.
2. Arutyunov A. S. Metodologiya proizvodstva sudebnoy lingvisticheskoy ekspertizy s tselyu ustanovleniya proyavleniy ekstremizma [Methodology for the production of forensic linguistic expertise in order to establish manifestations of extremism]. *Obshchestvo i pravo* [Society and Law], 2019, no. 2, pp. 79–83.
3. Arutyunov A. A. *Terrorizm i terroristy: sovremennaya Rossiya : monografiya* [Terrorism and terrorists: modern Russia : monograph]. Moscow, The Center for Political Information Publ., 2003. 91 p.
4. Vorontsov S. A. *Terrorizm 2016: Novye vyzovy i ugrozy* [Terrorism 2016: New Challenges and Threats]. Severo-kavkazskiy yuridicheskiy vestnik [North Caucasian Legal Bulletin], 2016, no. 3, pp. 108–113.
5. Galyashina Ye. Sudebnaya lingvisticheskaya ekspertiza v grazhdanskom sudoproizvodstve: vostrebovanost i kompetentsii [Judicial linguistic examination in civil proceedings: relevance and competencies]. *Mezhregionalnoe byuro sudebnykh ekspertiz imeni Sikorskogo* [Interregional Bureau of Forensics Sikorsky]. Available at: <https://www.expertsud.ru/content/view/237/36/> (accessed 30.04.2020).

6. Gladyshev-Lyadov V. Socialnye seti kak instrument dlya propagandy ekstremizma [Social networks as a tool for propaganda of extremism]. *Obzor NTsPTI* [Review of NCPTI], 2013, no. 2, pp. 28–31.
7. Izard K. Ye., Gozman L. Ya., Egorova M. S. (ed.) *Emotsii cheloveka* [Man's emotions]. Moscow, Moscow State University Publ., 1980, p. 299.
8. Karpov A. V., Lomakin V. V. Razvitie sposobov protivodeystviya ekstremistskim i terroristicheskim proyavleniyam, podryvayushim natsionalnyu bezopasnost i gosudarstvennost Rossiyskoy Federatsii [Development of ways to counter extremist and terrorist manifestations that undermine the national security and statehood of the Russian Federation]. *Natsionalnye interesy: priority i bezopasnost* [National interests: priorities and safety], 2013, no. 8, pp. 2–8.
9. Karpov D. L. Sopostavitelnyy analiz lingvisticheskogo i literaturovedcheskogo podkhodov v analize ekstremistskogo teksta [Comparative analysis of linguistic and literary approaches in the analysis of extremist text]. *Sopostavitelnye issledovaniya 2020* [Comparative researches]. Voronezh, OOO «RITM» Publ., 2020, issue 17, pp. 197–202.
10. *Kodeks Rossiyskoy Federatsii ob administrativnykh pravonarusheniyyakh ot 30.12.2001 № 195-FZ (red. ot 01.04.2020, s izm. i dop., 12.04.2020)* [Code of the Russian Federation on Administrative Offenses of 30.12.2001 No. 195-FZ (as amended on 01.04.2020, as amended and supplemented, entered into force on 12.04.2020)]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/a51ab7ec50452cd0a2d08a5a54a1d48cac6f3468, (accessed 30.04.2020).
11. Kukushkina O. V., Safonova Yu. A., Sekerazh T. N. *Teoreticheskie i metodicheskie osnovy sudebnoy psikhologo-lingvisticheskoy ekspertizy tekstov po delam, svyazannym s protivodeystviem ekstremizmu* [Theoretical and methodological foundations of forensic psychological and linguistic examination of texts in cases related to countering extremism]. Moscow, EKOM-Publisher Publ., 2011, p. 56.
12. Melnik G. S., Misonzhnikov B. Ya. Sotsiolingvisticheskie markery ekstremistskogo teksta [Sociolinguistic markers of extremist text]. *Gumanitarnyy vector* [Humanitarian vector], 2015, no. 4 (44), pp. 107–113.
13. Merkulova N. G. Mentalitet – kulturnyy kod – yazyk kultury: k voprosu o korrelyatsii ponyatiy [Mentality – cultural code – language of culture: on the question of the correlation of concepts]. *Regionologiya* [Regionology], 2015, no. 2 (91), pp. 188–196.
14. Ozhegov S. I., Skvortsova L. I. (ed.) *Tolkovyy slovar russkogo yazyka: 100 000 slov, terminov i vyrazheniy* [Explanatory dictionary of the Russian language: 100,000 words, terms and expressions]. Moscow, Mir i obrazovanie Publ., 2015. 1375 p.
15. *O protivodeystvii ekstremistskoy deyatel'nosti: Federalnyy zakon* [On countering extremist activities: Federal Law], no. 114-FZ of July 25, 2002. Available at: <http://base.garant.ru/12127578/> <https://www.expertsud.ru/content/view/237/36/> (accessed 30.04.2020).
16. *O sudebnoy ekspertize po ugovnym delam* [About forensic examination in criminal cases]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12081630/>
17. *Pismo FSSP Rossii ot 18.09.2014 № 00043/14/56151-VV «O Metodicheskikh rekomendatsiyakh» (vmeste s «Metodicheskimi rekomendatsiyami po poryadku naznacheniya i proizvodstva sudebnykh ekspertiz v ramkakh dosledstvennykh proverok i rassledovaniya prestupleniy...»* [Letter of the FSSP of Russia dated 09/18/2014 No. 00043/14/56151-VV "On Methodological Recommendations" (together with "Methodological Recommendations on the procedure for the appointment and production of forensic examinations in the framework of pre-investigation checks and investigation of crimes ..."). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148806, (accessed 30.04.2020).
18. *Portal novostnogo agentstva «TASS»* [Portal of the news agency “TASS”]. Available at: <https://tass.ru/obschestvo/7056912> (accessed 30.03.2020).
19. *Portal novostnogo agentstva «RBK»* [Portal of the news agency “RBK”]. Available at: <https://www.rbc.ru/politics/26/10/2017/59f129209a7947a28f9bf623> (accessed 30.03.2020).
20. *Postanovleniyu Plenuma Verkhovnogo suda Rossii № 28 ot 21.12.2010 «O sudebnoy ekspertize po ugovnym delam»* [Resolution of the Plenum of the Supreme Court of Russia No. 28 dated 21.12.2010 “On forensic examination in criminal cases”]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12081630/> (accessed 30.04.2020).
21. *Prokuratora Rossiyskoy Federatsii* [Prosecutor's Office of the Russian Federation]. Available at: <http://crimestat.ru/24> (accessed 30.04.2020).
22. Protalinskiy O. M., Azhmukhamedov I. M. Sistemnyy analiz i modelirovaniye slabo strukturirovannykh i plokhoy formalizuemyykh protsessov v sotsiotekhnicheskikh sistemakh [System analysis and modeling of poorly structured and poorly formalized processes in sociotechnical systems]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of Don], 2012, no. 3.
23. *Ministerstvo Yustitsii RF* [Ministry of Justice of the Russian Federation]. Available at: https://minjust.ru/nko/perechen_zapret.
24. *Sayt RIA «Novosti»* [RIA Novosti website]. Available at: <https://ria.ru/20200228/1565305050.html> <https://www.expertsud.ru/content/view/237/36/> (accessed 30.04.2020).
25. *Sayt nauchno-issledovatel'skogo tsentra ekspertiz «Novosti»* [Site of the research center of expertise “Novosti”]. Available at: https://astrakhan.gov-expertiza.ru/services/ekspertiza/lingvisticheskaya_ekspertiza/ (accessed 30.04.2020).
26. Simonenko E. I., Vasyukova V. Yu. Vzaimodeystvie sledovatelya s ekspertno-kriminalisticheskimi podrazdeleniyami pri rassledovanii prestupleniy ekstremistskoy napravlenosti [Interaction of the investigator with forensic departments in the investigation of extremist crimes]. *Nauchnyy portal MVD Rossii* [Scientific portal of the Ministry of Internal Affairs of Russia], 2019, no. 3, pp. 81–86.
27. Shcherbinina Yu. V. *Verbalnaya agressiya* [Verbal aggression]. Moscow, URSS Publ., 2008, pp. 34–35.
28. Azhmukhamedov I. M., Kuznetsova V. Yu., Protalinskiy O. M. Social Media Analytics for Better Detection of Fraudulent Applications for Online Microfinance Loans. *The materials of 6th International Conference Engineering & Telecommunication – En&T-2019*. Moscow, 2019.

УДК 004.62

К ВОПРОСУ О ЗАЩИТЕ И ПРОВЕРКЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЕЕ ПЕРЕДАЧЕ ПО ОТКРЫТЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ¹

Статья поступила в редакцию 30.04.2020, в окончательном варианте – 01.06.2020.

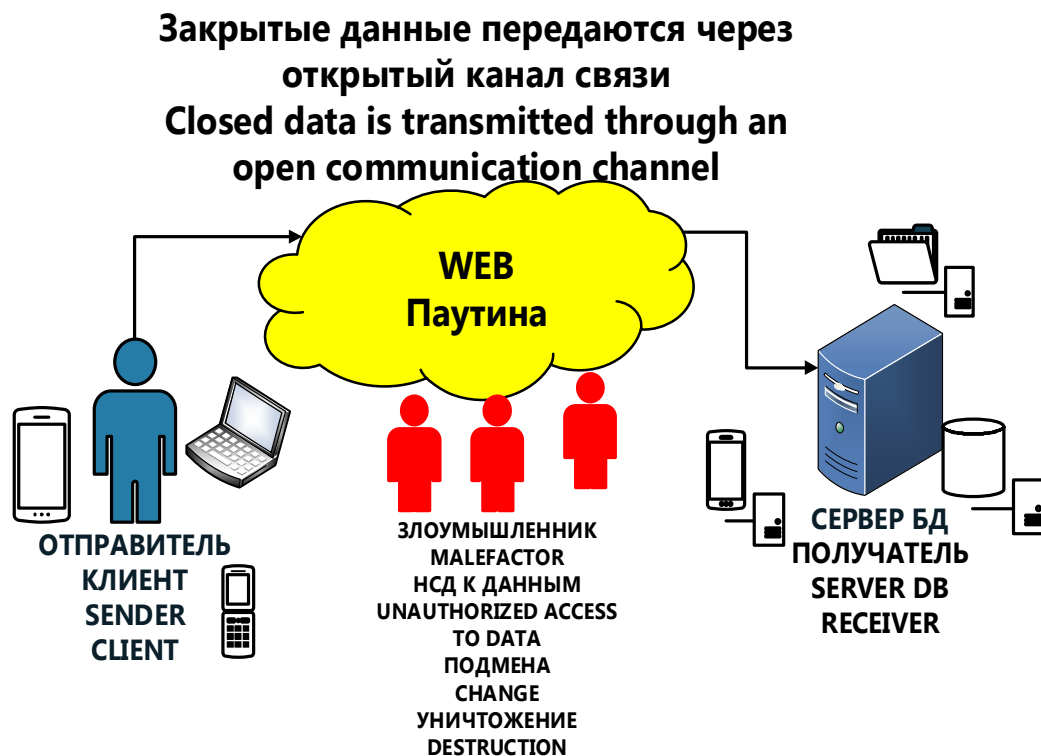
Багдасарян Рафаэль Хачикович, Краснодарский государственный институт культуры, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 33, кандидат технических наук, e-mail: rafael_555@mail.ru

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

В статье рассмотрена методика защиты и проверки достоверности данных при передаче закрытой информации по открытым каналам связи с применением различных способов шифрования. Приведены способы шифрования, состоящие из симметричного, несимметричного, гибридного шифрования с использованием биометрических данных человека для дальнейшей авторизации на примере отпечатка пальца. Рассмотрены алгоритмы работы каждого из видов шифрования. Для осуществления быстрого сравнения отпечатка пальца с отпечатками из базы данных при авторизации и идентификации пользователей предложено использование графовой системы управления базами данных. Данное решение проблемы позволяет производить операции сравнения графов с высокой скоростью. В статье также продемонстрированы примеры программного обеспечения их технические характеристики; основной функционал, который использует различные способы шифрования, а также проводится их сравнение.

Ключевые слова: защита и проверка информации, конфиденциальность сведений, канал связи, шифрование, биометрия, отпечаток пальца, папиллярный узор, мультиграф, база данных, передача и прием данных, система управления базами данных

Графическая аннотация (Graphical annotation)



¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 19-01-00596 «Теоретико-числовые и алгоритмические аспекты разработки математических моделей систем защиты информации, содержащих диофантовы трудности».

ON THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF CHECKING THE DATA RELIABILITY IN THE TRANSMISSION OF INFORMATION

The article was received by the editorial board on 30.04.2020, in the final version – 01.06.2020.

Bagdasaryan Rafael Kh., Krasnodar State Institute of Culture, 33 40-letiya Pobedy St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), e-mail: rafael_555@mail.ru

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

The article describes the methodology for protecting and verifying the reliability of data during the transfer of proprietary information over open communication channels using various encryption methods. Encryption methods are presented, consisting of symmetric, asymmetric, hybrid encryption using human biometric data for further authorization using the example of a fingerprint. The algorithms of each type of encryption are considered. For the quick comparison of fingerprints with fingerprints from the database during authorization and user identification, the use of a graph database management system is proposed. This solution to the problem possibly allows performing graph comparison operations with high speed. The article also demonstrated examples of software, their technical characteristics, the main functionality that uses various encryption methods and their comparison is also carried out.

Keywords: information protection and verification, information confidentiality, communication channel, encryption, biometrics, fingerprint, papillary pattern, multigraph, database, data transmission and reception, database management system

Введение. Сохранение целостности и защита данных при передаче информации на сегодняшний день является очень актуальной и значимой процедурой в обществе. Персональные компьютеры и сервера коммерческих и государственных предприятий имеют достаточно надежную защиту. Однако порой при обмене сведениями через открытые каналы связи возникает высокий риск несанкционированного доступа и их утечки [6]. Применение малоэффективных устройств и программного обеспечения защиты является главной причиной утери в компаниях служебной информации, которая несет в себе коммерческую тайну. Поэтому применение актуальных средств и методов защиты данных при использовании каналов связи становится одной из главных задач служб безопасности различных предприятий. Ниже на рисунке 1 представлена основная схема целей и задач защиты информации.

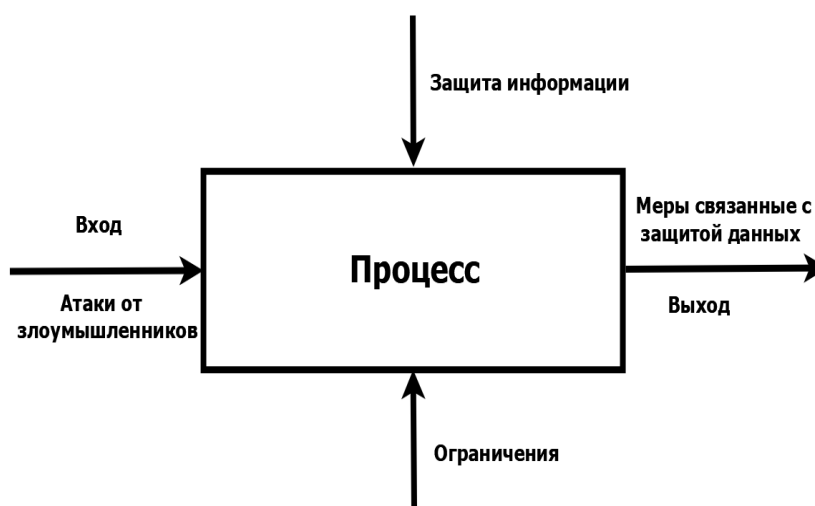


Рисунок 1 – Схема целей и задач защиты информации

Данные – это некоторый вид актива, способствующий высокой конкурентоспособности любой организации в различных сферах деятельности. Они также могут являться неким инструментом управления, так как использование их злоумышленниками, открывает простор для манипулирования поведением общества, предприятий, государственных служб, правительства и в целом всей страны.

Защита данных является важной задачей не только субъектов рынка и потребителей, но и государств вместе с правоохранительными органами. На уровне межгосударственных

отношений принимаются новые законы о защите данных, в уголовные кодексы многих стран мира уже внесены статьи, которые связаны с угрозами и преступлениями в сфере информационной безопасности [7, 13, 14].

При отправке данных по открытым сетям (каналам связи) возникает угроза кражи, повреждения или искажения закрытой информации третьими лицами. При этом имеются и актуальные методы ее защиты.

Один из основных способов – шифрование данных, а именно меры по изменению информации в целях скрытия от круга лиц, которые не должны иметь к ней доступа. В то же время доступ должен быть открытым для пользователей с определенной авторизацией [10].

Пример, изображенный ниже на рисунке 2, – это графическая схема обмена данных, применяющая гибридное шифрование с распределенной передачей некоторых закрытых сведений [1].

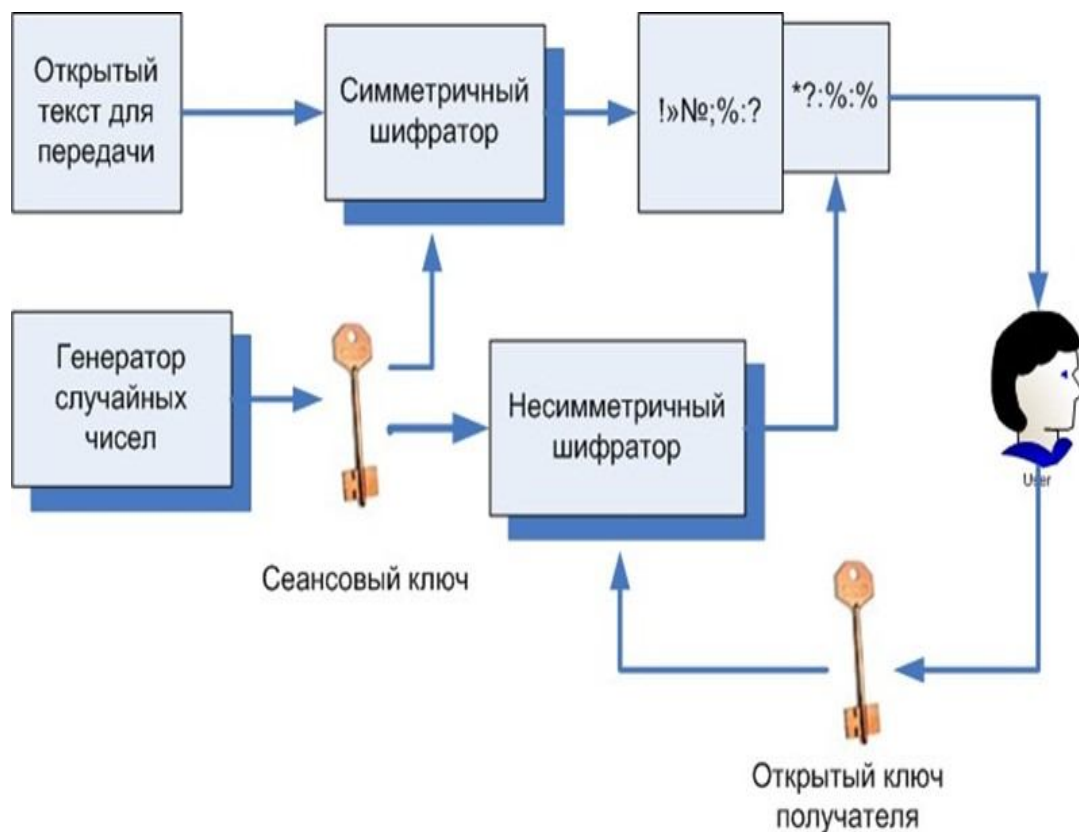


Рисунок 2 – Пример работы схемы шифрования

Под гибридным шифрованием обычно понимают такой вид шифрования, который позволяет соединять в себе достоинства защищённых систем с открытым ключом с производительностью симметричных криптосистем [18]. Симметричный ключ предназначен для шифрования информации, а асимметричный применяют в основном для шифрования самого симметричного ключа, то есть, иначе говоря, – это его числовая упаковка [16].

Ключ – это некая приватная информация, которая позволяет определить, какое изменение из многочисленных вариантов всевозможных видов преобразований будет проходить в конкретной ситуации над открытыми сведениями. По разновидности применения ключа алгоритмы шифрования можно разделить на два вида – симметричные и несимметричные. Рассмотрим первый вид ключа – в самом шифраторе пользователя, который будет отправлять информацию, и дешифраторе лица-получателя применяется всего один ключ. Второй вид подразумевает, что адресат сначала по открытому каналу связи отправляет лицу-отправителю открытый ключ, позволяющий ему зашифровать данные. При доставке материалов адресат дешифрует их, используя этот 2-й ключ [9, 11].

В несимметричных криптосистемах обычно используют очень длинные ключи – (это > 1024 бит). Это влечет за собой увеличение времени самого процесса шифрования, а генерирование ключей также становится более долгим. Однако обмениваться ключами можно будет уже по открытым каналам обмена данными.

В симметричных криптосистемах обычно используют достаточно короткие ключи. Поэтому процессы шифрования/дешифрования проходят намного короче. Однако пересылка ключей уже будет представлять из себя сложную операцию. Клиент при передаче информации генерирует пару ключей (открытый/закрытый) и отправляет серверу. Сервер, в свою очередь, идентифицирует данные отправителя и шифрует его по симметричной схеме. После этот ключ шифруется асимметричной схемой и передается конечному пользователю. Если идентификация пользователя прошла успешно, то он в обратном порядке его расшифровывает [2, 3].

Ярким представителем данного метода может выступить программное обеспечение (ПО) под названием Files Cipher от разработчиков FCsoft. Данное ПО имеет свой оригинальный алгоритм шифрования с закрытым ключом, длина которого колеблется в интервале 4–255 символов. При этом ключ, являющийся паролем, не сохраняется внутри зашифрованных данных, что в свою очередь намного снижает вероятность его взлома. Также Files Cipher позволяет уменьшать в объеме шифруемые пакеты при помощи своего внутреннего алгоритма сжатия. Поэтому после окончания шифрования файл-исходник можно смело стереть с используемого диска без возможности его восстановления.

Это ПО может функционировать с различными типами данных и работает с объектами, превышающими размер 4 Гб. Необходимо также сказать, что его системные требования к персональному компьютеру и операционной системе очень невысоки – это позволяет работать с данной программой и на довольно старых устройствах.

Есть и иные виды шифрования, основанные на более современном способе – биометрическом шифровании данных с использованием отпечатка пальца пользователя [17]. В связи с популярностью сканеров отпечатков пальцев было предложено использование отпечатка пальца для авторизации доступа к разным устройствам и, соответственно, к получению информации. На данный момент эта технология пользуется огромным спросом среди потребителей в IT-сфере. Также практически все современные выпускаемые гаджеты и смартфоны уже имеют встроенные сканеры отпечатков пальцев. Некоторые производители, например, Apple, заходят дальше и внедряют в свою технику сканер биометрии всего лица. Тем самым максимизируется безопасность личной информации пользователей от несанкционированного прямого доступа посторонних лиц [15].

Как и в случае с гибридным шифрованием, тут тоже используются ключи и пароли. Однако формируются они уже не на основе случайных чисел, а с использованием полученного уникального отпечатка конкретного пользователя. Суть работы такова: пользователь сканирует отпечаток, система анализирует полученный результат и ищет так называемые пересечения папиллярных линий – это рельефные линии на пальцах, ладонных и подошвенных поверхностях у человека [15, 19, 20]. После этого записывается результат в виде матрицы. Чтобы построить матрицу отпечатка пальца, требуется обозначить квадратную область отпечатка, посередине которой и находится сам папиллярный узор [8, 12]. При следующем входе в систему данные матрицы сверяются и при совпадении будут использоваться как ключ для расшифровки информации и/или непосредственного доступа к ней.

Основные преимущества такого метода шифрования данных:

1. Нет необходимости использовать генерацию случайных комбинаций при создании нового пароля.
2. Если даже известен пароль, то невозможно будет построить саму матрицу отпечатка пальца.
3. Метод может применяться без сканера отпечатков пальцев на стороне клиента.
4. Имеется возможность увеличения размера пароля в любое время.

Однако шифрование данных – это еще не залог полной защиты информации, так у злоумышленника есть возможность просто повредить все передаваемые данные (стереть, исказить или даже уничтожить). Чтобы это предотвратить, существуют методы оценки достоверности передаваемой информации с помощью построения мультиграфа. По существу, это способ передачи информации с помощью множества значений информационных элементов и связей между ней. Суть метода состоит в том, что при обмене сведениями между адресатом и отправителем информационные указания создаются при помощи мультиграфа, где любой вершине принадлежит некоторый массив информационных данных. Ориентированные дуги мультиграфа показывают очередность подключений к клиент-серверной архитектуре при обмене сведениями. Иными словами, это означает, что между многообразием точек или информационных элементов будет множество связей. По ним данные будут передаваться и в конечном итоге соберутся в той последовательности, которая необходима на определенную ситуацию в различный промежуток времени сборки информации. Исходя из этого, на выходе получаются целостные данные.

Для осуществления входа конечного потребителя в защищенную ИС с использованием биометрии требуется алгоритм для сверхбыстрого сравнения введенного отпечатка с уже имеющимся и сохраненным в БД на сервере; подтверждения отпечатка. Необходимость реализации процесса сравнения биометрических данных (отпечаток пальца) [5] требует дополнительных финансовых

затрат на закупку мощных серверных устройств и тем самым затрудняет ее реализацию. Для обхода этой проблемы нужно применять графовые базы данных. Они позволяют выполнять операции сопоставления графов с очень высоким быстродействием [4].

Граф строится на основе следующего алгоритма действий:

1. Сканирование отпечатка пальца в изображение.
2. Получение из изображения отпечатка пальца, изображения поля ориентации папиллярных линий. Затем изображение разбивается на квадратные блоки со стороной больше 4 пикселей, и по градиентам яркости вычисляется угол ориентации линии для фрагмента отпечатка;
3. Определение областей с одинаковыми полями ориентации папиллярных линий; определение центров этих областей.
4. Соединение центров областей и построение на их основе графа.
5. Добавление графов в БД.

Ниже на рисунке 3 демонстрируется пример построения графа отпечатка пальца:

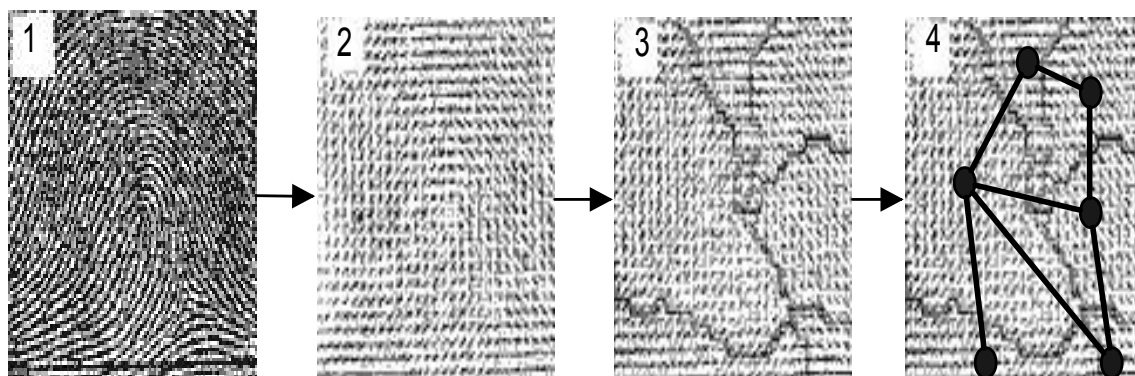


Рисунок 3 – Пример построения графа отпечатка пальца

Далее на рисунке 4 отдельно изображен граф отпечатка пальца с обозначением его вершин. На основе этого графа получена матрица (табл.), в которой значение элемента a_{ij} равно длине пути l_k из вершины a_i в вершину a_j .

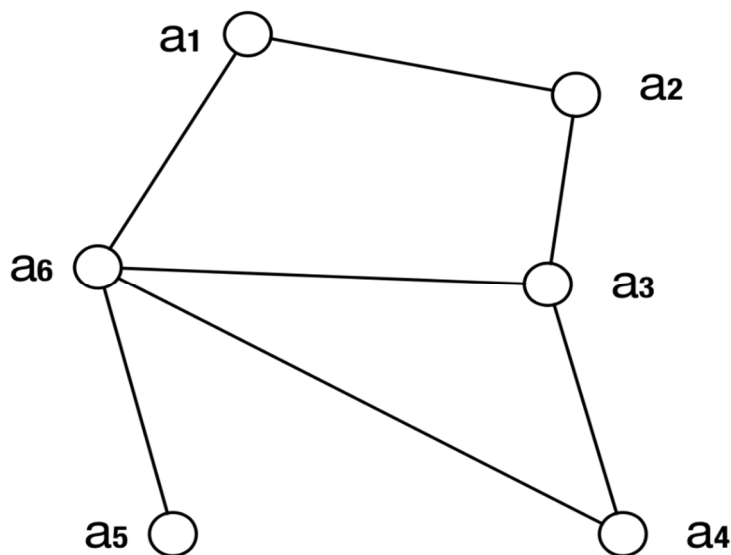


Рисунок 4 – Граф отпечатка пальца

Таблица – Матрица, полученная на основе графа

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
a_1	0	l_1	0	0	0	l_7
a_2	l_1	0	l_2	0	0	0
a_3	0	l_2	0	l_3	0	l_6
a_4	0	0	l_3	0	0	l_4
a_5	0	0	0	0	0	l_5
a_6	l_7	0	l_6	l_4	l_5	0

Данная матрица (табл.) будет являться входным массивом данных.

Графовые БД позволяют решить такие задачи, где информация тесно связана между собой в отношениях, которые могут углубляться в несколько уровней. Следовательно, такие БД достаточно хорошо удовлетворяют требованиям к запуску функций поиска при сравнении биометрических данных. Графовая БД является одной из видов баз данных – в ней используются межсетевые модели в виде «графа с обобщениями». Они применяют два вида элементов: именованные дуги и узлы. Графовая БД также используется при моделировании социальных графов.

В настоящее время пользуется популярностью графовая система управления БД Neo4j. Это разработка американской компании Neo Technology, которая активно ведётся с 2003 г. Она представляет собой очень высокопроизводительную БД, которая состоит из графов.

Neo4j позволяет использовать различного рода транзакции, дает возможность индексировать много различной информации и имеет в том числе – масштабируемость. Ее БД работает и сопровождается кластером, состоящим из большого количества серверов. Чтобы быстро сделать обход всех имеющихся узлов графа, в Neo4j внедрен особый алгоритм-фреймворк. Он в качестве языка запросов использует собственный язык Cypher, во многом очень схожий с SQL-запросами. Ниже на рисунке 5 приведена структура хранения данных в графовой системе управления базами данных.

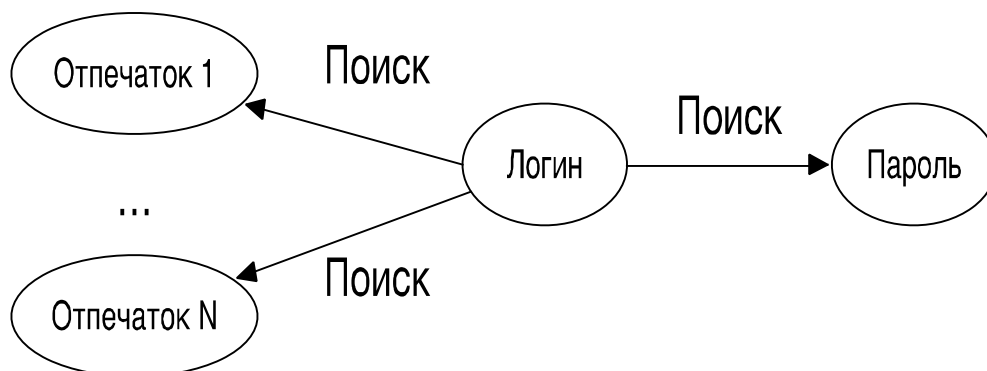


Рисунок 5 – Структура хранения данных в графовой системе управления базами данных

Согласно разработанной блок-схеме ниже приведен запрос на добавление нового пользователя в графовую СУБД:

//Ввод данных пользователя

\$userLogin = «testUser»;

\$userPassword = «UserPassword»;

\$userFingerprintsArray = array("Fingerprint 1», "Fingerprint 2», "Fingerprint 3»);

//Установка соединения с базой данных

use Everyman\Neo4j\Client,

Everyman\Neo4j\Transport,

Everyman\Neo4j\Node,

Everyman\Neo4j\Relationship;

\$client = new Client(new Transport('localhost', 7474));

//Создание узла с логином

\$login = new Node(\$client);

\$login->setProperty('login', \$userLogin)->save();

```
//Создание узла с паролем
$password = new Node($client);
$password->setProperty('password', $userPassword)->save();

//Создание отношения логина с паролем
$login->relateTo($password, 'IN')->save();
foreach ($userFingerprintsArray as $fingerprint)

//Создание узла с отпечатком пальца
$fingerprint = new Node($client);
$fingerprint->setProperty('fingerprint', $fingerprint)->save();

//Создание отношения логина с отпечатком
$login->relateTo($fingerprint, 'IN')->save();
```

Все пользовательские данные хранятся в реляционной БД. К ней осуществляется доступ после успешной авторизации в системе, которая реализована с использованием Neo4j. Блок-схема работы в графовой БД представлена на рисунке 6.

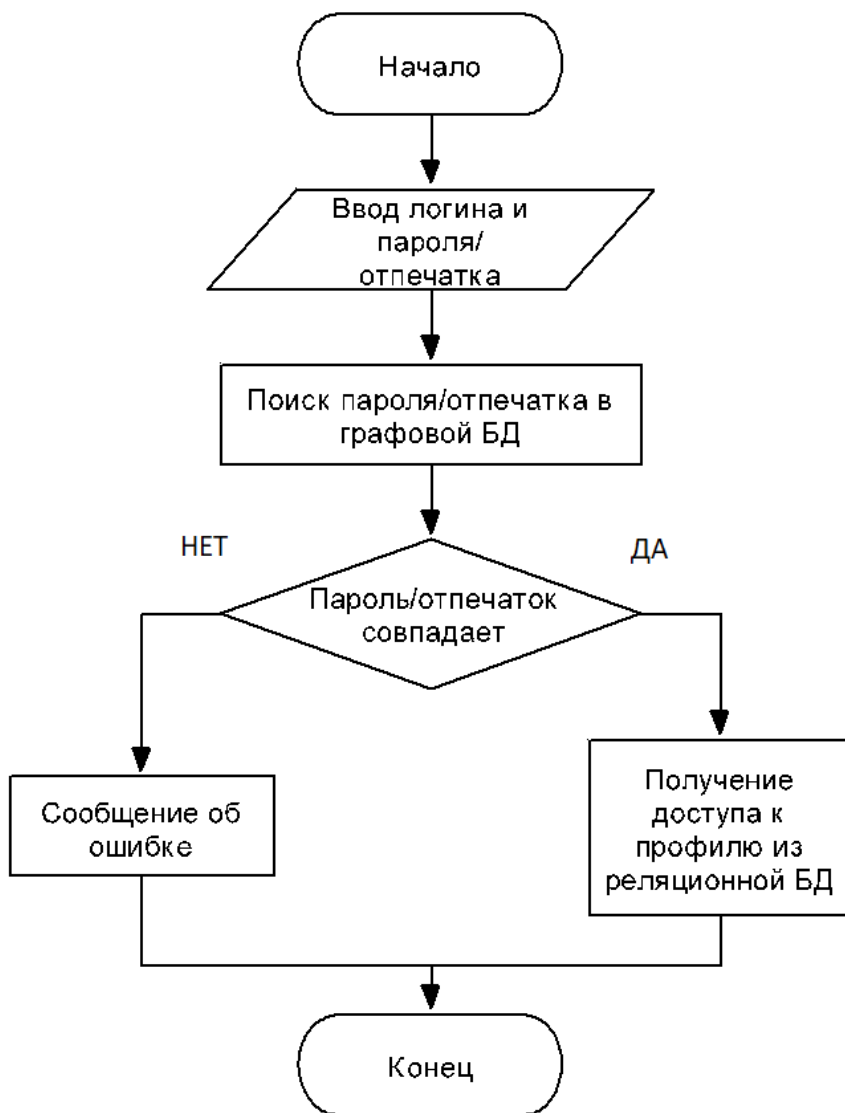


Рисунок 6 – Блок-схема работы с графовой БД

Заключение. Научный прогресс не стоит на месте, поэтому рассмотренные современные методы проверки достоверности информации и способы ее защиты нуждаются в использовании более новых и улучшенных алгоритмов защиты данных с применением гибридного шифрования. Для обеспечения более полной безопасности и надежности при работе с различными сведениями целесообразно совместное применение асинхронных/синхронных ключей, биометрии идентификации личности (в частности отпечатка пальца) и использование графовой БД. Такие подходы позволяют во много раз уменьшить угрозы потери/стирания, перехвата и несанкционированного доступа к данным различных злоумышленников в сети. С каждым днем эти злоумышленники находят все более новые ухищренные способы воздействия на закрытую информацию, которая передается по открытым каналам связи. И это, несомненно, будет создавать все новые дополнительные сложности в сфере информационной защиты данных и, безусловно, являться одной из главных проблем обеспечения кибербезопасности.

Библиографический список

1. Атрощенко В. А. К вопросу разработки алгоритма передачи закрытых данных по открытым сетям между мобильным устройством и распределенными серверами / В. А. Атрощенко, Р. А. Дьяченко, М. В. Руденко, Р. Х. Багдасарян // III Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 52-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос : сборник научных статей. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2013. – С. 327–331.
2. Атрощенко В. А. К вопросу повышения защищенности информационных биллинговых систем / В. А. Атрощенко, М. В. Руденко, Р. А. Дьяченко, Р. Х. Багдасарян // Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского : сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2014. – С. 126–129.
3. Атрощенко В. А. К вопросу оценки надежности построения биллинговых информационных систем / В. А. Атрощенко, Р. А. Дьяченко, Р. Х. Багдасарян, М. В. Руденко // Математические методы и информационно-технические средства : материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар, 2013. – С. 37–39.
4. Атрощенко В. А. Разработка алгоритма работы с графовой БД при авторизации с помощью отпечатков пальцев / В. А. Атрощенко, Н. Д. Чигликова, Р. А. Дьяченко, М. В. Руденко, Р. Х. Багдасарян // V Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 54-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос : сборник научных статей. – Краснодар, 2015. – С. 277–280.
5. Болл Р. М. Руководство по биометрии / Р. М. Болл. – Москва : Техносфера, 2007. – 368 с.
6. Большаков Т. Организация надежных каналов связи при передаче технологических данных / Т. Большаков // Современные технологии автоматизации. – 2011. – Т. 4. – С. 62–65.
7. Ищейнов В. Я. Защита конфиденциальной информации : учебное пособие / В. Я. Ищейнов, М. В. Мещатунян. – М. : Форум, 2013. – 256 с.
8. Кухарев Г. А. Биометрические системы: методы и средства идентификации личности человека / Г. А. Кухарев. – Санкт-Петербург : Политехника, 2001. – 240 с.
9. Осипян В. О. Разработка методов построения систем передачи и защиты информации / В. О. Осипян. – Краснодар : КубГУ, 2004. – С. 168.
10. Ричард Э. Смит. Аутентификация: от паролей до открытых ключей / Ричард Э. Смит. – Москва : Вильямс, 2002. – С. 432.
11. Саломая А. Криптография с открытым ключом / А. Саломая. – Москва : Мир, 1995. – 318 с.
12. Самищенко С. С. Атлас необычных папиллярных узоров / С. С. Самищенко. – Москва : Юриспруденция, 2001. – 320 с.
13. Хорев П. Б. Программно-аппаратная защита информации : учебное пособие / П. Б. Хорев. – Москва : Форум, 2013. – 352 с.
14. Чипига А. Ф. Информационная безопасность автоматизированных систем / А. Ф. Чипига. – Москва : Гелиос АРВ, 2017. – 336 с.
15. Шаньгин В. Ф. Информационная безопасность и защита информации / В. Ф. Шаньгин. – Москва : ДМК, 2014. – 702 с.
16. 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.
17. Ishpreet Singh Virk. Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Matching in Fingerprint Verification / Ishpreet Singh Virk, Raman Maini // Journal of Computing Technologies. – June 2012. – Vol. 1.
18. Koblitz N. A Course in Number Theory and Cryptography / N. Koblitz. – New York : Springer-Verlag, 1987. – 235 p.
19. Raymond Thai. Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction Technical Report / Raymond Thai. – The University of Western, Australia, 2003.
20. Sharath Pankanti. On the individuality of fingerprints / Sharath Pankanti, Salil Prabhakar, Anil K. Jain // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2002. – Vol. 24, no. 8. – P. 1010–1025.

References

1. Atroschenko V. A., Dyachenko R. A., Rudenko M. V., Bagdasaryan R. Kh. K voprosu razrabotki algoritma peredachi zakrytykh dannyykh po otkrytym setyam mezhdru mobilnym ustroystvom i raspredelennymi serverami [On the development of an algorithm for transmitting private data on open networks between a mobile device and distributed servers]. *III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh, posvyashchennaya 52 godovshchine poleta Yu.A. Gagarina v kosmos : sbornik nauchnykh statey* [III International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 52nd anniversary of the flight of Yu.A. Gagarin in space : proceedings]. Krasnodar, "Publishing House – South" LLC., 2013, pp. 327–331.
2. Atroschenko V. A., Rudenko M. V., Dyachenko R. A., Bagdasaryan R. Kh. K voprosu povysheniya zashchishchennosti informatsionnykh billingovykh sistem [On the issue of increasing the security of information billing systems]. *Nauchnye chteniya imeni professora N.E. Zhukovskogo : sbornik nauchnykh statey IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific readings named after Professor N.Ye. Zhukovsky : proceedings of the IV International Scientific Practical Conference]. Krasnodar, "Publishing House – South" LLC., 2014, pp. 126–129.
3. Atroschenko V. A., Dyachenko R. A., Bagdasaryan R. Kh., Rudenko M. V. K voprosu otsenki nadezhnosti postroeniya billingovykh informatsionnykh sistem [On the issue of assessing the reliability of building billing information systems]. *Matematicheskie metody i informatsionno-tekhnicheskie sredstva : materialy IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Mathematical methods and information technology tools : proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference]. Krasnodar, 2013, pp. 37–39.
4. Atroschenko V. A., Chiglikova N. D., Dyachenko R. A., Rudenko M. V., Bagdasaryan R. Kh. Razrabotka algoritma raboty s grafovoy BD pri avtorizatsii s pomoshchyu otpechatkov paltsev [Development of the algorithm for working with a graph database for authorization using fingerprints]. *V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh, posvyashchennaya 54-y godovshchine poleta Yu.A. Gagarina v kosmos : sbornik nauchnykh statey* [V International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 54th anniversary of the flight of Yu.A. Gagarin in space : proceedings]. Krasnodar, 2015, pp. 277–280.
5. Boll R. M. *Rukovodstvo po biometrii* [Guide to biometrics]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2007. 368 p.
6. Bolshakov T. Organizatsiya nadezhnykh kanalov svyazi pri peredache tekhnologicheskikh dannyykh [Organization of reliable communication channels when transferring technological data]. *Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii* [Modern automation technologies], 2011, vol. 4, pp. 62–65.
7. Ishcheynov V. Ya., Metsatunyan M. V. *Zashchita konfidentsialnoy informatsii : uchebnoe posobie* [Protection of confidential information : textbook]. Moscow, Forum Publ., 2013. 256 p.
8. Kukharev G. A. *Biometricheskie sistemy: metody i sredstva identifikatsii lichnosti cheloveka* [Biometric systems: methods and means of identification of a person's personality]. St Petersburg, Politekhnik Publ., 2001. 240 p.
9. Osipyayn V. O. *Razrabotka metodov postroeniya sistem peredachi i zashchity informatsii : monografiya* [Development of methods for building information transmission and protection systems : monograph]. Krasnodar, Kuban State University Publ., 2004, p. 168.
10. Richard E. Smit. *Autentifikatsiya: ot paroley do otkrytykh klyuchey* [Authentication: from passwords to public keys]. Moscow, Vilyams Publ., 2002, p. 432.
11. Salomaa A. *Kriptografiya s otkrytym klyuchom* [Cryptography with a public key]. Moscow, Mir Publ., 1995. 318 p.
12. Samishchenko S. S. *Atlas neobychnykh papillyarnykh uzorov* [Atlas of unusual papillary patterns]. Moscow, Yurisprudentsiya, 2001. 320 p.
13. Khorev P. B. *Programmno-apparatnaya zashchita informatsii : uchebnoe posobie* [Software and hardware information protection : textbook]. Moscow, Forum Publ., 2013. 352 p.
14. Chipiga A. F. *Informatsionnaya bezopasnost avtomatizirovannykh sistem* [Information Security of Automated Systems]. Moscow, Gelios APB Publ., 2017. 336 p.
15. Shangin V. F. *Informatsionnaya bezopasnost i zashchita informatsii* [Information Security and Information Protection]. Moscow, DMK Publ., 2014. 702 p.
16. Chor B., Rivest R. A knapsack-type public key cryptosystem based on arithmetic in finite fields. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1988, vol. IT – 34, pp. 901–909.
17. Ishpreet Singh Virk, Raman Maini. Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Matching in Fingerprint Verification. *Journal of Computing Technologies*, June 2012, vol. 1.
18. Koblitz N. *A Course in Number Theory and Cryptography*. New York, Springer-Verlag, 1987. 235 p.
19. Raymond Thai. *Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction Technical Report*. The University of Western Australia, 2003.
20. Sharath Pankanti, Salil Prabhakar, Anil K. Jain. On the individuality of fingerprints. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, vol. 24, no. 8, pp. 1010–1025.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 004.932

ПОВЫШЕНИЕ КОНТРАСТА МАММОГРАММ, СОДЕРЖАЩИХ ОБЛАСТИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, НА ФОНЕ ЖИРОВОЙ ИНВОЛЮЦИИ

Статья получена редакцией 20.03.2020, в окончательном варианте – 04.06.2020.

Подгорнова Юлия Анатольевна, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, 602264, Российская Федерация, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, 23,

кандидат технических наук, e-mail: yuliyabulanova@yandex.ru

Жизняков Аркадий Львович, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, 602264, Российская Федерация, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, 23

доктор технических наук, профессор, e-mail: lvovich1975@mail.ru

Садыков Султан Сидыкович, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, 602264, Российская Федерация, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, 23

доктор технических наук, профессор, e-mail: sadykovss@yandex.ru

По данным Международного агентства по исследованию рака, в 2018 г. Россия занимала пятое место по смертности от онкологических заболеваний. Каждой шестой женщине был поставлен диагноз «рак молочной железы». Единственным способом диагностики данного заболевания является своевременное прохождение профосмотров. Для женщин старше 40 лет предусмотрено обследование молочных желез с помощью маммографии. Основная часть государственных медицинских учреждений оснащена устаревшими маммографическими комплексами, которые зачастую не позволяют получить снимки требуемого качества. Наличие какого-либо типа мастопатии также усложняет диагностику – на скрининговой маммограмме легко пропустить зарождение онкологической опухоли. В данной работе предлагается применить вейвлет-преобразования для повышения контраста маммографических снимков как на фоне жировой инволюции, так и на фоне фиброзно-кистозной болезни и аденоза. Целью работы является исследование подхода к повышению контраста маммографических снимков, содержащих изображения рака молочной железы на фоне жировой инволюции, на основе использования вейвлет-преобразований. Приведенные результаты экспериментальных исследований показали возможность использования данного подхода в маммографическом скрининге.

Ключевые слова: маммограмма, скрининговое исследование, контраст, линейное контрастирование, выравнивание гистограмм, эквализация, CLAHE, меры контрастности, EME, AMBE, энтропия изображений, вейвлет-преобразование, преобразование Габора, заболевание молочной железы, онкология

CONTRAST ENHANCEMENT MAMMOGRAMS CONTAINING THE FIELD OF BREAST CANCER ON THE BACKGROUND OF FATTY INVOLUTION

The article was received by the editorial board on 20.03.2020, in the final version – 04.06.2020.

Podgornova Yulia A., Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov, 23 Orlovskaya St., Murom, Vladimir region, 602264, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), e-mail: yuliyabulanova@yandex.ru

Zhiznyakov Arkady L., Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov, 23 Orlovskaya St., Murom, Vladimir region, 602264, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: lvovich1975@mail.ru

Sadykov Sultan S., Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov, 23 Orlovskaya St., Murom, Vladimir region, 602264, Russian Federation,

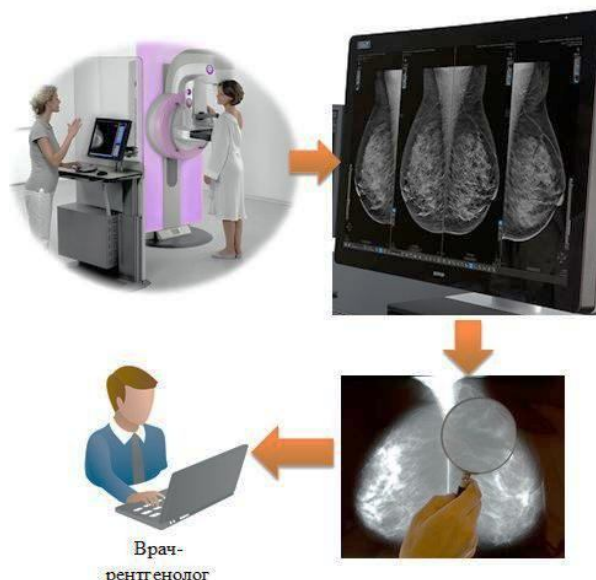
Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: sadykovss@yandex.ru

According to the International Agency for Research on Cancer, in 2018, Russia ranks fifth in cancer mortality. Every sixth woman was diagnosed with breast cancer. The only way to diagnose this disease is the timely passage of professional examinations. For women over 40 years of age, a mammary gland examination is planned using mammography. Most of the state medical institutions are equipped with outdated mammographic systems, which often do not allow obtaining images of the required quality. The presence of any type of mastopathy also complicates the diagnosis, as a result of which, on

the screening mammogram, it is easy to skip the onset of the oncological tumor. It is proposed to apply wavelet transforms to increase the contrast of mammographic images, both against the background of fat involution, and against the background of fibrocystic disease and adenosis. The aim of the work is to study the approach to increasing the contrast of mammograms containing breast cancer on the background of fat involution, based on wavelet transforms. The results of experimental studies have shown the possibility of using this approach in mammography screening.

Keywords: mammogram screening study, contrast, linear contrast enhancement, histogram equalization, EQ, CLAHE, contrast measures, EME, AMBE, image entropy, wavelet transform, Gabor transform, breast disease, oncology

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Маммография является наиболее эффективным методом ранней диагностики рака молочных желез и других заболеваний груди. По данным международных исследований [3, 11], каждой шестой россиянке в 2018 г. был вновь поставлен диагноз «рак молочной железы»; каждая одиннадцатая женщина живет с этим диагнозом до конца жизни. Если обнаружить онкологическую опухоль на ранней стадии, то можно добиться полного излечения пациента, тем самым улучшив и увеличив продолжительность и качество его жизни.

Маммограммы представляют собой малоcontrastные рентгеновские изображения молочных желез, состоящие из фона, области молочной железы и области грудной мышцы [9]. Анализ маммографических снимков выполняется врачом-рентгенологом визуально. Правильность постановки диагноза зависит от опыта и квалификации врача, а также от качества самого снимка. На рисунке 1 представлены примеры различных маммограмм, взятых из международной базы данных MIAS [9].

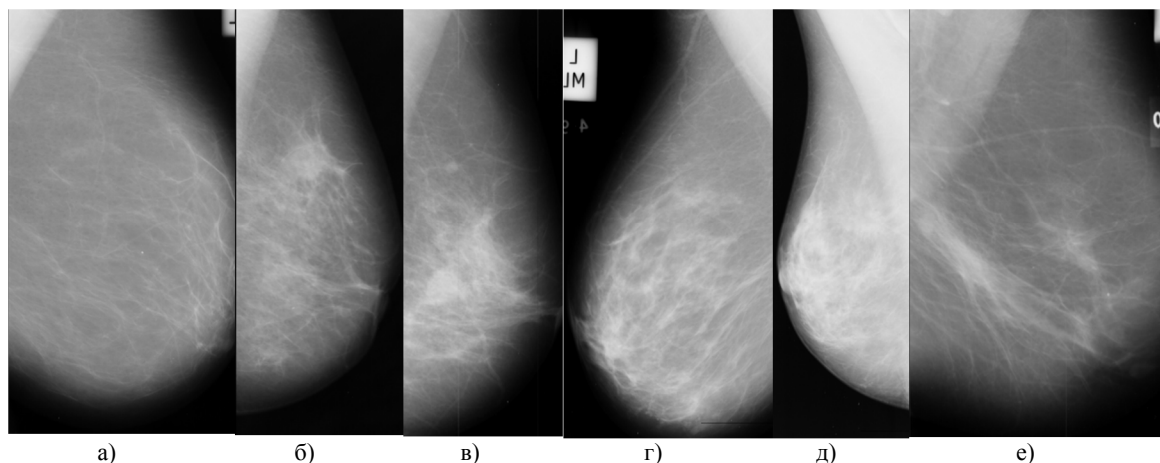


Рисунок 1 – Маммограммы из базы данных MIAS: а – mdb310.bmp; б – mdb092.bmp; в – mdb104.bmp; г – mdb159.bmp; д – mdb191.bmp; е – mdb274.bmp

Молочная железа состоит из трех типов ткани, видимых на маммограмме: фиброзной, железистой и жировой. Фиброзная и железистая ткани имеют примерно одинаковую радиографическую плотность, и их нельзя адекватно различить на маммограмме. Жировая ткань лучше пропускает рентгеновские лучи, что приводит к увеличению контраста изображений. Поскольку мягкие ткани слабо различаются по коэффициентам поглощения рентгеновских лучей, изображение имеет слабый контраст. Следовательно, обнаружение незначительных изменений в тканях на ранних стадиях болезни и выявление опухолей малых размеров являются затруднительными. При проецировании изображения молочной железы на рентгенограмме различные участки тканей накладываются друг на друга. Это также искажает общую картину происходящих в тканях изменений.

На маммограммах рисунка 1 (а, б) преобладает жировая ткань. Поэтому и без компьютерной обработки изображений врач-рентгенолог сможет без труда правильно описать маммограмму. На рисунке 1 (е), преобладает жировая ткань, а на рисунке 1 (г, д) – фиброзная ткань (они осложнены мастопатией). Для этих рисунков обязательно необходимо контрастирование с целью улучшения качества снимка; устранения влияния изображения мастопатии; для уточнения краев найденных опухолей, питающих сосудов и поиска отсеков образований.

Большинство медицинских учреждений России оснащены аналоговыми, или их еще называют «пленочными», маммографическими комплексами. Маммограммы, полученные с помощью таких комплексов, имеют значительное количество недостатков [9]. Например, при проявлении пленки используются специальные реактивы, за состоянием которых необходимо тщательно следить – иначе использование истощенного фиксажа или проявителя дает желто-зеленую вуаль, а недостаточная промывка пленки приводит к появлению вуали или белого налета при неполном удалении гипосульфита. Неплотный прижим крышек кассеты или экрана к пленке приводит к появлению нерезкости изображения. Использование экранов с повышенной зернистостью приводит к повышенной зернистости фона – это затрудняет поиск микрокальцинатов. Кроме вышеперечисленного на снимке могут появиться различные артефакты – дефекты, возникшие в процессе проявления, фиксирования, промывки и сушки маммограмм, а также воздействия мелких дефектов усиливающих экранов на кассете.

Использование цифровых маммографических комплексов позволяет устранить практически все недостатки пленочной маммографии: ошибки при выборе условий экспонирования сводятся к минимуму; отсутствует потребность в использовании пленки и химикатов – это способствует получению экономического и экологического эффекта; получают снимки высокого качества.

На сайте Medical ExpO [8] представлена онлайн-выставка программного обеспечения для маммографии. Сегодня на рынке известны следующие системы: АРМ врача для просмотра результатов маммографических исследований (Россия), SUITESTENSA MG (Италия), DIRECTVIEW CR (Россия), MED MAMMO (Франция), VXVUE MAMMO WITH PUREIMPACT M™ (Южная Корея), QUANTRA (США), МАММОСАД (США), NOVAMG™ (США), AURORACAD™ (США), EXAMVUE DR (США), PACSPLUS MAMMOVIEW (Южная Корея), GOPVIEW® MAMMO3 (Швеция), DEXVIEW MAM (США). Однако ни у одной из коммерческих систем обработки маммографических снимков не описаны алгоритмы предварительной обработки, сегментации, распознавания опухолей на маммограммах.

Авторы работы сотрудничают с медицинским центром г. Муром «Норма», в котором установлен цифровой маммографический комплекс GIOTTO IMAGE. Программное обеспечение, входящее в базовую поставку этого комплекса, имеет небольшой функционал обработки изображений. Он позволяет линейно изменять яркость и контрастность снимков, применять один фильтр для уменьшения шума, причем имеющий возможность измерения размеров новообразований.

Контрастность – одна из основных характеристик изображения, напрямую связанная с яркостью пикселей, которые являются источниками информации об объектах на изображении. Изменение контраста маммограммы позволяет повысить четкость восприятия изображения, лучше выделить границы опухолей, а также обеспечить эффективность ее последующей обработки. Так, при увеличении контрастности изображения светлые участки становятся еще светлее, а затемненные – еще темнее. В результате происходит перераспределение пикселей за счет среднего тонового диапазона. При уменьшении контрастности изображения, наоборот, происходит расширение среднего тонового диапазона. Темные пиксели становятся более светлыми, а светлые – более темными и частично переходят в средние тона.

Таким образом, увеличение контраста снимка позволяет сделать отдельные детали изображения более различимыми. Это важно как для визуального, так и автоматического анализа медицинских изображений. Контрастирование необходимо для большинства пленочных маммограмм с целью улучшения качества оцифрованных снимков, а также для улучшения цифровых маммограмм, осложненных мастопатией.

Материалы и методы. Для контрастирования маммографических изображений могут быть использованы различные методы. Среди них можно выделить [2, 7, 9, 15, 16]: выравнивание гистограммы значений яркости, эквализацию, нелинейное растяжение динамического диапазона значений яркостей изображения, использование различных масок фильтрации, нечеткое маскирование. Недостатком перечисленных методов является возможная потеря некоторых контрастных деталей, присутствующих в исходном сигнале, которые могли представлять интерес для врача-рентгенолога.

В современной науке для обработки сигналов и изображений активно используются сигналы специального вида – вейвлеты [1, 4, 6]. Свою эффективность они показали и в спектральном анализе, и в сжатии сигналов. Обработку изображений с помощью вейвлетов разделяют на два подхода: 1) работа с вейвлет-коэффициентами, позволяющая выполнить удаление шумов, повысить контрастность изображений; 2) многомасштабная обработка, позволяющая сегментировать изображение, выделить контуры и т. д. В данной статье будет рассмотрен первый подход.

Каждый вейвлет ψ позволяет любую функцию $f(x) \in L^2(R)$ представить в виде ряда, полученного при произведении сигнала на вейвлет-функцию двух параметров $f(x) = \sum d_{a,b} \psi_{a,b}(x)$. Базис функционального пространства можно создать путем непрерывных преобразований масштаба и переносов вейвлета с произвольными значениями базисных параметров (коэффициента масштаба a и параметра сдвига b):

$$\psi_{a,b}(x) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad a, b \in R \quad \psi \in L^2(R).$$

В качестве двумерного вейвлет-преобразования рассматривается расширение одномерного сигнала на двумерный путем тензорного произведения одномерных функций. В таком случае получаем четыре порождающих функции: масштабная функция $\varphi\varphi(x,y)$ и три вейвлета – $\varphi\psi(x,y)$, $\psi\varphi(x,y)$ и $\psi\psi(x,y)$ [4].

$$\begin{aligned} \varphi\varphi(x,y) &= \varphi(x) \cdot \varphi(y), \\ \varphi\psi(x,y) &= \varphi(x) \cdot \psi(y), \\ \psi\varphi(x,y) &= \psi(x) \cdot \varphi(y), \\ \psi\psi(x,y) &= \psi(x) \cdot \psi(y). \end{aligned}$$

Прямое вейвлет-преобразование вычисляется по формуле [4]:

$$\begin{aligned} sv_{j,k}^i &= \langle f(x,y) | \varphi\psi_{j,k}^i(x,y) \rangle, \\ vs_{j,k}^i &= \langle f(x,y) | \psi\varphi_{j,k}^i(x,y) \rangle, \\ vv_{j,k}^i &= \langle f(x,y) | \psi\psi_{j,k}^i(x,y) \rangle, \quad i, j \in Z. \end{aligned}$$

Обратное вейвлет-преобразование вычисляется по формуле:

$$f(x,y) \sim \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (sv_{j,k}^i \cdot \varphi\psi_{j,k}^i(x,y) + vs_{j,k}^i \cdot \psi\varphi_{j,k}^i(x,y) + vv_{j,k}^i \cdot \psi\psi_{j,k}^i(x,y)).$$

В качестве базиса был выбран фильтр Габора [13, 14], поскольку в цифровой обработке изображений он широко применяется для выделения границ объектов [14].

Формула функции Габора выглядит следующим образом:

$$g(x,y) = s(x,y) \cdot w_r(x,y),$$

где $s(x,y)$ – комплексная синусоида, а $w_r(x,y)$ – огибающая Гаусса для двумерного пространства. Остановимся более подробно на составных частях этого фильтра.

Комплексная синусоида определяется как:

$$s(x,y) = e^{j(2\pi(u_0x+v_0y)+P)},$$

где (u_0, v_0) – пространственная частота синусоиды; P – фаза синусоиды.

Можно представить синусоиду как две действительные функции, расположенные в действительной и мнимой части комплексной функции.

Действительная и мнимая части синусоиды имеют вид:

$$\begin{aligned} \text{Re}(s(x,y)) &= \cos(2\pi(u_0x + v_0y) + P), \\ \text{Im}(s(x,y)) &= \sin(2\pi(u_0x + v_0y) + P). \end{aligned}$$

Параметры (u_0, v_0) определяют частоту синусоиды в декартовых координатах.

Огибающая Гаусса имеет вид:

$$w_r(x, y) = K \cdot e^{-\pi(a^2(x-x_0)^2 + b^2(y-y_0)^2)},$$

где (x_0, y_0) – координаты пика функции; a и b – скалярные параметры Гауссиана; r – индекс, обозначающий операцию вращения, такой, что:

$$\begin{aligned}(x-x_0)_r &= (x-x_0) \cos \Theta + (y-y_0) \sin \Theta, \\ (y-y_0)_r &= -(x-x_0) \sin \Theta + (y-y_0) \cos \Theta.\end{aligned}$$

Комплексная функция Габора определяется следующими 9-ю параметрами:

K – весовой коэффициент огибающей Гаусса; a , b – весовые коэффициенты огибающей, распределенные по осям; Θ – угол вращения огибающей Гаусса; (x_0, y_0) – координаты пика огибающей Гаусса; (u_0, v_0) – пространственные частоты комплексной синусоиды; P – фаза комплексной синусоиды. Каждая комплексная функция Габора состоит из двух частей, расположенных в действительной и мнимой части функции.

Для построения двумерного фильтра Габора применяется формула:

$$G(x, y) = \cos(2\pi\Theta x_\phi) \exp\left(-\frac{1}{2} \times \left(\frac{x_\phi^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\phi^2}{\delta_y^2}\right)\right),$$

где $x_\phi = x \cdot \cos \phi + y \cdot \sin \phi$; $y_\phi = -x \cdot \sin \phi + y \cdot \cos \phi$; δ_x, δ_y – стандартные отклонения Гауссова ядра по осям соответственно, определяющие растянутость фильтра по осям; Θ – частотная модуляция фильтра; ϕ – пространственное направление фильтра, определяющее ориентацию фильтра относительно осей x и y .

Алгоритм повышения контраста маммограммы состоит из следующих шагов:

1. Загрузка исходного изображения $I(i, j)$ размером $n \times m$, где $i \in [0, n-1]$, $j \in [0, m-1]$.
2. Выбор и задание параметров для фильтра Габора: размера фильтра, $[x, y]$, σ , θ , F .

3. Расчет $g_\sigma(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2} \times \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right)$.

4. Получение действительной и мнимой части функции Габора

$$real_g(x, y) = g_\sigma(x, y) \cdot \cos(2\pi F \cdot (x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta))),$$

$$im_g(x, y) = g_\sigma(x, y) \cdot \sin(2\pi F \cdot (x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta))).$$

5. Свертка исходного изображения и действительной части:

$$S_r(i, j) = S[I(i, j), real_g(x, y)],$$

где S – оператор свертки.

6. Свертка исходного изображения и мнимой части:

$$S_im(i, j) = S[I(i, j), im_g(x, y)].$$

7. $uT(i, j) = \sqrt{S_r(i, j)^2 + S_im(i, j)^2}$.

8. Нормализация uT :

$$uTn(i, j) = \frac{uT(i, j) - uT_s}{uT_\sigma},$$

где uT_s – среднее значение массива $uT(i, j)$; uT_σ – среднеквадратическое отклонение $uT(i, j)$.

9. Поиск локальных максимумов по строкам и столбцам $uTn(i, j)$:

$$Mrow(a) = M[uTn(i, j)]$$

$$Mcol(b) = M[uTn(i, j)]$$

где M – оператор функции поиска локальных максимумов; $Mrow(a)$ – вектор локальных максимумов по строкам массива uTn ; $Mcol(b)$ – вектор локальных максимумов по столбцам массива uTn .

$$Str(i, j) = \begin{cases} Mrow(a) & \text{если } Mrow(a) \leq i < Mrow(a+1) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

$$Stc(i, j) = \begin{cases} Mcol(b) & \text{если } Mcol(b) \leq j < Mcol(b+1) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

$$uR(i, j) = \begin{cases} |I(i, j) * Str(i, j) * uTn(i, j)| & \text{если } uTn(i, j) \geq Str(i, j) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

$$uC(i, j) = \begin{cases} |I(i, j) * Stc(i, j) * uTn(i, j)| & \text{если } uTn(i, j) \geq Stc(i, j) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

$$K(i, j) = O[uR(i, j) + uC(i, j)],$$

где $K(i, j)$ – контрастированное изображение; O – оператор обратного преобразования.

В качестве критериев улучшения контрастности были взяты следующие:

1. ЕМЕ [17] – мера улучшения, характеризующаяся отношением максимумов и минимумов яркостей изображения. Пусть $F(n, m)$ – изображение размером $n \times m$, разбивается на меньшие блоки размером $[d, e]$ с округлением в меньшую сторону, тогда

$$EME(g) = \frac{1}{k_1 k_2} \cdot \sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j=1}^{k_2} 20 \cdot \ln \frac{\max(g)_{i,j}}{\min(g)_{i,j}},$$

где $k_1 = \frac{n}{d}$, $k_2 = \frac{m}{e}$; $\max(g)_{i,j}$ – максимальная яркость внутри блока (i, j) ; $\min(g)_{i,j}$ – минимальная яркость внутри блока (i, j) .

2. Ошибка абсолютной средней яркости (АМБЕ) [17] – абсолютная разница между средней яркостью входного изображения и средней яркостью выходного изображения:

$$AMBE = F_s - G_s,$$

где F_s – средняя яркость входного изображения $F(n, m)$; G_s – средняя яркость выходного изображения $G(n, m)$.

3. Еще одной характеристикой изображения является энтропия [17]:

$$H = - \sum_i \sum_j p(F(i, j)) \log_2(p(F(i, j))),$$

где $p(F(i, j))$ – вероятность появления яркости $F(i, j)$ на изображении.

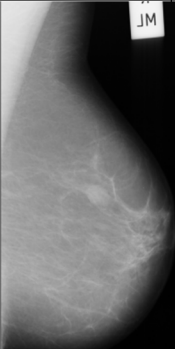
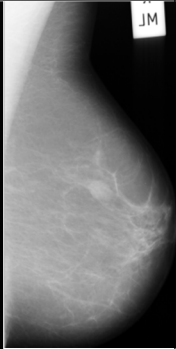
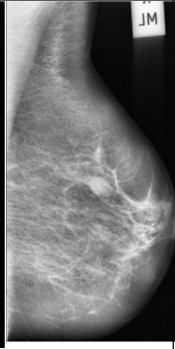
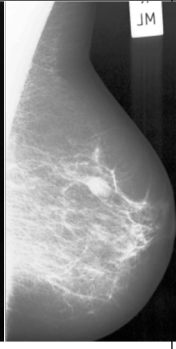
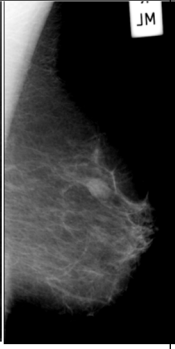
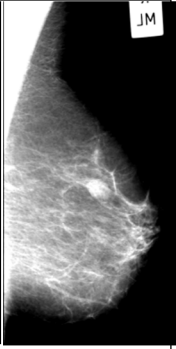
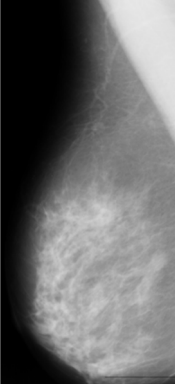
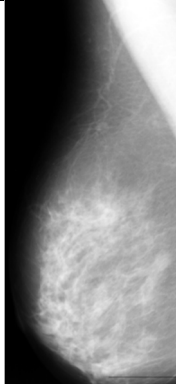
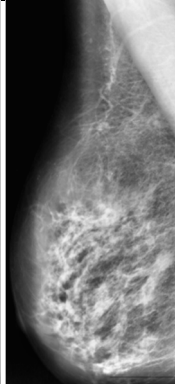
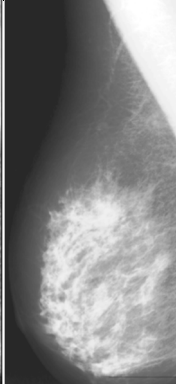
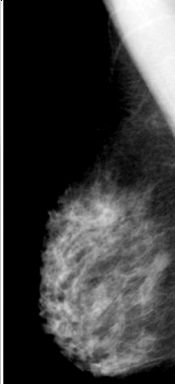
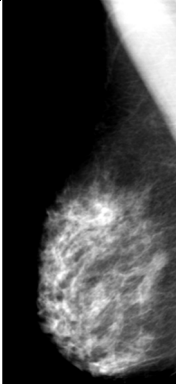
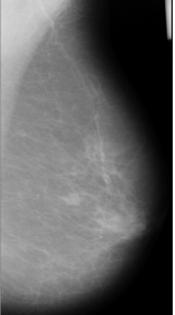
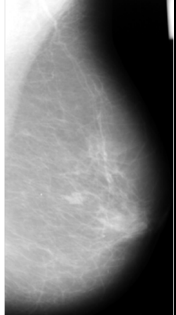
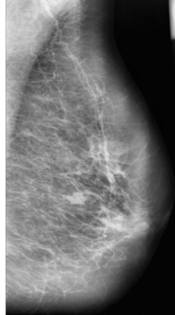
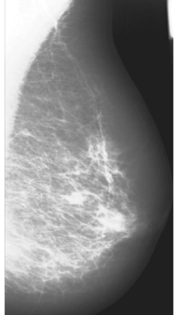
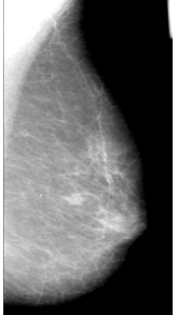
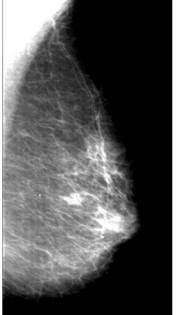
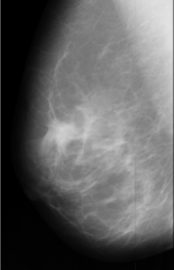
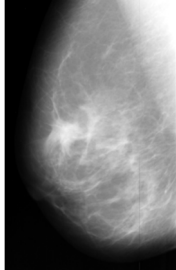
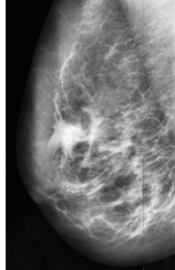
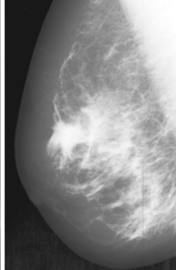
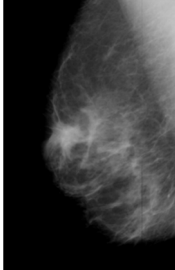
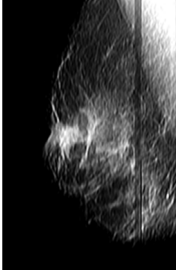
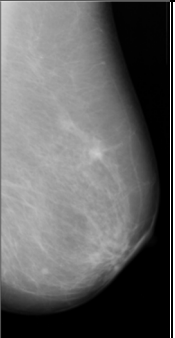
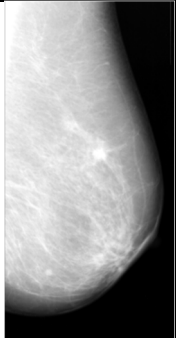
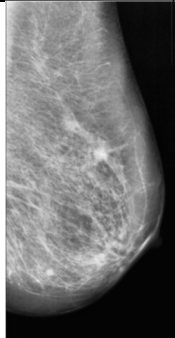
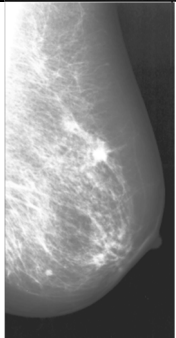

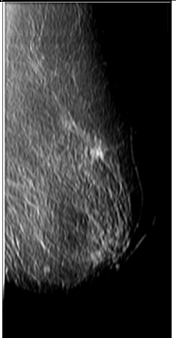
Результаты и их обсуждение. Для исследований была сформирована тестовая выборка из изображений, входящих в международную базу данных MIAS: mdb012.bmp, mdb078.bmp, mdb092.bmp, mdb099.bmp, mdb104.bmp, mdb117.bmp, mdb144.bmp, mdb158.bmp, mdb159.bmp, mdb191.bmp, mdb274.bmp, mdb310.bmp.

Для оценки методов улучшения изображений каждая маммограмма из тестовой выборки была улучшена с помощью алгоритма линейного контрастирования, реализованного в виде функции `imadjust` [10], алгоритма адаптивной эквализации гистограмм CLANE [9], выравнивания гистограмм `histeq` [11], функции изменения яркости/контрастности в графическом редакторе GIMP, а также с помощью разработанного авторами алгоритма. Затем для каждого контрастированного изображения были рассчитаны критерии ЕМЕ, АМБЕ и энтропия.

Основной целью исследования является улучшение маммограмм для дальнейшего выделения на них областей интереса (ROI) – областей, содержащих доброкачественные и злокачественные новообразования, а также микрокальцинаты. Во время изменения яркости и контрастности маммографического снимка необходимо избегать появления артефактов при выделении краев областей, присутствующих на изображениях, поскольку они могут ложно восприниматься за опухоль, и, наоборот, из-за плохого усиления контраста на конечной маммограмме опухоль будет выглядеть как «норма».

В таблице представлены примеры применения алгоритмов контрастирования к тестовой выборке. По результатам визуального анализа контрастирования можно сделать следующие выводы: 1. При использовании линейного контрастирования изображения практически не изменяются. 2. На снимках, улучшенных алгоритмом CLANE, четче видны сосуды, области новообразований и фиброза. Однако слишком большая избыточность, эквализация гистограмм с помощью стандартной функции `histeq` не подходит к такому типу изображений, поскольку перераспределение яркостей вносит слишком много изменений. 3. Стандартное контрастирование в GIMP недостаточно выделяет края новообразований. 4. Контрастирование предложенным авторами алгоритмом показывает наилучшие результаты, так как четко видно края и форму новообразований, питающие их сосуды.

Таблица 1 – Сравнение результатов контрастирования

	Исходное изображение	imadjust	CLAHE	histeq	GIMP	Разработанный алгоритм
mdb012.bmp						
mdb099.bmp						
mdb078.bmp						
mdb117.bmp						
mdb158.bmp						

На рисунках 2–3 в качестве примера представлены гистограммы для изображений mdb099.bmp и mdb012.bmp из таблицы. На рисунке 4 показаны минимальные, максимальные и средние значения яркости исходного и обработанных изображений. Анализ гистограмм, а также значений на рисунке 4, показывает, что изображения имеют «перекос» в сторону темных тонов. После улучшения контраста изображений видно, что произошло растяжение гистограммы как в темной, так и в светлой области, хотя максимальное значение изменилось незначительно. Увеличилось среднее значение яркости для снимков, улучшенных с помощью imadjust, CLAHE и histeq, что характеризует увеличение разброса значений яркости от среднего значения как в сторону темных, так и в сторону светлых областей. Только линейное контрастирование и предложенный авторами алгоритм выполняют растяжение яркостей на весь диапазон.

Наличие грудной мышцы на большинстве снимков вносит дополнительные проблемы при контрастировании, особенно при эквализации гистограмм. Причина – этот участок становится еще светлее, и при дальнейшем выделении областей интереса будет выделен в первую очередь.

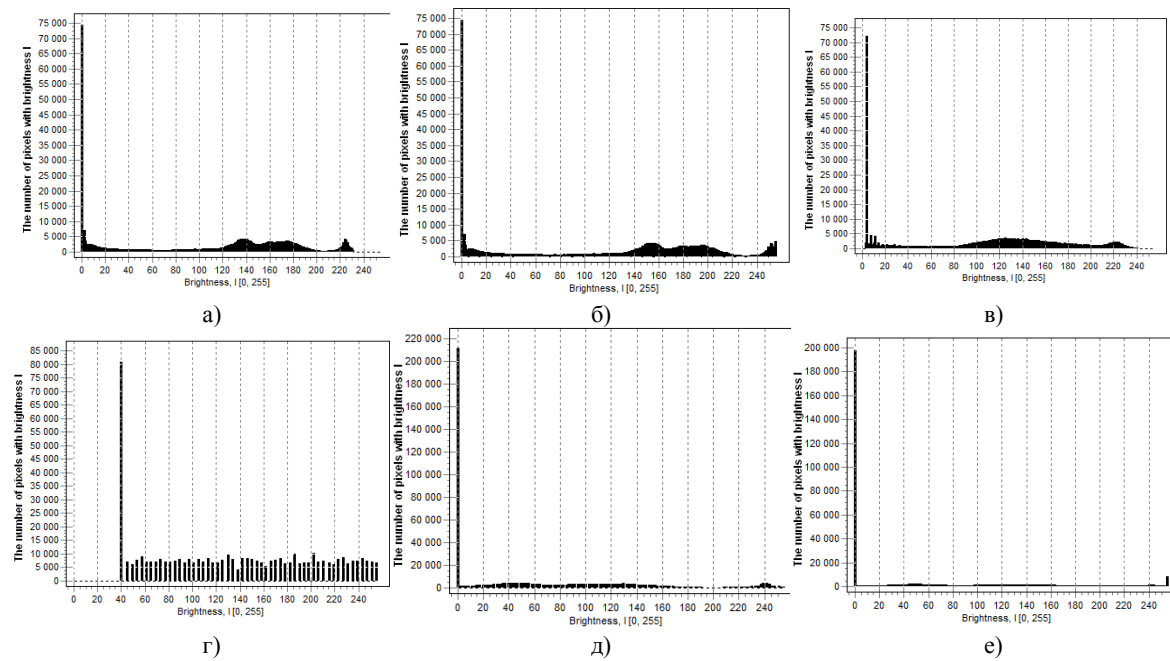


Рисунок 2 – Гистограммы маммограммы mdb099.bmp: а) исходное изображение; б) imadjust; в) CLAHE; г) histeq; д) GIMP; е) алгоритм, разработанный авторами

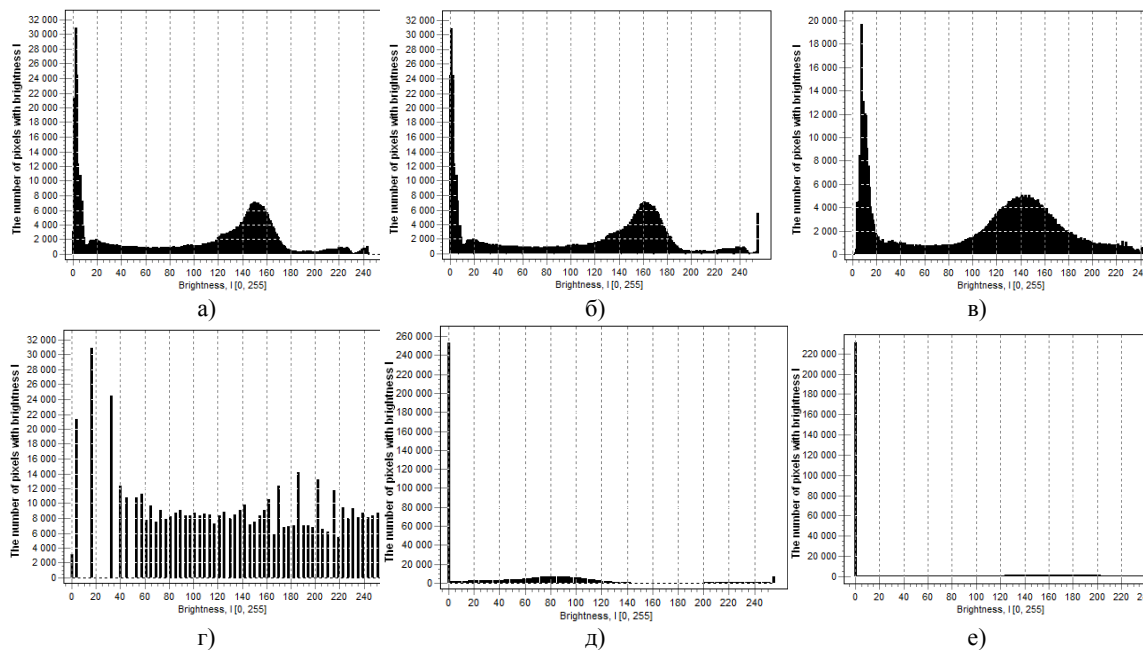


Рисунок 3 – Гистограммы маммограммы mdb012.bmp: а) исходное изображение; б) imadjust; в) CLAHE; г) histeq; д) GIMP; е) разработанный алгоритм

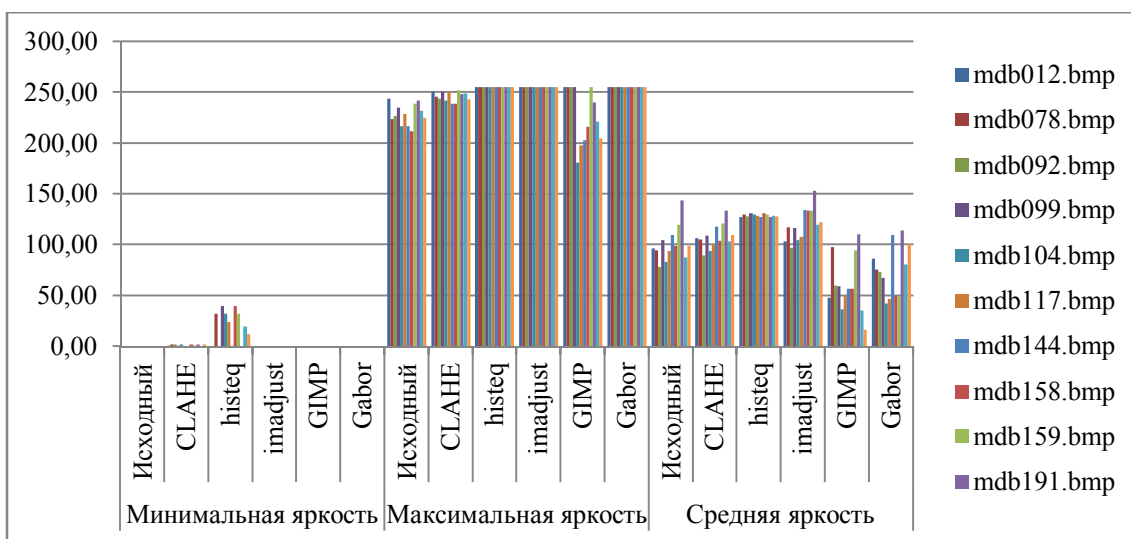


Рисунок 4 – Минимальная, максимальная и средняя яркости для исходных и улучшенных маммограмм

Характеристики ЕМЕ, АМВЕ и значения энтропии исходных и обработанных изображений для сравнения представлены на графиках на рисунках 5–7.

Чем меньше значение показателя ЕМЕ, тем больше локальной информации скрыто из-за недостаточного улучшения. Например, самое минимальное значение ЕМЕ показало для изображений mdb078.bmp, mdb099.bmp, mdb104.bmp, mdb117.bmp, mdb158.bmp, mdb159.bmp, mdb274.bmp при эквализации гистограмм с помощью функции histeq.

Чем ниже значение показателя АМВЕ, тем ближе обработанное изображение находится к исходному и тем лучше качество изображения. На маммограммах mdb092.bmp, mdb144.bmp и mdb310.bmp разработанный авторами алгоритм показывает наилучшие результаты.

Чем ниже значение энтропии обработанного изображения по сравнению с исходным, тем меньше неравномерность распределения яркостей изображения. На рисунке 7 можно видеть, что энтропия изображений, обработанных предложенным алгоритмом, существенно ниже исходных значений.

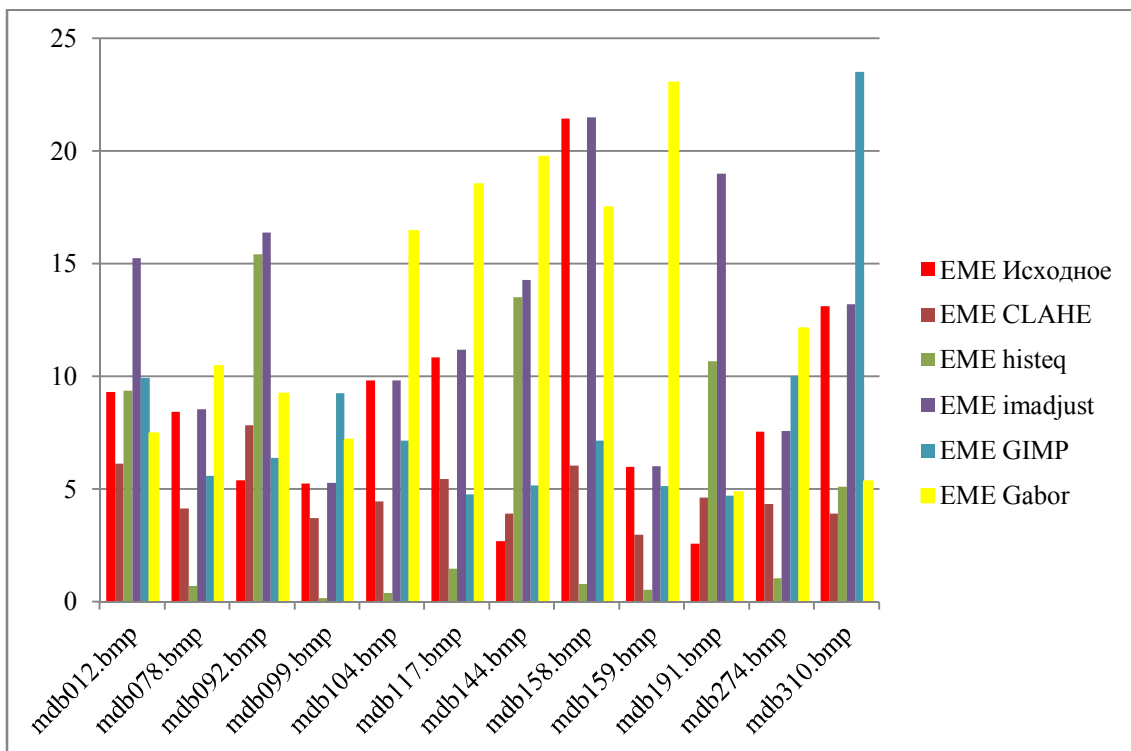


Рисунок 5 – Значения показателя ЕМЕ для исходных и улучшенных маммограмм

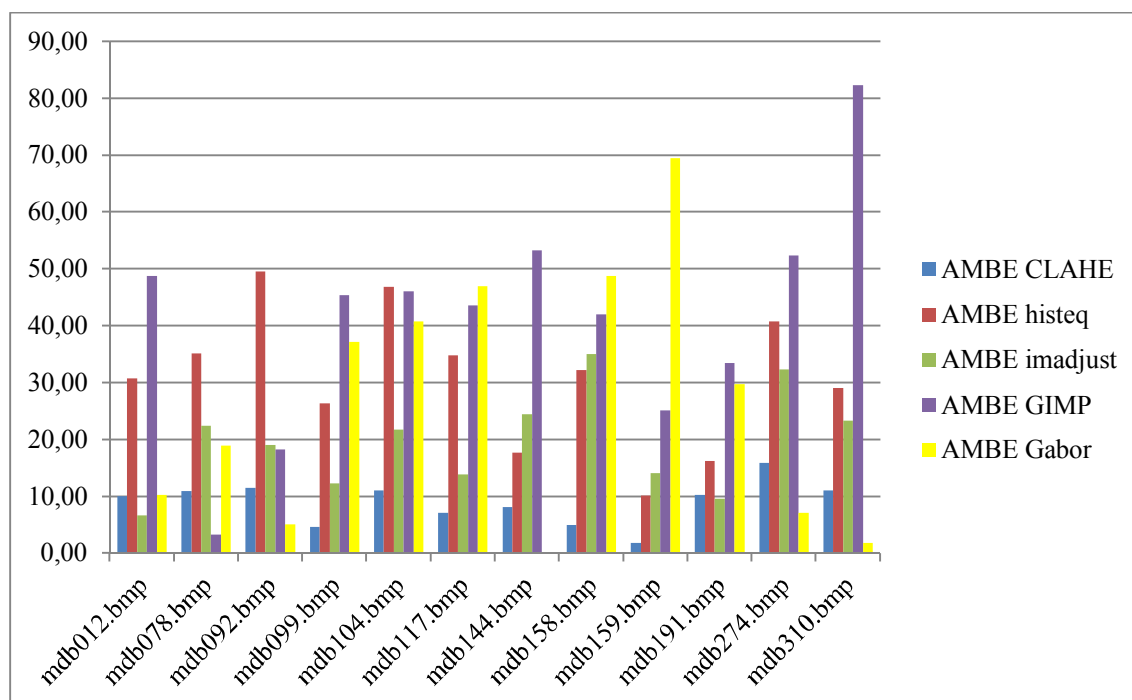


Рисунок 6 – Значения показателя AMBE для исходных и улучшенных маммограмм

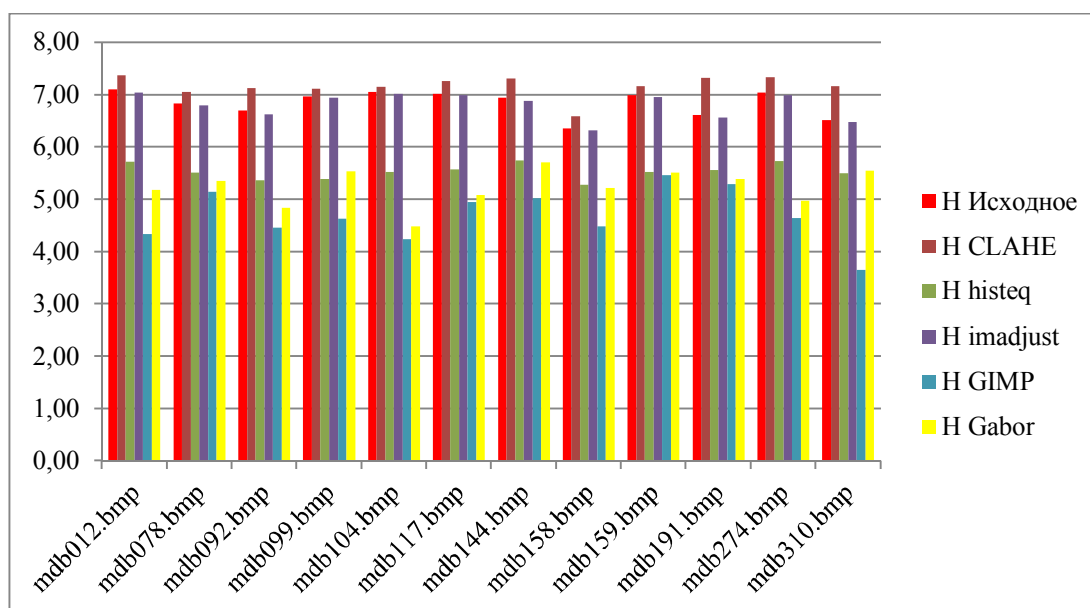


Рисунок 7 – Значения энтропии для исходных и улучшенных маммограмм

Выводы. Маммографические снимки – сложные рентгеновские изображения молочных желез. От качества их анализа зависит человеческая жизнь. Чем раньше будет найдена злокачественная опухоль, тем больше шансов на успешное лечение.

Оцифрованные пленочные маммограммы требуют обязательного улучшения. Наличие мастопатии на цифровых маммограммах усложняет визуальный анализ. Поэтому необходимо изменение яркости и контрастности таких снимков.

В статье приводятся результаты применения существующих алгоритмов контрастирования для улучшения информативности маммограмм. Анализ этих результатов показал, что использование стандартных методов для обработки маммографических снимков не позволяет четко выделять края опухолей.

В статье обоснована возможность применения вейвлет-преобразований для повышения контраста маммографических снимков. Приведен разработанный алгоритм контрастирования

маммографических снимков. С помощью него выделяются области новообразований, несмотря на наличие области грудной мышцы. Улучшенные с помощью предложенного алгоритма маммограммы в дальнейшем будут использоваться при автоматическом выделении «областей интереса» и распознавании патологий.

Библиографический список

1. Бехтин Ю. С. Теоретические основы вейвлет-кодирования зашумленных сигналов : монография / Ю. С. Бехтин. – Рязань, 2009. – 124 с.
2. Буланова Ю. А. Экспертно-аналитическая система обработки и анализа маммограмм / Ю. А. Буланова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1 (25). – С. 92–102.
3. Высоцкая И. В. Клинические рекомендации Российского общества онкомаммологов по профилактике рака молочной железы, дифференциальной диагностике, лечению предопухолевых и доброкачественных заболеваний молочных желез / И. В. Высоцкая, В. П. Летагин, В. Г. Черенков и др. // Опухоли женской репродуктивной системы. – 2016. – Т. 12, № 3. – С. 43–52.
4. Жизняков А. Л., Вакунов Н. В. Вейвлет-преобразование в обработке и анализе изображений. – Москва : ВНИИгеосистем, 2004. – 102 с.
5. Журавель И. М. Краткий курс теории обработки изображений. – Обработка сигналов и изображений, 2005 / И. М. Журавель. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 21.10.19).
6. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов / С. Малла. – Москва : Мир, 2005. – 671 с.
7. Подгорнова Ю. А. Распознавание типа опухолей молочных желез на основе анализа их формы по рентгеновским снимкам / Ю. А. Подгорнова // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018. – № 63. – С. 103–108.
8. Программное обеспечение для маммографии. – Режим доступа: <https://www.medicalexpro.ru/proizvoditel-medicinskoj-produkcii/programmnoe-obespecenie-mammografii-8141.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.04.2020).
9. Садыков С. С. Автоматизированная обработка и анализ маммографических снимков : монография / С. С. Садыков, Ю. А. Буланова, Е. А. Захарова ; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2014. – 208 с.
10. Функция `imadjust`. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imadjust.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 06.05.2020).
11. Функция `histeq`. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/histeq.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 06.05.2020).
12. Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. Bray F. et al. CA: A Cancer Journal for Clinicians 2018; 0:1-31. – Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.3322/caac.21492>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 12.12.2018).
13. Lee T. S. Image Representation Using 2D Gabor Wavelets / T. S. Lee // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1996. – Vol. 18, № 10. – P. 1–13.
14. Mencattini A. Mammographic Images Enhancement and Denoising for Breast Cancer Detection Using Dyadic Wavelet Processing / A. Mencattini, M. Salmeri, R. Lojacono, M. Frigerio, F. Caselli // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2008. – № 57 (7). – P. 1422–1430.
15. Podgornova Yu. A. Detection of malignant breast tumors on the background of fibrocystic breast disease / Yu. A. Podgornova, S. S. Sadykov // CEUR Workshop Proceedings. – 2018. – Vol. 2210. – P. 177–183.
16. Podgornova Yu. A. Comparative analysis of segmentation algorithms for the allocation of microcalcifications on mammograms / Yu. A. Podgornova, S. S. Sadykov // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2391. – P. 121–127.
17. Sundaram M. Efficient edge emphasized mammogram image enhancement for detection of microcalcification / M. Sundaram, K. Ramar, N. Arumugam, G. Prabin // Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications. – 2014. – Vol. 26, № 5. – P. 1450056-1–1450056-14. DOI: 10.4015/S1016237214500562.

References

1. Bekhtin Yu. S. *Teoreticheskie osnovy veyvlet-kodirovaniya zashumlennykh signalov* [Theoretical foundations of the wavelet coding of noisy signals]. Ryazan, 2009. 124 p.
2. Bulanova Yu. A. *Ekspertno-analiticheskaya sistema obrabotki i analiza mammogramm* [Expert analytical system for processing and analyzing mammograms]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 1 (25), pp. 92–102.
3. Vysotskaya I. V., Letyagin V. P., Cherenkov V. G. et al. *Klinicheskie rekomendatsii Rossiyskogo obshchestva onkomammologov po profilaktike raka molochnoy zhelezy, differentsialnoy diagnostike, lecheniyu predopukholyevykh i dobrokachestvennykh zabolovaniy molochnykh zhelez* [Clinical recommendations of the Russian Society of oncologists-mammologists for the prevention of breast cancer, differential diagnosis, treatment of precancerous and benign breast diseases]. *Opukholi zhenskoy reproduktivnoy sistemy* [Tumors of the female reproductive system], 2016, no. 12 (3), pp. 43–52.
4. Zhiznyakov A. L., Vakunov N. V. *Veyvlet-preobrazovanie v obrabotke i analize izobrazheniy* [Wavelet transform in image processing and analysis]. Moscow, 2004. 102 p.
5. Zhuravel I. M. *Kratkiy kurs teorii obrabotki izobrazheniy. – Obrabotka signalov i izobrazheniy, 2005* [A short course in image processing theory. – Signal and image processing, 2005]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php> (accessed 21.10.19).

6. Malla S. *Veyvlety v obrabotke signalov* [Wavelets in signal processing]. Moscow, 2005. 671 p.
7. Podgornova Yu. A. Raspoznavanie tipa opukholey molochnykh zhelez na osnove analiza ikh formy po rentgenovskim snimkam [Recognition of the type of breast tumors based on the analysis of their shape by X-ray photographs]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Ryazan State Radi-engineering University], 2018, no. 63, pp. 103–108.
8. *Programmnoe obespechenie dlya mammografii* [Mammography software]. Available at: <https://www.medicalexpo.ru/proizvoditel-medicinskoj-produkcii/programmnoe-obespechenie-mammografii-8141.html> (accessed 30.04.2020).
9. Sadykov S. S., Bulanova Yu. A., Zakharova E. A. *Avtomatizirovannaya obrabotka i analiz mammograficheskikh snimkov* [Automated processing and analysis of mammographic images]. Vladimir, Vladimir State University Publ., 2014. 208 p.
10. *Funktsiya imadjust* [Imadjust function]. Available at: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imadjust.html> (accessed 06.05.2020).
11. *Funktsiya histeq* [Histeq function]. Available at: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/histeq.html> (accessed 06.05.2020).
12. *Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries*. Bray F, et al. *CA: A Cancer Journal for Clinicians* 2018; 0:1-31. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.3322/caac.21492> (accessed 12.12.2018).
13. Lee T. S. Image Representation Using 2D Gabor Wavelets. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 1996, no. 18 (10), pp. 1–13.
14. Mencattini A., Salmeri M., Lojacono R., Frigerio M., Caselli F. Mammographic Images Enhancement and Denoising for Breast Cancer Detection Using Dyadic Wavelet Processing. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2008, no. 57 (7), pp. 1422–1430.
15. Podgornova Yu. A., Sadykov S. S. Detection of malignant breast tumors on the background of fibrocystic breast disease. *CEUR Workshop Proceedings*, 2018, vol. 2210, pp. 177–183.
16. Podgornova Yu. A., Sadykov S. S. Comparative analysis of segmentation algorithms for the allocation of microcalcifications on mammograms. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019, vol. 2391, pp. 121–127.
17. Sundaram M., Ramar K., Arumugam N., Prabin G. Efficient edge emphasized mammogram image enhancement for detection of microcalcification. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 2014, vol. 26, no. 5, pp. 1450056-1–1450056-14. DOI: 10.4015/S1016237214500562.

ИНФОРМАЦИЯ О ПРЕДСТОЯЩИХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ

Приведена информация о предстоящих научных мероприятиях: Третья Международная конференция Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies (FTNCT-2020); II Международная научная конференция «Инновационные подходы применения цифровых технологий в образовании и в научных исследованиях»; II Международная научно-практическая конференция по цифровой экономике (ISCDE 2020); Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» (МНПК ЭСиСУ-2020) и другие.

Ключевые слова: научные мероприятия, тематика, направления, объявления, информационные технологии

1. Третья Международная конференция Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies (FTNCT-2020), состоится 14–16 октября 2020 г., Таганрог, Россия.

В связи с обстановкой в мире и в России организаторами было принято решение предоставить возможность дистанционного выступления на конференции для тех, кто по объективным причинам не сможет попасть на очное заседание секции. Более того, стоимость участия снижена до 150 USD (80 USD для студентов и аспирантов). Труды конференции будут опубликованы в журнале Springer (3 квартал) с индексацией в базе Scopus.

Подробная информация о конференции и условиях участия в ней размещается на сайте <http://www.ftnct.com/FTNCT-2020/>

2. II Международная научная конференция «Инновационные подходы применения цифровых технологий в образовании и в научных исследованиях».

Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ) совместно с Университетом г. Любляны (Словения) с 11 по 13 ноября 2020 г. проводит II 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). Конференция пройдет в формате активной дискуссии в очном и/или дистанционном режиме с привлечением российских и зарубежных ученых, имеющих опыт проведения научных фундаментальных и прикладных исследований.

Основные направления конференции:

1) Компьютерные инновационные подходы в образовании и научных исследованиях.

2) Информационная образовательная среда: инструменты совместного обучения и компьютерно-опосредованной коммуникации.

3) Цифровая педагогика: online-образование, массовые открытые образовательные курсы, электронное обучение, дистанционные образовательные технологии, мобильные приложения и устройства в образовании.

4) Образовательная робототехника.

5) Виртуальные и игровые IT-технологии в образовании.

Прямая ссылка для подачи статьи: <https://easychair.org/conferences/?conf=slet2020>

3. II Международная научно-практическая конференция по цифровой экономике (ISCDE 2020).

Приглашаются к участию во II Международной научно-практической конференции по цифровой экономике (ISCDE 2020). Конференция состоится в городе Екатеринбурге на базе Института цифровой экономики. Материалы по результатам конференции будут опубликованы издательством Atlantis Press в серии книг Advances in Economics, Business and Management Research (ISSN: 2352-5428) и проиндексированы в наукометрической базе данных Web of Science («Сеть науки»)

Основные секции:

Секция 1. Цифровые технологии в экономике.

Секция 2. Цифровые технологии в образовании.

Секция 3. Юриспруденция и право как регулятор цифровой экономики.

Секция 4. Цифровые методы в гуманитарных науках и философия цифровой экономики.

Секция 5. Применение цифровых технологий в здравоохранении.

Официальный сайт конференции: <https://iscde2020.com/ru/>

4. Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» (МНПК ЭСиСУ-2020).

К участию в работе конференции приглашаются сотрудники высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов, в том числе аспиранты и студенты (в соавторстве со старшими коллегами), а также представители организаций и фирм, занятых в сфере наукоёмкого бизнеса. Материалы докладов будут опубликованы в сборниках конференции. Сборники материалов конференции выходят после конференции и размещаются на сайте ТУСУРа в разделе «Архив». Сборникам присваивается ISBN, они включены в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Официальный сайт события: <https://tusur.ru/ru/nauka-i-innovatsii/nauchnye-meropriyatitatusura/mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-elektronnye-sredstva-i-sistemy-upravleniya>

ПАМЯТИ БРУМШТЕЙНА ЮРИЯ МОИСЕЕВИЧА



Коллектив Астраханского государственного университета с прискорбием сообщает о гибели 8 августа кандидата технических наук, доцента кафедры информационных технологий, ответственного секретаря «Прикаспийского журнала: управление и высокие технологии» Брумштейна Юрия Моисеевича.

Юрий Моисеевич родился 27 апреля 1949 года в городе Горький (ныне Нижний Новгород) в семье врача Моисея Соломоновича Брумштейна. Закончил физический факультет Горьковского государственного университета по специальности «Физик». В 2004 году защитил кандидатскую диссертацию по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Автор более 300 научных публикаций.

16 лет своей жизни Юрий Моисеевич посвятил Астраханскому государственному университету, где обучал студентов различных факультетов техническим и точным наукам и занимался организацией студенческих олимпиад, защищая честь вуза на областных, федеральных и международных состязаниях. С 2014 года выполнял обязанности ответственного секретаря «Прикаспийского журнала: управление и высокие технологии», тщательно и внимательно выверяя рукописи авторов и давая бесценные рекомендации по их улучшению. Его вклад в развитие журнала трудно переоценить.

Юрий Моисеевич отличался исключительным трудолюбием, любознательностью, был увлеченным и уважаемым в Астрахани специалистом.

Светлую память о Брумштейне Юрии Моисеевиче как об ученом, педагоге и отзывчивом человеке навсегда сохранят его студенты и коллеги.

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 странице 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 (доступа) 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, подрисуночных 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 «многоступенчатых 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/transp_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 Объединённому каталогу «Пресса России»**

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: «Языкознание», «Литературоведение».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 3762 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. 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 – 4500 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. 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 – 3500 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии»

Подписной индекс – 73313

На страницах журнала представлены результаты исследований и новейшие разработки в области технических наук.

Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Управление в социальных и экономических системах», «Системный анализ, управление и обработка информации», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», «Информационная безопасность и защита информации», «Информационно-измерительные и управляющие системы».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 9000 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. 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, 24-68-37
e-mail: asupress@yandex.ru

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**2020
№ 2 (50)**

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»

Главный редактор И.М. Ажмухамедов

Редактирование,
компьютерная правка, верстка *Н.Н. Сахно*

Дата выхода в свет 23.09.2020 г.

Цена свободная
Уч.-изд. 11,9. Усл. печ. л. 16,6.
Заказ № 4189. Тираж 500 экз. (первый завод – 22 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