

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2019

№ 2 (46)

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

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

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

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

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

Журнал входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory.

Астрахань
Издательский дом «Астраханский университет»
2019

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Астраханского государственного университета

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2019
№ 2 (46)

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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 САПР Астраханского государственного архитектурно-строительного университета

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ASTRAKHAN STATE UNIVERSITY

**PRIKASPIYSKIY ZHURNAL:
Upravlenie i Vysokie Tekhnologii**

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**2019
No. 2 (46)**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Astrakhan
Publishing House “Astrakhan University”
2019

Recommended by the Editorial and Publishing Board
of Astrakhan State University

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

2019

No. 2 (46)

Editorial Board

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

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

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

Yu.M. 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. Razzakov (Kyrgyz Republic, Bishkek)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© Astrakhan State University,
Publishing House «Astrakhan University», 2019
© V. B. Sviridov, cover design, 2019

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Ажмухамедов И. М.</i>	135–143	<i>Кузнецова В. Ю.</i>	163–170
	143–152	<i>Кучеренко А. А.</i>	60–71
	170–179		
<i>Андроников Д. А.</i>	180–193	<i>Литвинов К. И.</i>	143–152
<i>Багдасарян Р. Х.</i>	143–152	<i>Лукащик Е. П.</i>	143–152
<i>Батыров Э. Д.</i>	101–112	<i>Малевский Д. А.</i>	180–193
<i>Большаков А. А.</i>	30–40	<i>Малый Л. В.</i>	30–40
	41–59	<i>Мальчук А. М.</i>	72–89
<i>Братышев С. Н.</i>	180–193	<i>Мальчук Л. В.</i>	72–89
<i>Брумиштейн Ю. М.</i>	72–89	<i>Медведев М. Ю.</i>	207–214
	215–233	<i>Молимонов Д. А.</i>	215–233
<i>Воротников С. А.</i>	194–207	<i>Мыльников Л. А.</i>	10–21
<i>Гемуев Ш. Ш.</i>	194–207	<i>Нежников Р. И.</i>	215–233
<i>Горкавенко В. С.</i>	135–143	<i>Никульчев Е. В.</i>	113–125
<i>Гусев А. А.</i>	113–125	<i>Носиров З. А.</i>	126–134
<i>Данцигер Д. Г.</i>	22–30	<i>Осипян В. О.</i>	143–152
<i>Жарких Л. И.</i>	101–112	<i>Полетаев Н. С.</i>	170–179
<i>Жук А. С.</i>	143–152	<i>Полуянович Н. К.</i>	207–214
<i>Зайнутдинов Р. А.</i>	180–193	<i>Рамазанова Л. Ш.</i>	215–233
<i>Ильин Д. Ю.</i>	113–125	<i>Синица С. Г.</i>	143–152
<i>Ильичев В. Г.</i>	180–193	<i>Станишевская А. В.</i>	153–163
			170–179
<i>Ключарев А. Ю.</i>	180–193	<i>Таран В. Н.</i>	90–100
<i>Ключиков А. В.</i>	41–59	<i>Теруков Е. И.</i>	180–193
<i>Кожевников А. А.</i>	22–30	<i>Тишкова А. С.</i>	215–233
<i>Костюков В. А.</i>	207–214	<i>Часовников К. В.</i>	22–30
<i>Кравец А. Г.</i>	60–71	<i>Щербинина О. В.</i>	126–134

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Л. А. Мыльников

Вопросы эффективного управления динамическим портфелем
инновационных проектов производственных систем..... 10–21

А. А. Кожевников, Д. Г. Данцигер, К. В. Часовников

Применение индекса наличия проблемы при сравнительном анализе заболеваемости населения
Российской Федерации, Сибирского федерального округа и Кемеровской области 22–30

А. А. Большаков, Л. В. Малый

Выбор модели представления знаний для интеллектуальной системы управления
качеством обработки заготовок в производстве печатных плат 30–40

А. В. Ключиков, А. А. Большаков

Функциональное моделирование процесса построения объемных изображений
на основе автостереоскопических дисплеев 41–59

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А. Г. Кравец, А. А. Кучеренко

Исследование регионального инвестиционного климата на основе факторного анализа 60–71

Ю. М. Бруштейн, Л. В. Мальчук, А. М. Мальчук

Подбор российскими авторами мест опубликования статей
по социально-гуманитарным исследованиям в зарубежных журналах:
анализ состава и сервисов интернет-ресурсов, применимых для этих целей 72–89

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

В. Н. Таран

Моделирование сложных (опасных) природных процессов
при помощи сети доверия Байеса 90–100

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Л. И. Жарких, Э. Д. Батыров

Разработка структуры базы данных и программного обеспечения,
предназначенного для подбора антидотов к заданному токсиканту 101–112

А. А. Гусев, Д. Ю. Ильин, Е. В. Никульчев

Генетический алгоритм выбора компонентов информационных систем
на основе экспериментальных оценок критериев качества 113–125

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

З. А. Носиров, О. В. Щербинина

Анализ криптографических схем разделения секрета
для резервного хранения ключевой информации 126–134

В. С. Горкавенко, И. М. Ажмухамедов

Разработка программного обеспечения для централизованного устранения
уязвимостей хостов под управлением Unix-подобных операционных систем 135–143

**Р. Х. Багдасарян, В. О. Осипян, Е. П. Лукащик,
С. Г. Сеница, А. С. Жук, К. И. Литвинов**

О разработке метода проверки достоверности данных при передаче информации 143–152

А. В. Станишевская, И. М. Ажмухамедов

Снижение уровня субъективной неопределенности при использовании тестирования
для оценки уровня компетентности испытуемых 153–162

В. Ю. Кузнецова

Обеспечение компетентности российских школьников в вопросах криптографии:
анализ целей, возможных подходов и технологий, средств их программной поддержки 163–170

I. M. Azhmutkhamedov, N. S. Poletayev, A. V. Stanishevskaya

Identification of personality based on electronic documents with increased security level 170–179

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

**Е. И. Теруков, Д. А. Андроников, Д. А. Малевский, Р. А. Зайнутдинов,
А. Ю. Ключарев, С. Н. Братышев, В. Г. Ильичев**

Экспериментальное исследование влияния метеорологических факторов
на выработку электроэнергии солнечными модулями
в климатических условиях Астраханской области 180–193

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Ш. Ш. Гемуев, С. А. Воротников

Роботизированный комплекс сортировки твёрдых бытовых отходов 194–207

В. А. Костюков, М. Ю. Медведев, Н. К. Полуянович

Особенности электромеханического управления
комплексной силовой энергетической установкой
с ветроэнергетическими установками вихревого типа 207–214

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Ю. М. Брумштейн, Л. Ш. Рамазанова, Д. А. Молимонов,
А. С. Тишкова, Р. И. Нежников**

Методы и технические решения для оценки точности восприятия испытуемыми
яркостно-цветовых характеристик объектов, объемов и устойчивости их цветовой памяти 215–233

ПАМЯТИ ДМИТРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА УСАНОВА 234

ИНФОРМАЦИЯ О ПРЕДСТОЯЩИХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ 235

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 236

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER TECHNIQUE AND CONTROL

SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

L. A. Mylnikov

Project portfolio management of dynamic innovation projects
in production systems.....10–21

A. A., Kozhevnikov, D. G. Dantsiger, K. V. Chasovnikov

Application of the index of existence of the problem in the comparative analysis of incidence
of the population of Russian Federation, Siberian Federal District and the Kemerovo region22–30

A. A. Bolshakov, L. V. Malyy

Selection of the knowledge representation model
for the intellectual quality management system of part processing in PCB production30–40

A. V. Klyuchikov, A. A. Bolshakov

Functional modeling of the process of creation of volumetric images
based on autostereoscopic displays41–59

CONTROL IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

A. G. Kravets, A. A. Kucherenko

A research of the regional investment climate based on factor analysis60–71

Yu. M. Brumshteyn, L. V. Malchuk, A. M. Malchuk

Selection of places for publication articles on social-humanitarian investigations
in foreign journals by Russian authors: the analysis of structure
and services of Internet-resources, applicable for these purposes72–89

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM SYSTEMS

V. N. Taran

Modeling of complex (dangerous) natural processes by means of the Bayesian belief network90–100

MATHEMATICAL SOFTWARE AND SOFTWARE FOR COMPUTING MACHINES, COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS (TECHNICAL SCIENCES)

L. I. Zharkikh, E. D. Batyrov

Design of the database structure and software,
intended for the selection of antidotes to the given toxicant101–112

A. A. Gusev, D. Yu. Ilin, E. V. Nikulchev

Genetic algorithm of selecting information systems components
based on experimental evaluations of quality criteria113–125

INFORMATION SAFETY AND INFORMATION PROTECTION

Z. A. Nosirov, O. V. Shcherbinina

Analysis of cryptographic secret sharing schemes for backing up key information126–134

V. S. Gorkavenko, I. M. Azhmukhamedov

Development of software for centralized elimination of host vulnerabilities
under the management of Unix-like operational systems 135–143

**R. Kh. Bagdasaryan, V. O. Osipyan, E. P. Lukashchik,
S. G. Sinitsa, A. S. Zhuk, K. I. Litvinov**

On the development of the method of checking the data reliability
in the transmission of information 143–152

A. V. Stanishevskaya, I. M. Azhmukhamedov

The decrease of the subjective uncertainty level during the use of testing
to estimate the level of competence of the tested 152–163

V. Yu. Kuznetsova

The ensuring competence of Russian students in cryptography issues:
analysis of purposes, possible approaches, means of their software support 163–170

I. M. Azhmukhamedov, N. S. Poletayev, A. V. Stanishevskaya

Identification of personality based on electronic documents with increased security level 170–179

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

INSTRUMENTS AND MEASUREMENT METHODS**E. I. Terukov, D. A. Andronikov, D. A. Malevsky, R. A. Zaynutdinov,
A. Yu. Klyucharev, S. N. Bratyshev, V. G. Ilyichev**

Pilot study of influence of meteorological factors on power generation
by solar modules in climatic conditions of the Astrakhan region 180–193

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS**Sh. Sh. Gemuev, S. A. Vorotnikov**

Robotic complex for sorting of municipal solid waste 194–207

V. A. Kostjukov, M. Yu. Medvedev, N. K. Poluyanovich

Features of electromechanical control of complex power energy installation
with vortex wind power installatio 207–214

MEDICAL INSTRUMENTS, SYSTEMS AND ITEMS**Yu. M. Brumshteyn, L. S. Ramazanova, D. A. Molimonov,
A. S. Tishkova, R. I. Nezhnikov**

Methods and technical solutions for assessing human test subjects' perception accuracy
of objects brightness and color chracteristics, volumes and stability of their color memory 215–233

IN MEMORY OF DMITRIY ALEKSANDROVICH USANOV 234

INFORMATION ON FORTHCOMING SCIENTIFIC EVENTS 235

RULES FOR THE AUTHORS 236

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 005.93, 65, 519.25, 004.896

ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ПОРТФЕЛЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Статья поступила в редакцию 30.04.2019, в окончательном варианте – 18.05.2019.

Мыльников Леонид Александрович, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Российская Федерация, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, кандидат технических наук, доцент, e-mail: leonid.mylnikov@pstu.ru

Реализация и управление проектами в производственных системах связана с повышенными рисками. При планировании выпуска инновационной продукции они могут приводить к несвоевременному или неверному принятию управленческих решений в связи с меньшим временем жизненного цикла такой продукции, слабо предсказуемым спросом на нее, большей наукоемкостью, конструктивной сложностью и ресурсоемкостью разработки и производства. Целью статьи является рассмотрение вопросов повышения эффективности планирования и управления реализацией для портфеля инновационных проектов. Эта цель достигается за счет учета фактора времени и синхронизации внутренних процессов производственной системы с внешними по отношению к ней процессами. Исследование основано на построении и использовании адаптивных моделей, получаемых на основе ретроспективных данных о функционировании системы. В результате проведения исследования получена методика, позволяющая сужать область поиска решений и строить адаптивные модели для поиска и ранжирования области возможных решений в задачах управления и планирования производственных процессов. Кроме того, эффективность полученной модели была проверена на ретроспективных данных. Практическая значимость проведенного исследования связана с возможностью сокращения времени, необходимого для планирования и реализации проекта; возможным повышением количества (доли) успешно реализованных проектов; сокращением затрат на реализацию проектов при работе на открытый рынок со слабо предсказуемым спросом; с увеличением дохода, получаемого производственными системами.

Ключевые слова: модель, инновационный проект, портфель проектов, производственная система, управление, планирование, поддержка принятия решений, информационные технологии

Графическая аннотация (Graphical annotation)



PROJECT PORTFOLIO MANAGEMENT OF DYNAMIC INNOVATION PROJECTS IN PRODUCTION SYSTEMS

The article was received by editorial board on 30.04.2019, in the final version – 18.05.2019.

Mylnikov Leonid A., Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail leonid.mylnikov@pstu.ru

In production systems, the implementation and management of projects is connected with high risks which lead to inaccurate and late managerial decisions. Such mistakes occur while by planning the release of innovation projects due to their lower life cycle, weakly predicted demand, science and resource intensive character, and challenging construction. The aim of the paper is to enhance the efficiency of planning and managing innovation project portfolio by taking into account the time factor and bringing internal processes of production system into synchronization with its external processes. In the study, we design and use adaptive models, which are obtained on the base of retrospective data about system performance. The outcome of the study is a methodology that allows to narrow decision selection area and develop adaptive models for selecting and ranging the area of potential decisions in management tasks and production environment planning. The efficiency of the developed methodology was successfully tested on retrospective data. In practice, the conducted study allows to decrease project implementation time, increase the number of successfully implemented projects, cut implementation expenses for open market-oriented projects with weakly predicted demand and in the situation, when the income of production systems is increasing.

Keywords: model, innovation project, project portfolio, production system, management, planning, decision making support

Введение. Вопросы повышения эффективности функционирования производственных систем в условиях динамики внешней и внутренних сред стали изучаться вместе с появлением промышленного производства. Жизнеспособность современных производственных систем связана с необходимостью постоянного повышения их эффективности за счет выпуска инновационной продукции и повышения результативности функционирования самих производственных систем (ПрС) которую связывают с тремя факторами: 1) множество проектов, из которого формируется портфель продукции, выпускаемой в каждый момент времени. Отсюда вытекает задача оптимального формирования и управления таким портфелем; 2) синхронизация объема выпуска с потоком заказов; 3) оптимизация процесса организации производства под потребности рынка с учетом особенностей портфеля проектов и номенклатуры выпускаемой продукции. Экономическая эффективность является конкурентным преимуществом, которое получает та или иная ПрС на некоторое время. С появлением более эффективных методов управления и планирования преимущество переходит к тем системам, которые первыми удачно применили новые подходы на время, пока не появятся новые еще более совершенные методы или пока аналогичные методы не начнут использовать организации-конкуренты. Таким образом, появление адаптивных методов и моделей позволяет продлить время их эффективного использования за счет решения задач согласованности действий всех элементов производственного процесса и обеспечения адаптивности к изменяющимся внешним условиям. Эти вопросы в существующих публикациях исследованы недостаточно полно. Поэтому целью данной статьи является попытка исправить существующее положение.

Общая характеристика проблематики по теме работы. Особая значимость повышения эффективности производственной деятельности связана с внедрением программ Industry 4.0 (<https://www.plattform-i40.de>), Made in China 2025 (<http://english.gov.cn/2016special/madeinchina2025/>), Advanced Manufacturing (<https://www.manufacturing.gov>). Кроме того, вопросы повышения эффективности функционирования ПрС за счет использования актуальных данных и интеллектуальных методов отмечены в программе Национальной технологической инициативы РФ (<http://www.nti2035.ru>) и др.

Механизмом обеспечения особенно быстрого развития предприятия является выпуск инновационной продукции. При этом неудачное внедрение инновационных проектов может привести к разорению предприятия при неэффективной организации производства. Это связано с тем, что рынок, на котором работают современные производственные системы (особенно ориентированные на выпуск инновационной продукции), является чрезвычайно динамичным и конкурентным. Поэтому ошибки, связанные с управлением и планированием такими производственными системами, обретают эффект, непосредственно влияющий на их жизнеспособность.

Понятие проекта как чего-то нового и требующего активного изменения обстановки, в которой они реализуются, было сформировано Дж. Шумпетером [33]. Он ввел такое понятие, как «креативное разрушение», обратив тем самым внимание на то, что внедрение новых технологий требует перестройки устоявшихся технологических процессов в ПрС. Помимо этого, новая, современная продукция обладает все большей и большей наукоемкостью, конструктивной и технологической сложностью, большим количеством модификаций и даже индивидуальным производством под потребности конкретных заказчиков. Уникальные особенности реализации инновационных проектов рассматриваются в рамках устоявшихся в производственных системах процессов. Они отражены во многих работах, посвященных инструментальным методам исследования инновационного потенциала, экономическому и математическому моделированию инновационного планирования комплексного характера. Среди них необходимо выделить работы Ж. Тироля [35], М.А. Аль-Фаузана [10], О.Г. Голиченко [18], Э. фон Хиппеля [17], Г.Г. Гемондана [30].

Управление процессом планирования и выпуска проектов на практике оказывается сложно реализуемым, так как не на всех этапах процесс в достаточной степени формализован. На ранних этапах риски, связанные с реализацией проектов, крайне велики и не поддаются количественной оценке. При

рассмотрении задачи управления на удаленные во времени горизонты они увеличиваются еще больше. Среди методов управления экономической эффективностью ПрС в условиях ограниченных объемов данных и неопределённости стоит выделить такие работы, как теория портфелей, которую разработал Г. Марковиц [20]; теория ожидаемой полезности [27]; теория перспектив [36]; метод анализа иерархий [31]; множество методов и подходов для работы с мультикритериальными задачами (такие как VIKOR, TOPSIS, ELECTRE [32], PROMETHEE [11]); методы сценариев.

Разработанные методы и подходы управления ПрС имеют существенные ограничения применимости, так как не позволяют планировать во времени процесс реализации в них новых инновационных проектов. Использование таких подходов, как «управление по фактическим данным», «рефлексивное управление», «целевое управление» без учета динамики изменения среды, в которой функционирует ПрС, приводит к запаздыванию в реализации решений и проявляется в ошибках управления, приводящих к несогласованности действий подсистем и нарушениям производственных циклов во времени. На необходимость решения этой проблемы обратил внимание В.Н. Бурков [2], который ввел понятие «активный элемент» и разработал на его основе теорию активных систем. Ее развитием стал принцип открытого управления и теория организационных систем Д.А. Новикова [8]. Другими подходами, в рамках которых рассматривается указанная проблема, являются следующие: теория мультиагентных систем, которую применительно к управлению проектами впервые использовал Л. Пепалл [28]; теория производственных функций, заметный вклад в развитие которой внесли Ч. Кобб, П. Дуглас, Р. Аллен, Р. Солоу, Й. Хилхорст [9]; подходы, основанные на структурировании процессов управления и характеризующей их информации, которые связаны с именами Д. Россса, Э. Йордона [37], Г. Буча [12], М. Портера [29].

Развитие теории управления в ПрС привело к созданию методологии планирования и управления Just-in-time, метода OPT (Optimised Production), концепции компьютеризированного интегрированного производства CIM (Computer Integrated Manufacturing), методологий [1] Agile, Scrum, LEAN, Kanban, появлению стандартов управления проектами в рамках ISO/IEC, DIN и ГОСТ, рекомендаций PMI (Project Management Institute) и IPMA (International Project Management Association), появлению систем поддержки процессов управления производственными системами (MIS); контроля и управления производственными процессами (SCADA, MES); поддержки процессов поставок (SCM); сбыта и обеспечения производственных процессов (ERP, MRP, CRM); организации производства под известных потребителей (CSRP); управления жизненным циклом продукции (CALS) и процессом производства (WFMS).

В последнее время произошел резкий рост накапливаемых эмпирических данных, что дает преимущество методам машинного обучения. Последние позволяют строить модели на основе данных и, тем самым, учитывать специфические особенности рассматриваемых систем [3].

Современные исследования показывают, что процесс поддержки принятия управленческих решений не сводится к поиску оптимальных или хороших решений. Он является итерационным процессом, который сам требует формализации процессов обоснования выбора того или иного решения во времени. Это связано с тем, что движение к целевым показателям не является одношаговым процессом, а представляет собой траекторию взаимозависимых состояний. Целевые показатели изменяются во времени и могут представлять собой множество величин, связанных различными типами отношений [22]. Особенно это касается проектов, которые реализуются в конкурентной рыночной среде и являются приоритетными (проекты, необходимые для существования ПрС и влияющие на скорость их развития) [19]. В результате, процесс управления проектами в ПрС рассматривается как процесс пересмотра и обновления списка реализуемых проектов и ресурсов, выделяемых на их реализацию [13]. При этом задача управления проектами в производственных системах становится связанной с задачей управления производительностью и эффективностью производственных систем.

Использование прогнозов повышает эффективность производственной деятельности за счет подстройки динамики работы предприятия под внешние факторы рынка (поток заказов и новые проекты), а также синхронизации с ними загрузки оборудования, поставок материалов, комплектующих и оснастки для станков, учета изменений в продолжительности производственных процессов, инертности системы при оказании на нее управляющих воздействий, превентивного изготовления продукции при неравномерной загрузке под будущий спрос, точного планирования энергопотребления и т.д.

Достижимые при этом экономические эффекты связаны с уменьшением величины связанных средств за счет уменьшения складских запасов готовой продукции и материалов, уменьшения величины закладываемых средств на неотложные нужды за счет использования плавающих периодов обслуживания оборудования и учета его особенностей при производстве, обеспечения равномерности загрузки производственных ресурсов.

Наибольшие экономические эффекты от управления объемами выпуска продукции наблюдаются на таких типах предприятий: имеющих в своем портфеле нефиксированную долю заказа продукции; работающих на открытый рынок. На тех предприятиях, на которых высоко влияние внешней среды на процессы производства, имеется зависимость работы оборудования и протекания технологических процессов от фактора времени.

Методология решения задачи. Постановка задачи. Представим целевые показатели вектором P_a , а текущее состояние ПрС – вектором P_p . В результате получим измеримую метрику P_p, P_a , характеризующую отклонение текущей позиции ПрС от целевой. Эта метрика позволяет оценить степень успешности реализации плана (окончания реализации, $P_p - P_a \leq \varepsilon$, где ε – точность). Другие параметры задачи управления могут быть описаны для шага управления i следующими группами параметров: 1) параметрами, характеризующими текущее состояние $P_p^{(i)}$; 2) управляющим воздействием $A^{(i)}$ в состоянии $q^{(i)}$; 3) целевым состоянием $P_a^{(i+1)}$; 4) результатом деятельности системы по переходу из состояния $P_p^{(i)}$ в $P_p^{(i+1)}$ для моментов времени $T^{(i)}$ (точки принятия решений).

Управляющее воздействие будем искать для производственной системы Ψ [16], которую представим в виде кортежа: $\Psi = Y, P_p, P_a, T, W, q$, где $W = w_1, w_2, \dots, w_n$ – вектор проектов; Y – модель системы по группе параметров $Y = Y^{(1)} \cup \dots \cup Y^{(i)} \cup \dots \cup Y^{(m)}$, где m – количество параметров модели; P_p – конечное множество состояний системы; P_a – вектор целевых состояний системы; T – вектор точек принятия решений (время); q – состояние системы [23].

Задача поиска решения для кортежа Ψ является разрешимой, если множества значений параметров Y, P_p, P_a, T, W, q и их дополнения перечислимы. Это возможно, если на каждом шаге i работать с ограниченным множеством проектов P , рассматривать ограниченное множество состояний P_p и P_a , ограниченный набор моделей для поиска каждого шага Y , дискретное время T с заданным горизонтом планирования и ограниченное множество состояний производственной системы.

Тогда задача управления портфелем проектов сводится к построению модели производственной системы для формирования конечного множества возможных состояний, формирования множества проектов для продуктовой корзины, определения точек принятия решений и горизонта планирования. Ниже эти подзадачи рассматриваются последовательно.

Построение модели производственной системы. Реализация модели (ее структура) и получение решения определяются особенностями производства и процесса принятия решений на конкретном предприятии. Собственно реализация состоит из задач планирования и обеспечения производственной деятельности. Учитывая требование перечислимости получаемого множества решений, получаем ограничение на способ формализации задач. Наиболее распространенным подходом для работы с множеством состояний и поиска множества оптимальных решений (Парето оптимального множества) являются методы системного анализа.

Учитывая тот факт, что организация производства начинается с решения задачи планирования на различные горизонты по времени, задача объемно-календарного планирования в постановке, учитывающей фактор времени и изменения в портфеле проектов, может выступать в качестве ключевой. Примем, что для производства единицы продукции w требуется $V_{l,w}$ материала типа l , а стоимость перехода с выпуска товара w_1 на товар w_2 равна m_{w_1, w_2} . Тогда задача нахождения продуктового портфеля для производственной организации на шаге $i + 1$ на основе продуктового портфеля для шага i может выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}
 & \max_{k=1 \dots K, w=1 \dots W} C_w(i+1) - Y_w(i+1) \cdot x_{k,w}(i+1) - \sum_{k=1 \dots K, w_1=1 \dots W, w_2=1 \dots W} (m_{w_1, w_2} \cdot H(x_{k,w_1}(i) \wedge x_{k,w_2}(i+1))) \rightarrow \max, \\
 & x_{k,w}(i+1) \cdot V_{l,w} \leq V_l(i), \forall l, \\
 & x_{k,w}(i+1) \leq U_{k,w}(i+2), \forall w, k, \\
 & x_{k,w}(i) \leq Z_w(i+2), \forall w, \\
 & CF_1(i+1) + CF_2(i+1) + CF_3(i+1) = \sum_{w=1 \dots W} Y_w(i+1), \\
 & CF_4(i+2) = \sum_{k=1 \dots K, w=1 \dots W} C_w(i+1) \cdot x_{k,w}(i+1), \\
 & x_{k,w}(i+1) \geq 0, \forall w, k,
 \end{aligned}$$

где V_l – объем материала l на складе (если снять это ограничение, то, исходя из найденного $x_w(i+1)$, можно определить потребность); $H(x)$ – единичная функция; Z_w – прогноз потока заказов; k – номер производственной линии; $U_{k,w}$ – максимальная производственная мощность для товара w на линии k ; $Y_w(t)$ – стоимость производства единицы товара w , если товар уже выпускался, или объем инвестиций, необходимый для организации его выпуска (перехода на его выпуск).

Реализация проектов оказывается связанной с решением задач обеспечения производственной деятельности ресурсами (рис. 1).

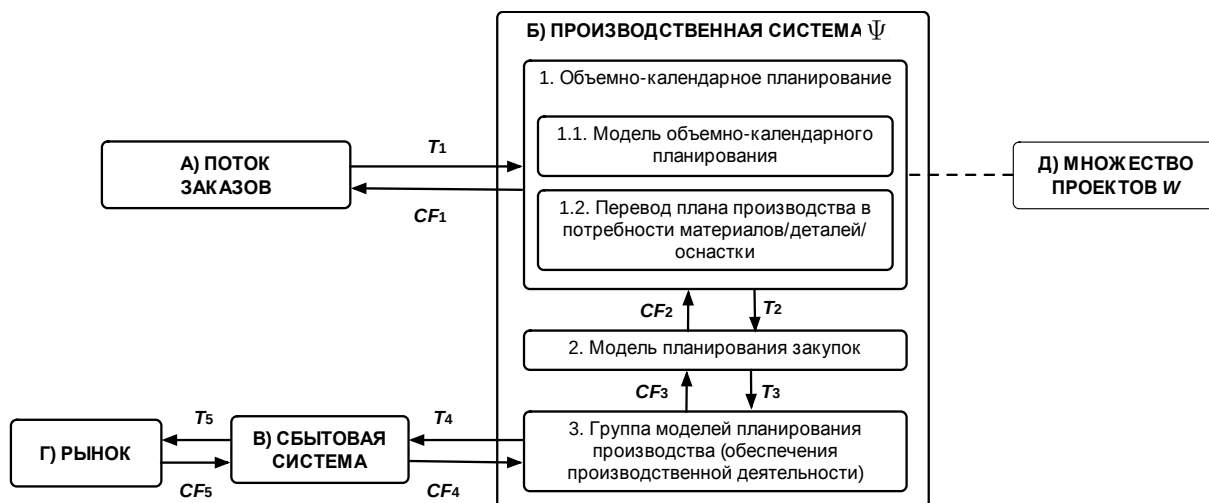


Рисунок 1 – Схема учета времени протекания процессов при прохождении проекта по производственной цепочке (T_1 – время, необходимое для разработки плана реализации проекта; T_2 – время, необходимое для поставки необходимых комплектующих и материалов; T_3 – время, необходимое для производства; T_4 – время, необходимое для вывода на рынок; T_5 – время, необходимое для продажи; CF_1 – затраты на внедрение в производство (инвестиции [21]); CF_2 – средства на комплектующие и материалы; CF_3 – производственные расходы; CF_4 – средства, полученные производственной системой; CF_5 – средства от продажи на рынке)

Тогда решение вышеприведенной задачи определения объема производства по каждому из типов продукции будет выступать как исходные данные для решения других связанных задач (организации производства, закупок и т.д.). При этом для синхронизации процессов необходимо получение этих значений на величину шага по времени, опережающего сроки поставки материалов (сырья), комплектующих и оснастки оборудования; времени переналадки технологического оборудования, отправки заявок на потребление энергии и т.п.

Такое использование прогнозов позволяет произвести объединение моделей в виде рекуррентной зависимости на основании общих переменных:

$$X(0) = \text{текущие значения параметров и переменных,}$$

$$X(i+1) = -(A M(X(i)) A^T)^{-1} A M E,$$

где X – матрица значений параметров управления; A – матрица инцидентности, показывающая взаимосвязи между элементами модели; M – матрица используемых внутри общей модели субмоделей; E – единичная матрица или матрица дополнительных воздействий и отклонений (моделирующая форс-мажорные ситуации).

Множество возможных состояний производственной системы. Процесс управления и планирования производственной системой стоит рассматривать в рамках процессного подхода, который, по мнению современных ученых, характеризуется ограниченным набором действий, перечнем возможных начальных условий и результатов.

Решением задачи в этом случае становится множество возможных взаимосвязанных состояний развития (траекторий) производственной системы:

$$q^{(i)}_{I^{(i)}, P^{(i)}, R^{(i)}} \quad q^{(i+1)}_{I^{(i+1)}, P^{(i+1)}, R^{(i+1)}} \quad q^{(i+2)}_{I^{(i+2)}, P^{(i+2)}, R^{(i+2)}} \quad q^{(i+3)} \quad \dots,$$

где i – номер шага планирования/время до горизонта планирования Γ ; I – множество ресурсов (инвестиций), необходимое для осуществления перехода (складывается из CF_1 , CF_2 и CF_3); R – оценка риска, связанная с осуществлением перехода; P – потенциальная прибыль (выгоды), ожидаемая от реализации перехода.

Множество проектов. Формирование множества потенциальных проектов и возможных модификаций на данный момент не может быть автоматизировано и происходит в ручном режиме путем проведения НИОКР, мониторинга рынка новых инновационных проектов через конкурсы и заявки в фонды. Таким образом, данное множество априори является исчислимым.

Точки (моменты) принятия решений и горизонт планирования. Между элементами системы и внешней обстановкой может возникать эффект запаздывания. Преодолеть этот эффект можно использованием прогнозов при решении задач планирования, т.е. реализацией принципа Just-in-Time на основании прогнозов. Устранение разрывов между действиями подсистем производственной системы

становится возможным, если при составлении планов выбрать «нулевую» точку (например, текущий момент и задачу, соответствующую ему – например «1» на рисунке 1). Тогда становится понятно, на какой период необходимо прогнозирование (например, для рынка этот период должен быть удален во времени от текущего момента не менее чем на $T_2 + T_3 + T_4 + T_5$).

Решение задачи управления во времени предполагает корректировку целевых показателей и самой цели, так как в процессе движения к ней меняются условия, в которых функционирует система, наблюдается изменение приоритетов у лиц, принимающих решения. Могут наступать события, которые не были предусмотрены при планировании. Тогда при рассмотрении процесса управления в динамике как непрерывного процесса необходимо говорить о программно-ситуативном управлении и планировании на переменный горизонт планирования, т.е. на время, которое будет зависеть от состояния внешней среды и данных, с которыми связаны уже реализованные управленческие решения.

Особенностью, связанной со временем, является то, что шаг времени Δt между шагами планирования i является переменной величиной (т.е. $\Delta t_i = T^{(i+1)} - T^{(i)}$ – функция от времени, значения которой определяются особыми точками на параметрах управления X).

Шаг по времени является величиной, зависимой от тех параметров, которые не подвержены управлению субъекта управления. Такими параметрами являются внешние по отношению к производственной системе факторы, связанные с рынком по каждому из типов продукции в продуктовом портфеле ($T_{1,w}, T_{2,w}, T_{3,w}, T_{4,w}$ см. рисунок 1) и проектами (появление новых проектов/вариантов продукции), а также требования регламентов к протекающим внутренним процессам (регламенты технического обслуживания оборудования, выходы оборудования из строя, недополучение ресурсов); особенностям изменения характеристик; дополнительной информации, характеризующей текущее состояние системы $q^{(i)}$.

Сам факт принятия решения об изменениях в работе производственной системы не означает немедленного изменения всех процессов, протекающих в ней, так как ПрС обладает инертностью, связанной с изменением работ, выполняемых на предприятии. Это является ограничением для слишком частого изменения плана производства, даже если это экономически обосновано. Минимальный горизонт планирования Γ должен быть не меньше времени, необходимого для осуществления изменений τ , а оптимальное время оперативного планирования может быть получено из выражения [4]:

$$\mathbb{J} \Delta t = \arg \max_{t \leq \Delta t \leq T} \int_t^{t+\Delta t} (J(t+\Delta t) - J(t)) d\Delta t,$$

где T – горизонт времени рассматриваемого процесса; t – текущее время; $J(t)$ – критерий.

Решение задачи. Общая схема решения задачи управления. Учитывая предъявленные требования к формализации процесса принятия решения при управлении портфелем проектов производственной системы, структура и последовательность работы модели с учетом перечисленных выше факторов примет вид, приведенный на рисунке 2.

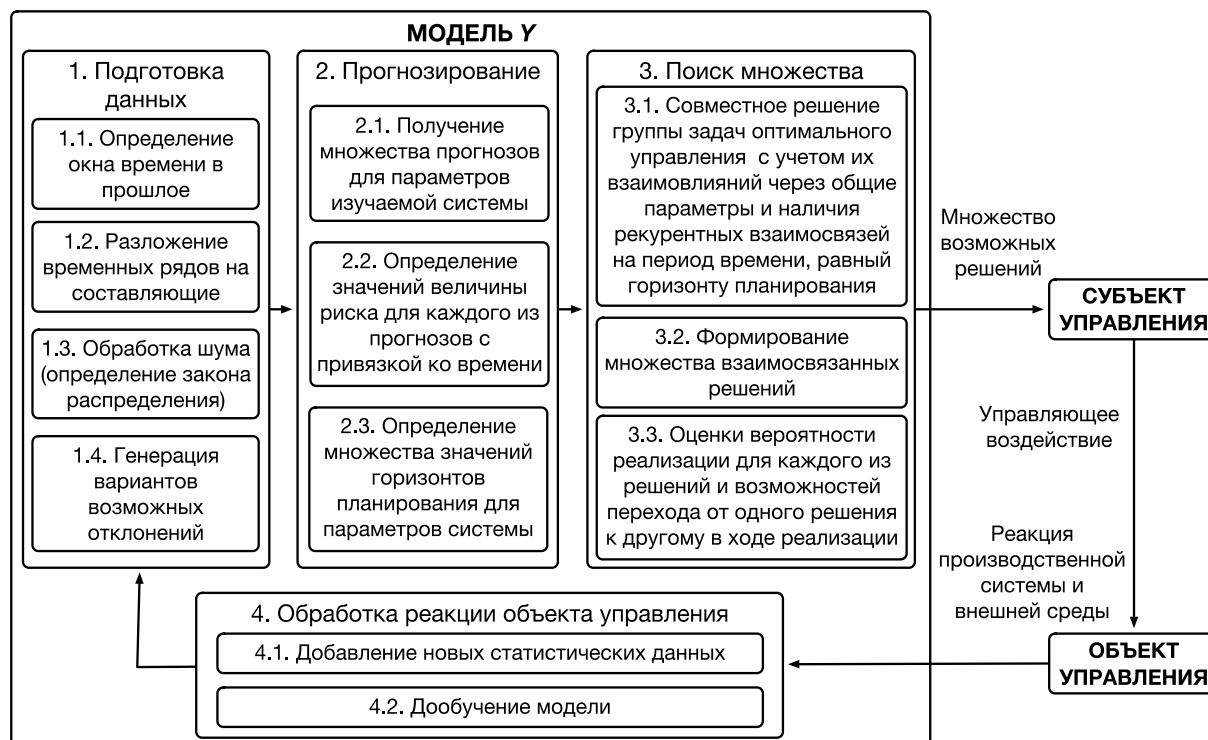


Рисунок 2 – Структурная схема модели для решения задачи управления инновационными проектами в ПрС

Решение задачи прогнозирования. Значение прогнозируемого параметра x_j будем искать в виде $x_j = g_j(i) + \varepsilon_j(i)$, где $g_j(i)$ – функция, которой мы будем заменять статистические данные и использовать для предсказания их значений в будущие периоды для i -го параметра; ε_j – величина ошибки.

Значения временного ряда могут быть разложены на периодическую, трендовую и остаточную составляющие: $g(i) = g_{\text{периодическая}}(i) + g_{\text{трендовая}}(i) + g_{\text{остаточная}}(i)$.

Каждая из этих составляющих прогнозируется отдельно. Для построения модели используются ретроспективные данные и окно времени (T_i , рис. 3а). Периодическая составляющая прогнозируется с помощью рядов Фурье, вейвлет-анализа или рекуррентных методов (авторегрессия, рекуррентные методы машинного обучения), тренды – с помощью специальных методов, учитывающих особенности их изменения (например, для экономических параметров – это инновационная и S-образная кривые [5]), а остаток (не описываемый периодической и трендовой составляющими) [14] – с помощью методов регрессии или машинного обучения.

Для описания величины ε_j проводим проверку ее соответствия одному из законов распределения (нормальное, гамма, Лапласа и т.п.). Каждому из распределений соответствует функция принадлежности. Следовательно, задачу можно перевести в нечеткую форму [6], взяв условно за достоверное значение прогнозное значение и построив функцию распределения вокруг него.

При соответствии ε_j нормальному закону распределения для перевода данных прогнозов $g(i)$ в нечеткую форму (фаззификации) можно использовать Гауссову функцию: $\mu_{g_j(i)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_g - g_j(i))^2}{2\sigma^2}}$, где $\mu_{g_j(i)}$ – функция принадлежности; $g(i)$ – значение прогноза для i -го параметра; x_g – диапазон отклонений прогнозируемой величины.

Решение задачи определения горизонта планирования. Разобьем статистическую выборку на два участка – тренировочный и тестовый, построим модель прогнозирования на тренировочном участке и проверим ее работу на тестовом. В результате может быть вычислена оценка риска $r = 1 - \frac{a}{a^*}$, где a – прогнозное значение; a^* – точное (ретроспективное значение). Рассматривая прогноз как последовательность значений с шагом Δt , можно получить интегральное значение величины оценки риска. В этом случае величина риска становится зависимой от величины риска на предыдущих этапах: $r(q_j^{(0)}, q_j^{(1)}, \dots, q_j^{(m)}) = r(q_j^{(1)} | q_j^{(0)}), \dots, r(q_j^{(m)} | q_j^{(m-1)})$, где j – номер оцениваемого параметра.

Оценка риска есть функция вероятности $r(P)$ [15], которая показывает вероятность выхода запланированных значений за доверительный интервал. Ее можно трактовать как $P = 1 - r$.

Тогда риск достижения предельных значений функции риска, заданной таблично, нужно рассматривать как цепочку взаимосвязанных событий. Учитывая то, что вероятность для взаимосвязанных событий/состояний $q^{(1)}$ и $q^{(2)}$ при условии, что $q^{(2)}$ наступает после $q^{(1)}$, будет равна $P(q^{(1)}q^{(2)}) = P(q^{(1)}) + P(q^{(2)}) - P(q^{(1)})P(q^{(2)})$, получаем $r(q^{(1)} | q^{(2)}) = 1 - P(q^{(1)}) = 1 - r(q^{(1)}) + 1 - r(q^{(2)}) - r(q^{(2)}) - r(q^{(1)}) + r(q^{(1)})r(q^{(2)}) = 2 - 2r(q^{(2)}) - 2r(q^{(1)}) + r(q^{(1)})r(q^{(2)})$.

Определение такой величины риска (накопительным итогом) позволяет выбрать величину горизонта планирования, опираясь на значение величины оценки риска, которая в определенный момент начинает резко расти (рис. 3б).

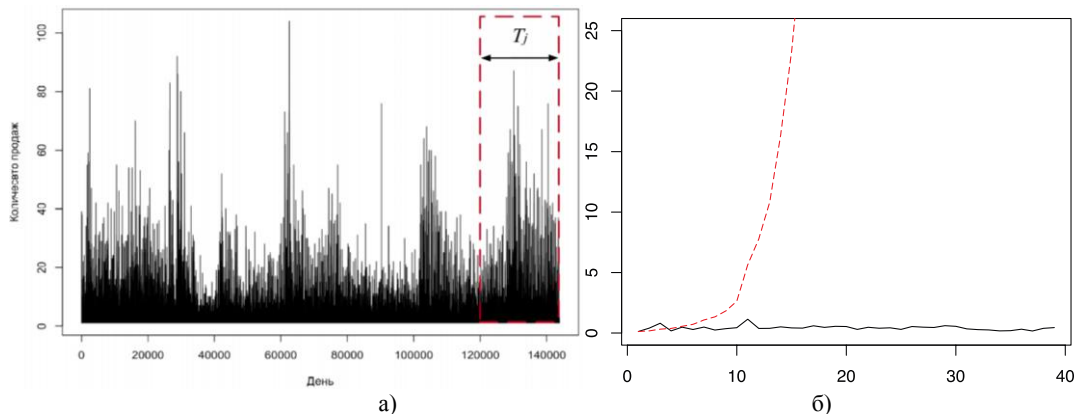


Рисунок 3 – Решение задачи объемно-календарного планирования: а) пример прогнозируемых значений и окно времени (набор ретроспективных данных), используемое для прогноза; б) оценка значения величины риска (сплошная линия – моментальные значения, пунктирная линия – накопительная, зависящая от предыдущего значения оценки) [24]

Формирование множества решений. Перевод в нечеткую форму данных прогнозирования позволяет учитывать неопределенности, связанные с прогнозированием значений, и исключить необходимость исследования модели управления на ее зависимость от ошибок прогнозирования (проведения многочисленных расчетов). Отсутствие допущений и упрощений в ходе решения позволяет определить каждое значение как функцию принадлежности. В свою очередь это позволяет определять отдельные значения и диапазоны значений, появление которых наиболее вероятно, исходя из точности прогнозирования. Получение результатов подобным образом наиболее ценно в ПрС, в которых управляющее воздействие формируется человеком на основании данных анализа возникающей ситуации и ее динамики.

Решая сформулированную задачу с использованием шага по времени (принцип $\Delta t(i)$) в нечеткой форме, получим функцию от времени, заданную таблично (рис. 4а). Анализ возможных отклонений в производственном плане позволяет определить диапазон возможных отклонений потребностях в деталях и комплектующих (рис. 4б). При этом при сравнении с ретроспективными данными (сплошная линия на рисунке 4а) можно увидеть повышение эффективности работы ПрС при горизонте планирования в 10 шагов по времени ($i = 10$, рис. 3б) от 15 % при пессимистичном варианте до 37 % при оптимистичном варианте.

Практическая апробация на ретроспективных данных ПрС показала повышение эффективности функционирования за счет планирования производственной деятельности на 10–30 %.

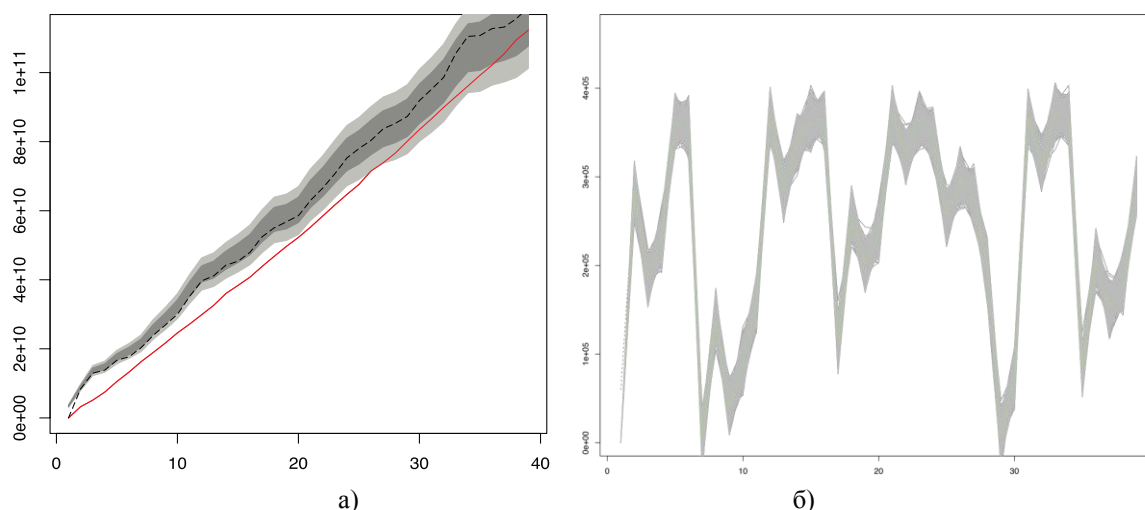


Рисунок 4 – Оценка диапазона возможных отклонений значений при решении задачи объемно-календарного планирования [6]: а) значения критериальной функции, полученной с использованием прогнозов – черная пунктирная линия; значения критериальной функции, полученные при использовании нечетких чисел – серая область (темно-серая область – наиболее вероятная область значений); реальные ретроспективные значения – красная сплошная линия; б) значения возможного изменения в потребностях одного из ресурсов при решении задачи объемно-календарного планирования производства

Использование нечетких чисел приводит к тому, что критерий и ограничения переходят в нечеткую форму и могут в некоторых случаях нарушаться. Это будет сигнализировать о необходимости проведения изменений производственной базы, в некоторых случаях графика поставок, периодов технического обслуживания оборудования и т.п. Переход в нечеткую форму исключает необходимость проведения дополнительных исследований, связанных с коридором возможных отклонений, так как это учитывается в самой форме задания и методе решения. Кроме того, в связи с тем, что ограничения переходят в нечеткую форму, они заменяются барьерными функциями. Такая замена осуществляется на основе функций принадлежности, которые начинают резко увеличивать свое значение в случае превышения граничного значения при решении задачи на минимизацию или уменьшать свои значения при решении задачи на максимизацию. Поэтому такие ограничения могут быть добавлены в критериальную функцию.

При решении задач оптимального управления ответ будет представлять собой таблично заданную функцию. Согласно теореме Байеса, вероятность успешного перехода в новое состояние будет зависеть от предыдущего состояния (состояния, в котором находится объект/система управления). Для выбора траектории развития ПрС (выработки управляющего воздействия $A^{(i)}$) целесообразно формировать множество возможных решений (Парето-оптимальное множество [34]), из которых и осуществлять выбор. В этом случае решением задачи будет множество траекторий развития, которые условно можно представить в виде дерева для каждого из искомых значений параметров. Это дерево можно рассматривать как байесовскую сеть (табл.). Приведенная таблица была получена при множественном решении за-

дачи планирования выпуска двух видов насосов (турбомолекулярного насоса и криогенного насоса) [25] на общей производственной базе. Полученные решения соответствуют комбинациям объемов выпуска изделий (мы применили для 20 шагов времени 100 расчетов в каждый момент времени).

Таблица – Матрица вероятностей состояний для шагов времени без учета их взаимозависимости во времени с ограничением средств производства согласно плану роста объема производства, полученного в результате бизнес планирования [25] (темно-серой заливкой выделены наиболее вероятные состояния, светло-серой – результаты, полученные в результате бизнес-планирования).

Номер шага (i)																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Вероятность, с которой система попадет в состояние $q^{(i)}$																			
0,95	0,93	0,91	0,85	0,82	0,01	0,01	0,71	0,75	0,69	0,65	0,53	0,54	0,64	0,02	0,02	0,52	0,02	0,01	0,01
0,03	0,03	0,01	0,04	0,01	0,80	0,77	0,02	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,52	0,45	0,01	0,02	0,43	0,48
0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
-	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,48	0,03	0,02
-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03
-	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
-	-	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
-	-	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
-	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
-	-	-	-	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01
-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
-	-	-	-	-	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01
-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Количество возможных состояний на шаге																			
3	5	9	11	11	15	18	20	20	22	27	39	34	26	35	39	39	35	39	41

В результате расчетов могут возникать ситуации, когда при изменении ограничений на ресурсы/средства производства выпуск единиц продукции существенно меняется. Например, сначала выпускается только один вид изделия, а затем мы начинаем выпуск еще и другого. Однако при наложении ограничений оптимальным становится выпуск только одного вида продукции. Такая ситуация говорит о важности правильного запуска процесса изменения с точки зрения процессов, происходящих внутри ПрС (показывает неэффективность частой смены производственных планов и важность получения точных прогнозов). Решением указанной ситуации может быть использование обратного подхода на основе выбранного плана на заданную дату – составление плана выхода на рынок на базе задачи объемно-календарного планирования и проведения маркетинговых исследований с опорой на неё. Также это позволяет ставить задачу выбора конкретного решения (траектории развития), основываясь на её выборе с учетом вероятностей осуществления реализации траекторий (табл.), и рассматривать ее подбор как задачу выбора на основе принципа оптимальности Беллмана. При этом в ходе реализации выбранного решения будут появляться новые данные о состоянии ПрС и обстановки, в которой она функционирует. Поэтому данные прогнозов будут уточняться, что потребует повторного решения задачи планирования и получения нового множества возможных траекторий развития. Таким образом, рассмотренная задача будет пересчитываться в точках принятия решений i и будет носить итерационный характер.

Разобранная в статье модель может быть усложнена путем совместного решения группы задач планирования и управления технологическими процессами с учетом фактора времени (см. блок 3 на рисунке 1). Тогда эффект от предложенного в статье подхода может быть увеличен за счет большей согласованности действий и учета запаздывания реакции одних процессов на изменения в других (например, см. учет инерции систем обеспечения паром, теплоснабжения [4], совместной работы единиц оборудования [26] и т.п.).

Заключение. Предложенный в статье подход связан с использованием прогнозов в задачах планирования, что позволяет учитывать фактор времени. Сформулированная методология не выдвигает требований к способу формализации модели, а опирается только на используемые параметры, данные прогнозирования и статистические данные, применяемые для построения моделей прогнозирования.

В статье рассмотрен способ учета взаимодействия ПрС, характеризующийся ограниченным набором действий и множеством состояний, с проектами и рынком на основе эмпирических моделей с учетом специфики ПрС, проектов и среды, в которых они развиваются. Учет специфики осуществляется на основе данных статистики, которые используются для построения прогнозов и ограничений сформулированной задачи объемно-календарного планирования.

На основе рассмотренной задачи предложен механизм управления портфелем инновационных проектов как множеством взаимосвязанных вариативных многофакторных процессов в ПрС на базе метода проведения сценарных расчетов траекторий развития проектов из портфеля ПрС и оценки эффекта от их портфельной реализации.

Таким образом, решается задача учета фактора времени и изменчивости ПрС и среды, в которой они функционируют. Это позволяет в задачах планирования и управления производственной деятельностью учитывать недетерминированные риски при реализации инновационных проектов на базе ПрС.

Предложенный в статье подход, связанный с использованием прогнозов в задачах планирования и управления и учетом оценок рисков в этих задачах, является развитием идей, заложенных такими учеными, как Ж. Тиролем, Г. Марковицем, Ж. Линтером, Ж. Моссиным. Однако в отличие от их работ предложенный подход позволяет учитывать фактор времени и определять горизонт планирования [7].

Библиографический список

1. Брумштейн Ю. М. Сравнительный анализ функциональности программных средств управления проектами, распространяемых по модели SaaS / Ю. М. Брумштейн, И. А. Дюдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4. – С. 34–51.
2. Бурков В. Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – Москва : Синтег, 1999. – 128 с.
3. Мыльников Л. А. Интеллектуальный анализ данных в управлении производственными системами (подходы и методы) / Л. А. Мыльников, Б. Краузе, М. Кютц, К. Баде, И. А. Шмидт. – Москва : БИБЛИО-ГЛОБУС, 2017. – 334 с.
4. Мыльников Л. А. Использование динамических предиктивных моделей для управления техническими системами с инертностью / Л. А. Мыльников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 26. – С. 77–91.
5. Мыльников Л. А. Подход к прогнозированию развития и управления жизненным циклом инвестиционных проектов / Л. А. Мыльников, Р. Х. Алкдиру // Управление большими системами. – 2009. – № 27. – С. 293–307.
6. Мыльников Л. А. Использование нечетких чисел в динамических предиктивных моделях для решения задач управления производственными системами / Л. А. Мыльников, М. В. Садахматов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2018. – № 1. – С. 562–565.
7. Мыльников Л. А. Способ выбора метода прогнозирования и горизонта планирования параметров с использованием оценки риска / Л. А. Мыльников, А. Б. Селедкова // Информационные технологии. – 2018. – № 2 (24). – С. 97–103.
8. Новиков Д. А. Комплексные модели системной оптимизации производственно-экономической деятельности предприятия / Д. А. Новиков // Управление большими системами : сборник трудов. – 2017. – № 65. – С. 118–152.
9. Туккель И. Л. Управление инновационными проектами / И. Л. Туккель, А. В. Сурина, Н. Б. Культин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
10. Al-Fawzan M. A. A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling / M. A. Al-Fawzan, M. Haouari // International Journal of Production Economics. – 2005. – № 2 (96). – P. 175–187.
11. Behzadian M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications / M. Behzadian [et al.] // European Journal of Operational Research. – 2010. – № 1 (200). – P. 198–215.
12. Booch G. Object-oriented analysis and design with applications / G. Booch. – 2nd ed. – Redwood City, Calif : Benjamin/Cummings Publ. Co, 1994. – 589 p.
13. Buchmann J. Valuing the innovation potentials of firms: what theory suggests, practitioners do, and both implies for existing theory / J. Buchmann. – Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. – 239 p.
14. Cleveland R. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess / R. Cleveland [et al.] // Journal of Official Statistics. – 1990. – № 1 (6). – P. 3–33.
15. Esposito F. P. Multiple Hypothesis Testing of Market Risk Forecasting Models: MHT of Market Risk Forecasting Models / F. P. Esposito, M. Cummins // Journal of Forecasting. – 2016. – № 5 (35). – P. 381–399.
16. Faizrahmanov R. A. The foundations of modeling management processes for innovation projects in production-economics systems / R. A. Faizrahmanov, L. A. Mylnikov // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2016. – № 3 (50). – P. 84–90.
17. Gault F. The Prevalence of User Innovation and free Innovation Transfers / F. Gault, E. von Hippel // Implications for Statistical Indicators and Innovation Policy. MIT Sloan School of Management Working Paper #4722-09. – 2009.

18. Golichenko O. G. The National Innovation System: From Concept to Research Methodology / O. G. Golichenko // Problems of Economic Transition. – 2016. – № 5 (58). – P. 463–481.
19. Kaschny M. Innovationsmanagement im Mittelstand: Strategien, Implementierung, Praxisbeispiele / M. Kaschny, M. Nolden, S. Schreuder. – Wiesbaden : Springer Gabler, 2015. – 419 p.
20. Markowitz H. Portfolio Selection / H. Markowitz // The Journal of Finance. – 1952. – № 1 (7). – P. 77–91.
21. Mezhev S. Specifics of Project Management in Industrial Innovation / S. Mezhev, L. Mylnikov // Proceedings of International Conference on Applied Innovations in IT. – 2018. – № 1 (6). – P. 103–108.
22. Mia L. Manufacturing strategy and organisational performance: The role of competition and MAS information / L. Mia, L. Winata // Journal of Accounting & Organizational Change. – 2014. – № 1 (10). – P. 83–115.
23. Mylnikov L. Production planning with parameters on the basis of dynamic predictive models: Interconnection and the inertness of their interaction / L. Mylnikov, R. Fayzrakhmanov // European Research Studies Journal. – № 2 (21). – P. 256–281.
24. Mylnikov L. The risk assessment method in prognostic models of production systems management with account of the time factor / L. Mylnikov, M. Kuetz // European Research Studies Journal. – 2017. – № 3 (20). – P. 291–310.
25. Mylnikov L. The Use of Optimal Management Tasks for Verification and Adjustment of New Product Release Planning in Discrete Production Systems / L. Mylnikov, D. Vershinin, D. Fatkhullin. – 2018. – P. 67–75.
26. Mylnikov L. A. The selection of optimal control of the operation modes of heterogeneous duplicating equipment based on statistical models with learning / L. A. Mylnikov, M. V. Kulikov, B. Krause // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – № 9 (9). – P. 1516–1526.
27. Neumann J. von, Morgenstern O. Theory of games and economic behavior / J. von Neumann, O. Morgenstern. – 60th anniversary ed. – Princeton, N.J. ; Woodstock : Princeton University Press, 2007. – 739 p.
28. Peppal L. Imitative Competition and Product Innovation in a Duopoly Model / L. Peppal // Economica. – 1997. – № 254 (64). – C. 265–279.
29. Porter M. E. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance: with a new introduction / M. E. Porter. – 1st Free Press ed. – New York : Free Press, 1998. – 557 p.
30. Ritter T. Network competence / T. Ritter, H. G. Gemünden // Journal of Business Research. – 2003. – № 9 (56). – P. 745–755.
31. Saaty T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation / T. L. Saaty. – New York ; London : McGraw-Hill International Book Co, 1980. – 287 p.
32. Saracoglu B. O. An Experimental Research Study on the Solution of a Private Small Hydropower Plant Investments Selection Problem by ELECTRE III/IV, Shannon's Entropy, and Saaty's Subjective Criteria Weighting / B. O. Saracoglu // Advances in Decision Sciences. – 2015. – P. 1–20.
33. Schumpeter J. A. Capitalism, socialism and democracy / J. A. Schumpeter, R. Swedberg. – Transferred to digital print-e, edition. – London : Routledge, 2005. – 437 p.
34. Taha H. A. Operations research: an introduction / H. A. Taha. – 7th ed-e, edition Upper Saddle River. – N.J. : Prentice Hall, 2003. – 830 p.
35. Tirole J. The theory of industrial organization / J. Tirole. – Cambridge, Mass : MIT Press, 1988. – 479 p.
36. Tversky A. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty / A. Tversky, D. Kahneman // Journal of Risk and Uncertainty. – 1992. – № 5(4). – P. 297–323.
37. Mainstream objects: an analysis and design approach for business / ed. by E. Yourdon. – Upper Saddle River. – NJ : Yourdon Press, Prentice Hall Building, 1995. – 331 p.

References

1. Brumshteyn Yu. M., Dudikov I. A. Sravnitelnyy analiz funktsionalnosti programmnykh sredstv upravleniya proektami, rasprostranjeniyami po modeli SaaS [The comparative analysis of opportunities project management system distributed by SaaS model]. *Prikladnyy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 4, pp. 34–51.
2. Burkov V. N., Novikov D. A. *Teoriya aktivnykh sistem: sostoyaniye i perspektivy* [Active systems theory: state and prospects]. Moscow, Sinerg, 1999.
3. Mylnikov L. A., Krause B., Kuetz M., Bade K., Shmidt I. A. (2017). *Intellektualnyy analiz dannykh v upravlenii proizvodstvennyimi sistemami (podhody i metody)* [Intelligent data analysis in production system management (approaches and methods)]. Moscow, BIBLIO-GLOBUS, 2017. 334 P.
4. Mylnikov L. A., Gergel N. A., Kychkin A. V., Krause B. Ispolzovanie dinamicheskikh prediktivnykh modeley dlya upravleniya tekhnicheskimi sistemami s inertnostyu [Use of dynamic predictive models to control inert technical systems]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Electrical Engineering, Information Technologies, Control Systems], 2018, no. 26, pp. 77–91.
5. Mylnikov L. A., Alkdirov R. H. Podkhod k prognozirovaniyu razvitiya i upravleniya zhiznennym tsiklom investitsionnykh proektov [Approach to predicting the development and life cycle management of investment projects]. *Upravlenie bolshimi sistemami* [Large System Management], 2009, no. 27, pp. 293–307.
6. Mylnikov L. A., Sadiakhmatov M. V. Ispolzovanie nechetkikh chisel v dinamicheskikh prediktivnykh modelyakh dlya resheniya zadach upravleniya proizvodstvennyimi sistemami [Use of fuzzy numbers of dynamic predictive models to solve production system control problems]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam* [International Conference on Soft Computing and Measurement], 2018, no. 1, pp. 562–565.

7. Mylnikov L. A., Seledkova A. B. Sposob vybora metoda prognozirovaniya i gorizonta planirovaniya parametrov s ispolzovaniem otsenki riska [Method of choice of forecasting method and parameter planning horizon using risk assessment]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2018, no. 24 (2), pp. 97–103.
8. Novikov D. A. Kompleksnye modeli sistemnoy optimizatsii proizvodstvenno-ekonomicheskoy deyatel'nosti predpriyatiya [Complex models of system optimization of production and economic activity of the enterprise]. *Upravlenie bolshimi sistemami : sbornik trudov* [Large System Management : Proceedings], 2017, no. 65, pp. 118–152.
9. Tukkel I. L., Surina A. V., Kultin N. B. *Upravlenie innovatsionnymi proektami* [Innovation project management]. St Petersburg, BHV-Peterburg, 2011.
10. Al-Fawzan M. A., Haouari M. A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling. *International Journal of Production Economics*, 2005, no. 96 (2), pp. 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.04.002>
11. Behzadian M., Kazemzadeh R. B., Albadvi A., Aghdasi M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 2010, no. 1 (200), pp. 198–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
12. Booch G. *Object-oriented analysis and design with applications*. 2nd ed. Redwood City, Calif, Benjamin/Cummings Publ. Co., 1994.
13. Buchmann J. *Valuing the innovation potentials of firms: what theory suggests, practitioners do, and both implies for existing theory*. Wiesbaden, Springer Gabler, 2015.
14. Cleveland R., Cleveland W., McRae J., Terpenning I. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *Journal of Official Statistics*, 1990, no. 1 (6), pp. 3–33.
15. Esposito F. P., Cummins, M. Multiple Hypothesis Testing of Market Risk Forecasting Models: MHT of Market Risk Forecasting Models. *Journal of Forecasting*, 2016, 35(5), pp. 381–399. <https://doi.org/10.1002/for.2381>
16. Fayzrakhmanov R. A., Mylnikov L. A. The foundations of modeling management processes for innovation projects in production-economics systems. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2016, no. 50 (3), pp. 84–90. <https://doi.org/10.3103/S000510551603002X>
17. Gault F., von Hippel E. The Prevalence of User Innovation and free Innovation Transfers. *Implications for Statistical Indicators and Innovation Policy. MIT Sloan School of Management Working Paper #4722-09*, 2009.
18. Golichenko O. G. The National Innovation System: From Concept to Research Methodology. *Problems of Economic Transition*, 2016, no. 58 (5), pp. 463–481. <https://doi.org/10.1080/10611991.2016.1225452>
19. Kaschny M., Nolden M., Schreuder S. *Innovationsmanagement im Mittelstand: Strategien, Implementierung, Praxisbeispiele*. Wiesbaden, Springer Gabler, 2015.
20. Markowitz H. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 1952, no. 7 (1), p. 77. <https://doi.org/10.2307/2975974>
21. Mezhov S., Mylnikov L. Specifics of Project Management in Industrial Innovation. *Proceedings of International Conference on Applied Innovations in IT*, 2018, no. 6 (1), pp. 103–108. <https://doi.org/10.13142/kt10006.32>
22. Mia L., Winata L. Manufacturing strategy and organisational performance: The role of competition and MAS information. *Journal of Accounting & Organizational Change*, 2014, no. 10 (1), pp. 83–115. <https://doi.org/10.1108/JAOC-10-2011-0048>
23. Mylnikov L., Fayzrakhmanov R. Production planning with parameters on the basis of dynamic predictive models: Interconnection and the inertness of their interaction. *European Research Studies Journal*, no. 21 (2), pp. 256–281.
24. Mylnikov L., Kuetz M. The risk assessment method in prognostic models of production systems management with account of the time factor. *European Research Studies Journal*, 2017, no. 20 (3), pp. 291–310.
25. Mylnikov L., Vershinin D., Fatkhullin D. *The Use of Optimal Management Tasks for Verification and Adjustment of New Product Release Planning in Discrete Production Systems*, 2018. <https://doi.org/10.13142/kt10006.27>
26. Mylnikov L. A., Kulikov M. V., Krause B. The selection of optimal control of the operation modes of heterogeneous duplicating equipment based on statistical models with learning. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, no. 9 (9), pp. 1516–1526.
27. Neumann J. von, Morgenstern, O. *Theory of games and economic behavior*. 60th anniversary ed. Princeton, N.J. ; Woodstock, Princeton University Press, 2007.
28. Peppal, L. Imitative Competition and Product Innovation in a Duopoly Model. *Economica*, 1997, no. 64 (254), pp. 265–279. <https://doi.org/10.1111/1468-0335.00077>
29. Porter M. E. *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance: with a new introduction*. New York, Free Press, 1998, p. 557.
30. Ritter T., Gemünden H. G. Network competence. *Journal of Business Research*, 2003, no. 56 (9), pp. 745–755. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(01\)00259-4](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(01)00259-4)
31. Saaty T. L. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York ; London, McGraw-Hill International Book Co., 1980.
32. Saracoglu B. O. An Experimental Research Study on the Solution of a Private Small Hydropower Plant Investments Selection Problem by ELECTRE III/IV, Shannon's Entropy, and Saaty's Subjective Criteria Weighting. *Advances in Decision Sciences*, 2015, no. 1–20. <https://doi.org/10.1155/2015/548460>
33. Schumpeter J. A., & Swedberg R. *Capitalism, socialism and democracy* (Transferred to digital print). London, Routledge, 2005.
34. Taha H. A. *Operations research: an introduction*. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 2003. 830 p.
35. Tirole J. *The theory of industrial organization*. Cambridge, Mass, MIT Press, 1988.
36. Tversky A., Kahneman D. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, no. 5(4), pp. 297–323.
37. Yourdon E. (ed.) *Mainstream objects: an analysis and design approach for business*. Upper Saddle River, NJ, Yourdon Press, Prentice Hall Building, 1995.

УДК 614.2+616-036.21-039.4-053.8(47+57) + 004.02

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНДЕКСА НАЛИЧИЯ ПРОБЛЕМЫ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ
НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА
И КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Статья поступила в редакцию 16.05.2019, в окончательном варианте – 25.05.2019.

Кожевников Андрей Александрович, Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 654005, Российская Федерация, Кемеровская область, г. Новокузнецк, пр. Строителей, 5,

кандидат социологических наук, преподаватель кафедры «Организация здравоохранения и общественное здоровье», e-mail: nvkz2004@rambler.ru

Данцигер Дмитрий Григорьевич, Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 654005, Российская Федерация, Кемеровская область, г. Новокузнецк, пр. Строителей, 5,

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой «Организация здравоохранения и общественное здоровье», e-mail: organzdrav@mail.ru

Часовников Константин Викторович, Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 654005, Российская Федерация, Кемеровская область, г. Новокузнецк, пр. Строителей, 5,

кандидат медицинских наук, доцент кафедры «Организация здравоохранения и общественное здоровье», e-mail: postmastergiduv@rambler.ru

В статье представлен метод информационного обеспечения принятия управленческих решений в сфере здравоохранения на основе математического экспресс-анализа статистических показателей заболеваемости населения, которые рассмотрены в сравнении по территориям и периодам времени. Анализ заболеваний ведущих нозологических форм, характерных для области, федерального округа и страны, проводился с помощью расчёта индекса наличия проблемы. В математическом отношении он основан на использовании метода взвешенных сумм. Установлено, что это позволило не только учитывать факторы риска и динамику показателей, но и путём их приведения к единой размерности ранжировать по зонам риска. На уровне федерального округа в сфере здравоохранения выявлены проблемы, решение которых значительно повысит качество медицинских услуг, оказываемых населению.

Ключевые слова: анализ данных, заболеваемость, принятие решений, индекс наличия проблемы, система здравоохранения, социально-экономическая система, управление проектами, общественное здоровье

**APPLICATION OF THE INDEX OF EXISTENCE OF THE PROBLEM
IN THE COMPARATIVE ANALYSIS OF INCIDENCE OF THE POPULATION
OF RUSSIAN FEDERATION, SIBERIAN FEDERAL DISTRICT AND THE KEMEROVO REGION**

The article was received by editorial board on 16.05.2019, in the final version – 25.05.2019.

Kozhevnikov Andrei A., Novokuznetsk State Institute of Improvement of Doctors – branch of the FSBEI APE “Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of Russia, 5 Pr. Stroiteley, Novokuznetsk, Kemerov region, 654005, Russian Federation,

Cand. Sci. (Sociology), Lecturer at the Department of Health Organization and Public Health, e-mail: nvkz2004@rambler.ru

Dantsiger Dmitry G., Novokuznetsk State Institute of Improvement of Doctors – branch of the FSBEI APE “Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of Russia, 5 Pr. Stroiteley, Novokuznetsk, Kemerov region, 654005, Russian Federation,

Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department «Organization of Health Care and Public Health», e-mail: organzdrav@mail.ru

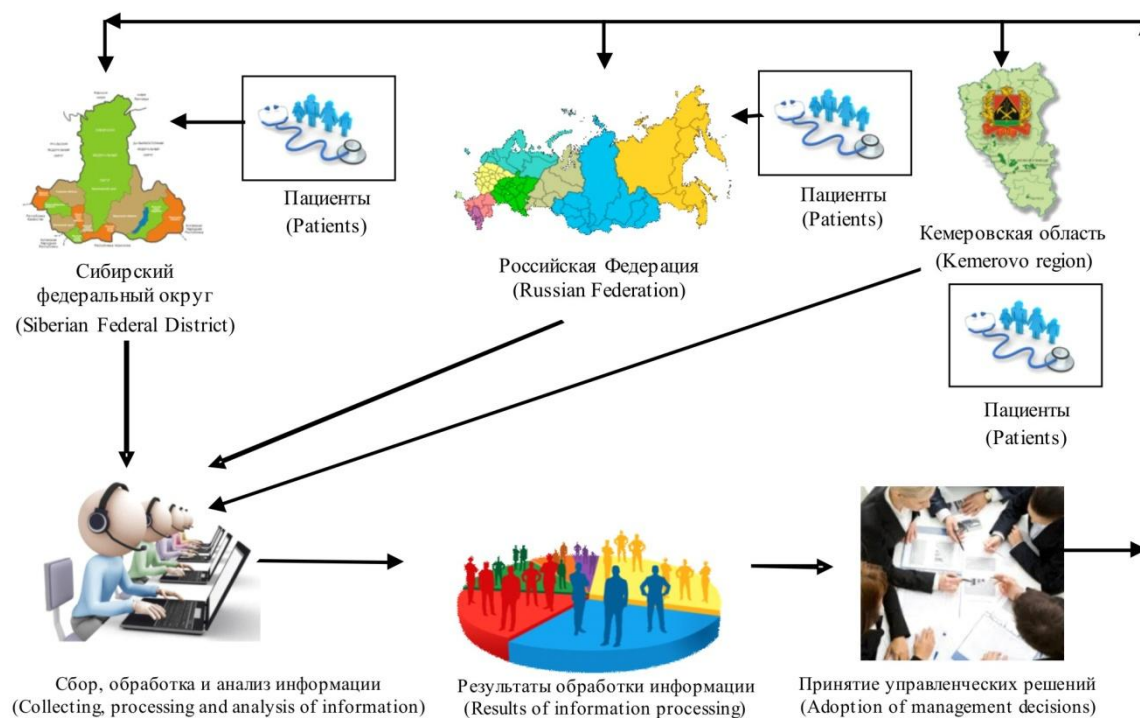
Chasovnikov Konstantin V., Novokuznetsk State Institute of Improvement of Doctors – branch of the FSBEI APE “Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of Russia, 5 Pr. Stroiteley, Novokuznetsk, Kemerov region, 654005, Russian Federation,

Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor of the Department of Health Organization and Public Health, e-mail: postmastergiduv@rambler.ru

The method of information support of adoption of management decisions in health sector on the basis of the mathematical express analysis of statistics of incidence of the population which are considered in comparison across territories and the periods of time is presented in article. The analysis of diseases of the leading nosological forms characteristic of the area, the region and the country was carried out by means of calculation of the index of the existence of a problem based on a mathematical method of the weighed sums. It is established that it allowed not only, to consider risk factors and dynamics of their indicators, but also by their reduction to uniform dimension, to range on risk zones. At the regional level in health sector problems which solution considerably will increase quality of the medical services rendered to the population are revealed.

Keywords: analysis of data, incidence, decision-making, index of existence of a problem, health care system, social and economic system, project management, public health

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Исследование заболеваемости населения как одного из важнейших критериев оценки состояния общественного здоровья в настоящее время сохраняет свою актуальность. Это обусловлено тем, что совокупность впервые возникших у физических лиц заболеваний лучше отражает влияние условий окружающей среды на здоровье населения и при сравнении дает более правильное представление о динамике заболеваемости и результатах борьбы за ее снижение [4]. Формирование социальной политики без учёта информации указанной направленности может привести к серьёзным негативным последствиям в сфере демографии и к неэффективному использованию сил и средств, расходуемых государством для обеспечения населения медицинскими услугами. Однако к оценке заболеваемости необходимо подходить комплексно. С одной стороны, эти данные могут свидетельствовать о том, что предпринимаемые меры приводят к своевременному выявлению болезней, которые затем успешно лечатся. С другой стороны, установленные впервые диагнозы болезней, включая хронические заболевания, указывают на слабую эффективность системы здравоохранения, когда из года в год фиксируется негативная динамика показателей. При этом нельзя исключить низкую востребованность указанной статистики органами государственного и муниципального управления в процессе организации соответствующей деятельности, в том числе по причине разнородности показателей и сложности смыслового восприятия изложенного материала. Несмотря на то, что принятие решений – это специфический, жизненно важный процесс человеческой деятельности, направленный на выбор наилучшего варианта действий.

По мнению специалистов в области управления, реформирование системы социального обеспечения, здравоохранения, социальной защиты необеспеченных слоев населения, преодоление последствий природных и социальных потрясений – все это социальные проекты, имеющие свою специфику. Их особенностью заключается в том, что цели только намечаются и должны корректироваться по мере достижения промежуточных результатов. Количественная и качественная оценка достижения целей существенно затруднена, а сроки и продолжительность проекта зависят от вероятностных факторов или только намечаются, которые впоследствии подлежат уточнению. При этом расходы на проект, как

правило, зависят от бюджетных ассигнований, а ресурсы выделяются по мере потребности в рамках возможного. Поэтому социальные проекты обладают наибольшей неопределенностью [2].

Цель исследования – разработать метод информационного обеспечения принятия управленческих решений в сфере здравоохранения на основе применения математического экспресс-анализа, основанного на сравнении статистических показателей заболеваемости населения по территориям и периодам времени.

Следует отметить, что актуальность проведенного исследования обусловлена тем, что большие массивы информации и множество частных показателей, которые рассчитываются на её основе для оценки здоровья населения и деятельности системы здравоохранения, диктуют необходимость разработки и использования интегральных показателей, которые аккумулировали бы в себе большое количество разнообразных исходных данных [7].

Материалы и методы. Для анализа информации по заболеваемости с 2015 по 2017 г. использовались сведения о заболеваемости на 1000 человек населения, зарегистрированных у пациентов с диагнозом, который установлен впервые в жизни из ежегодного статистического сборника «Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018» [12].

Анализ заболеваемости, сгруппированной по классам в соответствии с МКБ-10 [9], проводился с помощью метода, основанного на взвешенных суммах. Он позволяет учитывать большое число факторов и динамику их показателей, а также провести их ранжирование с выявлением и классификацией зон риска с помощью индекса наличия проблем (ИНП). Метод взвешенной суммы критериев (далее – МВСК), на английском языке – weighted sum method (WSM) – давно известный и активно применяемый метод [10].

Индекс рассчитывается как взвешенная сумма *индексов наличия проблемы для отдельных факторов риска* (I_{ϕ}) с учетом суммарного влияния *факторных групп* ($I_{гп}$). Определение ИНП обеспечивает учёт всех доступных факторов риска при расчете индекса ($I_{\text{общ}}$) за счет приведения всех факторов к *единой размерности*. Непосредственно сам ИНП включает в себя как оценку соответствия показателя нормативам, тем самым позволяя дать текущую оценку ситуации, так и обеспечения через оценку динамики показателя прогнозирования развития ситуации. Он представляет собой число от 0 до 1, где 1 – проблема отсутствует, 0 – проблема явно выражена.

Методика расчёта ИНП формировалась за счёт применения отдельных положений математико-статистических методов экспертных оценок, разработанных С.Д. Бешелевым и Ф.Г. Гурвичем [1], а также методики, авторы которой Е.А. Елтаренко, Е.К. Крупинова [6]. Дополнительно учитывалась методика В.А. Медика и В.С. Токмачева, позволяющая определить *интегральный показатель здоровья*, основанный на взвешенной сумме факторов [7]. Наряду с этим уделялось внимание вероятностному подходу, примененному А.В. Решетниковым, В.А. Решетниковым, В.В. Козловым и В.В. Роюком к регрессионной модели прогнозирования удовлетворенности качеством медицинской помощи [12]. Особенностью ИНП является то, что по его значению можно определить не только сам факт наличия проблемы, но и то, в чём именно эта проблема заключается, например, свидетельствуя о несоответствии нормативам или о наличии неблагоприятной тенденции, либо и о том, и другом. Дополнительно за счёт ИНП значения из статистико-цифровой формы можно перевести в смысловые понятия. В основе того, что сказано выше, положен порядок обработки и анализа информации, показанный на рисунке 1.

Значение *индекса наличия проблемы для отдельного фактора риска* (I_{ϕ}), рассчитывается в зависимости от того, как именно измерялся анализируемый фактор – официальным статистическим показателем или вопросом в социологическом опросе. В случае использования статистического показателя I_{ϕ} рассчитывается по формулам (1) и (2):

$$I_{\phi} = 0,3 + 0,4 \times НП + 0,1 \times НПР + 0,2 \times ТП \quad (1)$$

$$НПР = \begin{cases} (П-Н)/Н, & \text{для показателей} \rightarrow \max \\ (Н-П)/Н, & \text{для показателей} \rightarrow \min \end{cases} \quad (2)$$

где $П$ – значение показателя за анализируемый период; $Н$ – значение норматива (местного, регионального либо федерального); $НПР$ – разница между нормой и показателем по отношению к норме.

Если показатель превышает норматив в 2 и более раз, то НПР равен «-1» для показателей, стремящихся к минимуму, и равен «+1» для показателей, стремящихся к максимуму. В остальных случаях НПР рассчитывается по формуле (2), в которой смысл обозначений следующий: I_{ϕ} – индекс наличия проблемы для отдельного фактора риска; $НП$ – соответствие показателя норме: если показатель в пределах нормы, то он равен (1) или (0) – если он норме не соответствует; $ТП$ – оценка тенденции показателя за последние 3 года, равная «-1», если на протяжении всего периода тенденция была неблагоприятная; «+1», если тенденция была благополучная, «0», если явной тенденции не было выявлено.

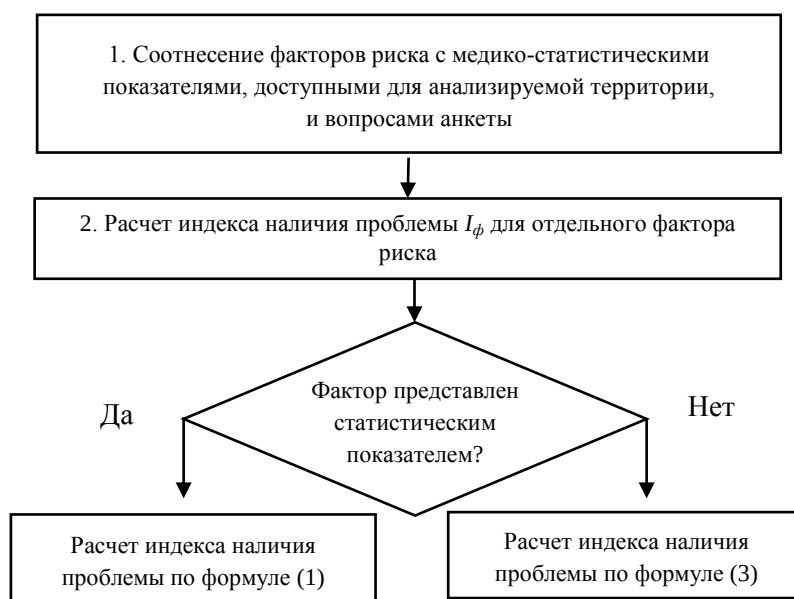


Рисунок 1 – Схема расчета индексов наличия проблемы

В случае, если фактор представлен вопросом анкеты, полученной путём социологического опроса, расчет I_ϕ осуществляется по формуле (3):

$$I_\phi = 0,2 \times O + 0,2 \times O_{(отр)} + 0,5 \times O_{(нейтр)} + 0,8 \times O_{(пол)}, \quad (3)$$

где I_ϕ – индекс наличия проблемы для отдельного фактора риска; O – преобладающие ответы: равно 1, если большинство респондентов ответили на вопрос положительно, 0 – нейтрально и (–1) – отрицательно; $O_{(отр)}$ – доля респондентов, ответивших на данный вопрос отрицательно; $O_{(нейтр)}$ – доля респондентов, ответивших на данный вопрос нейтрально; $O_{(пол)}$ – доля респондентов, ответивших на данный вопрос положительно.

Следует отметить, что в формулах (3) и (5) коэффициенты рассчитаны с помощью регрессионного анализа, с разбивкой на интервалы, в зависимости от желаемой интерпретации показателя [3, 4].

На основании расчётов составлена таблица 1 для различных комбинаций, составляющих индекс наличия проблемы для отдельного фактора риска (I_ϕ) в ключевых точках.

Таблица 1 – Различные комбинации составляющих I_ϕ в ключевых точках

НП	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
НПР	1	0	1	0	1	0	0	–1	0	–1	0	–1
ТП	1	1	0	0	–1	–1	1	1	0	0	–1	–1
I_ϕ	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0

ИНП, определяемый в процессе анализа статистических данных, включает в себя оценку соответствия показателя нормативам, тем самым позволяя дать текущую оценку ситуации. Кроме того, он обеспечивает (через оценку динамики показателя) прогнозирование развития ситуации. Значение ИНП представляет собой число от «0» до «1», где «1» – проблема отсутствует, «0» – проблема явно выражена.

Для визуализации расчётной информации авторами была разработана градация индекса, связанная с зонами риска (табл. 1).

Таблица 1 – Классификация зон риска

Градация индекса наличия проблемы (ИНП)	Соответствие норме	Тенденция показателя	Классификация зон риска
от 0 до 0,2	Не соответствует	Неблагоприятная	Зона высокого риска
от 0,2 до 0,4	Не соответствует	Благоприятная	Зона высокого, но контролируемого риска
от 0,4 до 0,6	Соответствует	Неблагоприятная	Зона возможного риска
от 0,6 до 1	Соответствует	Благоприятная	Зона отсутствия риска

Результаты исследования и их обсуждение. Кемеровская область неслучайно была выбрана в качестве объекта исследования, так как в данном регионе в течение длительного времени показатели заболеваемости населения превышают общероссийские показатели. При этом формируемая показателями тенденция имела негативную направленность. Так, в 2014 г. Т.Н. Страшниковой был проведен сравнительный анализ общей и первичной заболеваемости у лиц трудоспособного возраста в Российской Федерации и на её административных территориях. Она установила, что в Кемеровской области уровень заболеваемости выше, чем в Сибирском федеральном округе и в РФ по таким классам болезней: психические расстройства, болезни уха и сосцевидного отростка, болезни системы кровообращения, болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, травмы и отравления [14].

В данной статье в рамках сравнительного анализа статистических данных были рассмотрены показатели заболеваемости на 1000 чел. населения по основным классам болезней, зарегистрированных у пациентов с диагнозом, который был установлен впервые в их жизни. Общие количественные показатели динамики заболеваемости на 1000 чел. населения приведены на рисунке 1 [11, с. 373–374].

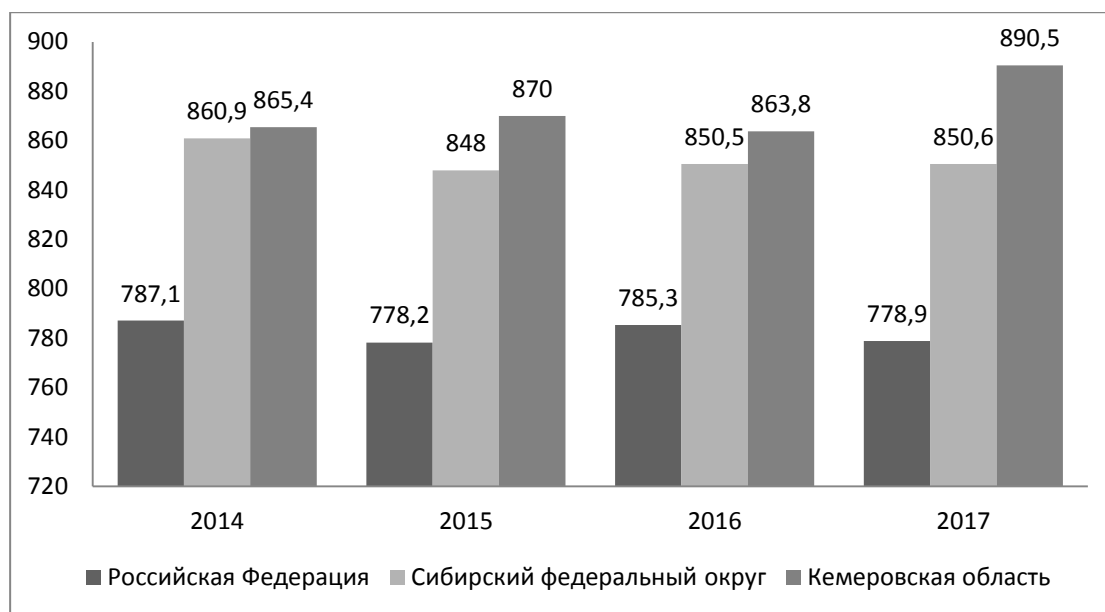


Рисунок 2 – Динамика заболеваемости на 1000 человек населения в Российской Федерации, Сибирском федеральном округе и в Кемеровской области

В сформированных авторами таблицах наряду с показателями заболеваемости, которые сравнивались по отношению друг к другу в зависимости от территории и количественных характеристик, указаны индексы наличия проблем. Применительно к Кемеровской области они рассчитаны на 2017 г., то есть на крайний год по наличию статистической информации в вышеуказанном сборнике. За «относительную норму» были приняты показатели заболеваемости по Российской Федерации [11, с. 375–404].

Таким образом, было установлено, что в 2017 г. в *зоне высокого риска* находились показатели: болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, некоторые инфекционные и паразитарные болезни, новообразования, болезни нервной системы (табл. 2).

Таблица 2 – Болезни, отнесенные к зоне высокого риска

	Российская Федерация			Сибирский федеральный округ			Кемеровская область			Ранг	ИНП (I)
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017		
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	30,1	29,5	29,5	39,2	40,1	40,3	48,4	52,8	53,1	1	0,02
Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	28,1	27,9	27,3	31,1	30,8	31,2	31,6	32,1	36,3	2	0,07
Болезни нервной системы	15,4	15,2	15	17,4	17,6	18,1	24,6	25,7	27,3	3	0,02
Новообразования	11,4	11,4	11,4	13,6	13,4	13,6	12,4	14,3	15	4	0,02

Это свидетельствовало о следующем: достижении критического уровня количественных показателей заболеваемости, если сравнивать их с общероссийскими показателями заболеваемости; о том, что существует негативная тенденция количественного роста числа поставленных диагнозов. По ранговому месту, которое определялось по количеству диагнозов, из числа приведенных показателей, более высокую позицию занимали болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани. Вероятно, это могло стать результатом недостаточного контроля со стороны органов государственного и муниципального управления за происходящими демографическими процессами, либо неспособностью территориальной системы здравоохранения самостоятельно справиться с данной проблемой. В практическом плане при наличии такой информации в первую очередь органы управления федеральными округами (а также регионами и муниципальными учреждениями) обязаны приступить к экстренной разработке и реализации комплексных мероприятий по преодолению кризисной ситуации. Такие мероприятия могут включать следующее: осуществление постоянного мониторинга, формирование соответствующих организационных структур, оснащение медицинских учреждений оборудованием и усиление их кадрового аппарата, обращение за помощью к областному или федеральному руководству; максимальное использование резервов.

К зоне *высокого, но контролируемого риска* были отнесены травмы, отравления и некоторые другие последствия внешних причин; болезни мочеполовой системы, болезни системы кровообращения; болезни глаза и его придаточного аппарата, болезни органов пищеварения; болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ; болезни крови, кровеносных органов и отдельные нарушения, вовлекающий иммунный механизм (табл. 3).

Таблица 3 – Болезни зоны высокого, но контролируемого риска

	Российская Федерация			Сибирский федеральный округ			Кемеровская область			Ранг	ИНП (I)
Заболеваемость	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017		
Травмы, отравления и некоторые другие последствия внешних причин	90,4	89,1	88,2	100,2	93,2	93,2	132,4	117,9	118,2	1	0,27
Болезни мочеполовой системы	46,4	45,6	44,8	56,8	56,1	54,6	59,2	59,9	59,5	2	0,33
Болезни системы кровообращения	31,2	31,7	32,1	35,4	36,4	36,8	43,8	47,3	47	3	0,25
Болезни глаза и его придаточного аппарата	33,3	32,6	31,6	38,4	38,3	37,5	39,3	42,8	41,9	4	0,3
Болезни органов пищеварения	35,3	35,6	34	56,6	54,2	46,8	37,3	39,2	38,7	5	0,29
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	13,3	13,9	14	17	19,1	18,8	14,4	16,7	15,4	6	0,3
Болезни крови, кровеносных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	4,7	4,7	4,5	5,1	5,2	5,1	4,8	4,9	4,9	7	0,3

Это обуславливает необходимость проведения мероприятий, связанных с усилением контроля за динамикой показателей, для того, чтобы, отслеживая их направленность, не допустить появления негативной тенденции. В этом случае с целью достижения планируемых результатов целесообразно назначить ответственных за проведение на местах конкретных медицинских мероприятий; уменьшить интервал отчетности; усилить взаимодействие между профильными учреждениями, находящимися как в регионе, так и за его пределами, и так далее. В случае изменения тенденции показателей на неблагоприятную, целесообразно перейти к мерам, описанным ранее для зоны высокого риска.

Относительно позитивные показатели зафиксированы по таким позициям, как болезни органов дыхания; болезни уха и сосцевидного отростка, которые находятся в *зоне возможного риска* (табл. 4).

Таблица 4 – Болезни зоны возможного риска

	Российская Федерация			Сибирский федеральный округ			Кемеровская область			Ранг	ИНП (I)
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017		
Заболеваемость											
Болезни органов дыхания	337,9	351,6	353,3	331,8	347,4	358,4	318	310,4	337	1	0,51
Болезни уха и сосцевидного отростка	26,6	26,3	25,9	27,3	27,1	27,1	32	30,3	29,6	2	0,51

Однако, если оценивать ситуацию по количеству больных, у которых диагноз был поставлен впервые, то болезни органов дыхания занимают лидирующую позицию. Так, в 2017 г. на 1000 человек такой диагноз был поставлен у 337 человек. Несмотря на это, данные показатели можно отнести к позитивным, так как они в целом близки к «норме», то есть к показателям, характеризующим ситуацию в Российской Федерации в целом, и имеют тенденцию к снижению. В организационном плане это означает, что, несмотря на вероятность появления негативных факторов, имеющиеся на территории обслуживания населения медицинские учреждения способны адекватно реагировать на указанные заболевания, в том числе путём проведения профилактических мероприятий.

В Кемеровской области только показатели болезни кожи и подкожной клетчатки находятся в *зоне отсутствия рисков* (табл. 5). Соответственно по данному направлению медицинские учреждения при наличии ограничений на общие объёмы ресурсов могут перераспределить их на решение других, более проблемных задач.

Таблица 5 – Болезни зоны отсутствия риска

	Российская Федерация			Сибирский федеральный округ			Кемеровская область			Ранг	ИНП (I)
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017		
Заболеваемость											
Болезни кожи и подкожной клетчатки	44	42,5	41,5	40,3	37,6	37,2	40,5	37,7	38,1	1	0,7

Выводы.

1. В процессе сравнительного анализа установлено, что из вышеприведённого перечня заболеваний в Кемеровской области в пределах нормы, которая близка к общероссийским показателям, находятся болезни органов дыхания, уха и сосцевидного отростка, кожи и подкожной клетчатки. Данная информация по своему целевому назначению, будучи статистической, может использоваться субъектами управления в ходе планирования и организации своей деятельности. Поэтому предложенный метод позволил выделить проблемные аспекты в контексте информационного обеспечения организации системы здравоохранения. При этом объём и содержание мероприятий, которые могли быть инициированы сведениями вышеуказанного характера, во многом зависят от самого субъекта управления, либо от объекта – если он становится таковым в результате управляющего воздействия на него. Например, органы государственного управления страны разрабатывают такие программы, как программа «Развитие здравоохранения» [11]. Одновременно органы управления федеральными округами и органы государственного управления регионами, включая профильные в отношении здравоохранения министерства и финансовые органы, разрабатывают и реализуют свои региональные программы. Для органов муниципального управления, руководства бюджетных медицинских учреждений, страховых компаний и иных юридических лиц результаты анализа, аналогично тому, который проведен в рамках данного исследования, носят информационный характер, а степень прикладного применения полученных сведений зависит от полномочий, которые им делегированы вышестоящим управленческим уровнем по использованию имеющихся сил и средств с целью решения выявленных проблем.

2. В ходе сравнительного анализа установлена необходимость не только проведения дополнительных исследований по выявлению причин сложившейся ситуации, но и осуществления корректировки органами управления регионом программ по совершенствованию деятельности в сфере обеспечения общественного здоровья на территории Кемеровской области. Это обусловлено тем, что правильно собранные и проанализированные статистические данные о здоровье населения служат основой для планирования профилактических мероприятий на государственном и муниципальном уровнях управления, для разработки организационных форм и методов работы органов управления и организации здравоохранения, а также для контроля за эффективностью их деятельности, направленной на сохранение и укрепление здоровья населения [7].

3. На рассмотренном примере показано, как можно определить пределы распространенности проблемы, доказывая это на статистическом материале, а также установить степень решения проблемы. Применительно к Кемеровской области эта проблема, несмотря на наличие организационной структуры в виде департамента охраны здоровья населения и медицинских учреждений, по показателям периода до 2017 г. приобрела затяжную, латентную форму без достижения позитивных результатов в лечении выявленных заболеваний.

Библиографический список

1. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – Москва : Статистика, 1980. – 260 с.
2. Бурков В. Н. Как управлять проектами : науч.-практ. изд. / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – Москва : СИНТЕГ-ГЕО, 1997. – 188 с.
3. Власенко А. Н. Информационное обеспечение стратегии развития промышленного региона (на примере Новокузнецкого района) / А. Н. Власенко, Н. М. Жилина, Г. И. Чеченин, А. А. Кожевников // ИНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 5 (9). – С. 20–25.
4. Власенко А. Н. Система мониторинга показателей общественного здоровья на основе индекса наличия проблемы / А. Н. Власенко, Н. М. Жилина, Г. И. Чеченин, А. А. Кожевников // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : труды XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Автоматизированные системы в образовании, науке и производстве» AS-2017 / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. С. М. Кулакова, Л. П. Мышляева. – Новокузнецк, 2017. – С. 139–143.
5. Гвишиане Д. М. Организация и управление / Д. М. Гвишиане. – Москва : Наука, 1972. – 612 с.
6. Елтаренко Е. А. Обработка экспертных оценок : учеб. пос. / Е. А. Елтаренко, Е. К. Крупникова. – Москва : МИФИ, 1982. – 96 с.
7. Медик В. А. Руководство по статистике здоровья и здравоохранения / В. А. Медик, М. С. Токмачев. – Москва : Медицина, 2006. – 528 с.
8. Петровский Б. В. Большая медицинская энциклопедия / Б. В. Петровский (ред.). – 3-е изд. – Москва : Советская энциклопедия, 1988. – 557 с.
9. Приказ Минздрава РФ от 27.05.1997 № 170 (ред. от 12.01.1998) «О переходе органов и учреждений здравоохранения Российской Федерации на международную статистическую классификацию болезней и проблем, связанных со здоровьем, X пересмотра» (вместе с «Планом основных мероприятий по переходу органов и учреждений здравоохранения Российской Федерации на МКБ-X на 1997–1998 годы», «Программой обучающего центра по внедрению международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем, X пересмотра») // Здравоохранение. – 1997. – № 7.
10. Подиновский В. В. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: PRO ET CONTRA / В. В. Подиновский, М. А. Потапов // Бизнес-информатика. – 2013. – № 3 (25). – С. 41–48.
11. Постановление Правительства РФ от 26.12.2017 № 1640 (ред. от 29.03.2019) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие здравоохранения» // Собрание законодательства РФ. – 01.01.2018. – № 1 (Часть II). – Ст. 373.
12. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018 : стат. сб. / Росстат. – М., 2018. – 1162 с.
13. Решетников А. В. Социальный портрет больного с артериальной гипертензией / А. В. Решетников // Социология медицины. – 2016. – № 2 (15). – С. 80–86.
14. Страшников Т. Н. Сравнительный анализ общей и первичной заболеваемости у лиц трудоспособного возраста в Российской Федерации и на её административных территориях / Т. Н. Страшников // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12717> (дата обращения 20.05.2019).

References

1. Besheliev S. D., Gurchich F. G. Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok [Mathematical and statistical methods of expert assessments]. Moscow, Statistika, 1980. 260 p.
2. Burkov V. N., Novikov D. A. Kak upravlyat projektami [How to manage projects]. Moscow, SINTEG-GEO, 1997. 188 p.
3. Vlasenko A. N., Zhilina N. M., Chechenin G. I., Kozhevnikov A. A. Informatsionnoe obespechenie strategii razvitiya promyshlennogo regiona (na primere Novokuznetskogo rayona) [Information support of the strategy of development for the industrial region (on the example of the Novokuznetsk area)]. INOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii [INOU: Information technologies in science, education and management], 2018, no. 5 (9), pp. 20–25.
4. Vlasenko A. N., Zhilina N. M., Chechenin G. I., Kozhevnikov A. A. Sistema monitoringa pokazateley obshchestvennogo zdorovya na osnove indeksa nalichiya problemy [System of monitoring of indicators of public health on the basis of the index of existence of a problem]. Sistemy avtomatizatsii v obrazovanii, nauke i proizvodstve : trudy XI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Avtomatizirovannye sistemy v obrazovanii, nauke i proizvodstve» AS-2017 [The systems of automation in education, science and production : Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference with the International Participation «The automated systems in education, science and production» AS-2017]. Siberian State Industrial University ; S. M. Kulakov, L.P. Myshlyayeva (ed.). Novokuznetsk, 2017, pp. 139–143.
5. Gvishiane D. M. Organizatsiya i upravlenie [Organization and management]. Moscow, Science, 1972.
6. Yeltarenko Ye. A., Krupinova Ye. K. Obrabotka ekspertnykh otsenok : uchebnoe posobie [Processing of expert estimates : manual]. Moscow, Prod., MEPhI. 1982.

7. Medik V. A., Tokmachev M. S. *Rukovodstvo po statistike zdorovya i zdravookhraneniya* [Guide to statistics of health and health care]. Moscow, Meditsina Publ., 2006.
8. Petrovsky B. V. (ed.). *Bolshaya meditsinskaya entsiklopediya* [Big medical encyclopedia]. 3rd ed. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1988.
9. Prikaz Minzdrava RF ot 27.05.1997 № 170 (red. ot 12.01.1998) «O perekhode organov i uchrezhdeniy zdavookhraneniya Rossiyskoy Federatsii na mezhdunarodnyuyu statisticheskuyu klassifikatsiyu bolezney i problem, svyazannykh so zdorov'em, X peresmotra» (vmeste s «Planom osnovnykh meropriyatiy po perekhodu organov i uchrezhdeniy zdavookhraneniya Rossiyskoy Federatsii na MKB-X na 1997–1998 gody», «Programmoy obuchayushchego tsentra po vnedreniyu mezhdunarodnoy statisticheskoy klassifikatsii bolezney i problem, svyazannykh so zdorov'em, X peresmotra») [The order of the Russian Ministry of Health of 27.05.1997 № 170 (an edition of 12.01.1998) «About transition of bodies and healthcare institutions of the Russian Federation to the international statistical classification of the diseases and problems connected with health, the X revision» (together with «The plan of the main actions for transition of bodies and healthcare institutions of the Russian Federation for MKB-X for 1997–1998», «The program of the training center for introduction of the international statistical classification of the diseases and problems connected with health, the X revision»)]. *Zdavookhranenie* [Health Care], 1997, no. 7.
10. Podinovskiy V. V., Potapov M. A. Metod vzveshennoy summy kriteriev v analize mnogokriterialnykh resheniy: PRO ET CONTRA [A method of the weighed sum of criteria in the analysis of multicriteria decisions: PRO ET CONTRA]. *Biznes-informatika* [Business information scientist], 2013, no. 3 (25), pp. 41–48.
11. The resolution of the Government of the Russian Federation of 26.12.2017 № 1640 (an edition of 29.03.2019) «About the approval of the state program of the Russian Federation «Development of health care». *A collection of the legislation of the Russian Federation*, 01.01.2018, no. 1 (Part II), Article 373.
12. Regiony Rossii. Sotsialno-ekonomicheskie pokazateli. 2018 : statisticheskiy sbornik. Regions of Russia [Socio-economic indexes. 2018 : statistical compilation]. Moscow, 2018. 1162 p.
13. Reshetnikov A. V. Sotsialnyy portret bolnogo s arterialnoy gipertenziei [A social portrait of the patient with arterial hypertension]. *Sotsiologiya meditsiny* [Medicine Sociology], 2016, no. 2 (15), pp. 80–86.
14. Strashnikova T. N. Sravnitelnyy analiz obshchey i pervichnoy zabolevaemosti u lits trudosposobnogo vozrasta v Rossiyskoy Federatsii i na ee administrativnykh territoriyakh [The comparative analysis of the general and primary incidence at persons of working-age in the Russian Federation and in its administrative territories]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 2. Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12717> (accessed 20.05.2019).

УДК 004.896

ВЫБОР МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Статья поступила в редакцию 30.05.2019, в окончательной варианте – 10.06.2019.

Большаков Александр Афанасьевич, Санкт-Петербургский технологический институт (технический университет), 190013, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 26

доктор технических наук, профессор, e-mail: aabolshakov57@gmail.com

Малый Лев Владимирович, Санкт-Петербургский технологический институт (технический университет), 190013, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 26

аспирант, e-mail: lev.malyu@gmail.com

Причина возникновения дефектов печатных плат в основном заключается в несоблюдении технологии или несовершенстве их производства. Для уменьшения количества возникающих дефектов и оптимизации производственных процессов актуальна задача разработки системы интеллектуальной поддержки принятия решений, предназначенной для управления качеством обработки заготовок в производстве печатных плат. Основой разрабатываемой системы интеллектуальной поддержки принятия решений является модель представления знаний и ее программная реализация. Эта часть разработки является одним из модулей экспертной системы, предназначенной для информирования оператора линии производства о причинах возникающих дефектов и объяснения того, как избежать их появления в будущем. Для этого выполнен аналитический обзор предметной области производства печатных плат с выявлением основных характеристик контроля качества. На основе этого обзора обоснованы основные задачи и требования к системе управления знаниями, которые используются в системе интеллектуальной поддержки принятия решений. Выполнен обзор существующих моделей представления знаний, и на основе сформированных требований выбрана модель, соответствующая требованиям обеспечения агрегации, классификации и систематизированного описания знаний; обеспечения возможности обновления и повторного использования знаний. Также модель отвечает поставленным задачам по накоплению и систематизации актуальных знаний о дефектах. При этом обеспечивается возможность постоянного расширения объема информации, учитываемой в модели, поддержки функционала по фильтрации и семантическому поиску знаний и пр. Выполнен обзор существующих средств разработки онтологий. В результате сравнения характеристик рассмотренных систем разработки выбран программный комплекс Protégé. На основе его

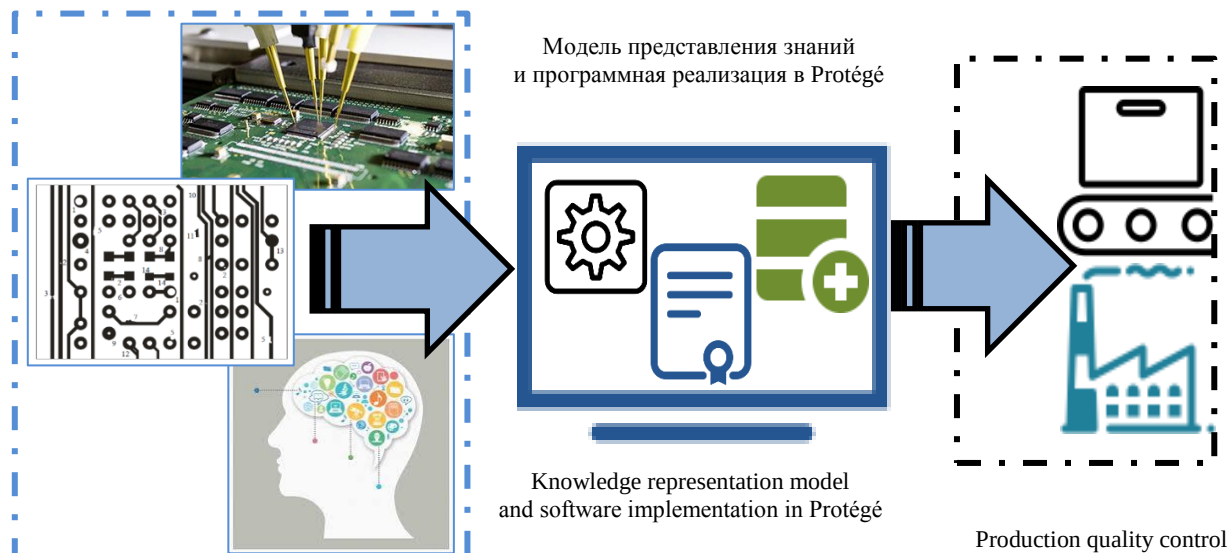
использования разработана модель представления знаний о дефектах проводящего рисунка печатной платы. Эта модель предназначена для последующего использования в экспертной системе.

Ключевые слова: печатная плата, дефекты, модели представления знаний, онтология, система поддержки принятия решений, информационные технологии

Графическая аннотация (Graphical annotation)

Знания о дефектах проводящего рисунка печатных плат и причинах их возникновения, а также опыт работников производства

Контроль качества на производстве



Knowledge of defects in the conductive pattern of printed circuit boards and their causes, as well as the experience of production workers

SELECTION OF THE KNOWLEDGE REPRESENTATION MODEL FOR THE INTELLECTUAL QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF PART PROCESSING IN PCB PRODUCTION

The article was received by editorial board on 30.05.2019, in the final version – 16.06.2019.

Bolshakov Aleksandr A., Saint-Petersburg State Institute of Technology, 26 Moskovsky prospect, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: aabolshakov57@gmail.com

Malyy Lev V., Saint-Petersburg State Institute of Technology, 26 Moskovsky prospect, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation

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

The cause of defects in printed circuit boards is mainly in non-compliance with technology or the imperfection of their production. To reduce emerging defects and optimize production processes, the development of an intelligent decision support system for managing the quality of processing work pieces in the production of printed circuit boards becomes urgent. The basis of the developed decision support system becomes the knowledge representation model and its software implementation, since it is one of the modules of the expert system for informing the production line operator about the causes of the arising defects and explaining how to avoid their development in the future. For this purpose, an analytical review of the subject area of printed circuit board production with the identification of the main characteristics of quality control was performed. Based on this review, the main objectives and knowledge management system requirements have been developed, which are used to monitor decision support system. A review of existing knowledge representation models was made and based on the generated requirements, a selection was made of a model that meets the requirements for ensuring aggregation, classification and systematic description of knowledge, ensuring the possibility of updating and reusing them, as well as the tasks to accumulate and systematize actual knowledge about defects, with the possibility of constant expansion of information, providing functionality for filtering and semantic search for knowledge and others. A review of the existing ontology development tools with the subsequent selection of the Protégé software package based on the comparative characteristics of the systems is made, and with its use a model for representing knowledge about defects in the printed circuit board pattern has been developed for later use in the expert system.

Keywords: printed circuit board, defects, knowledge representation models, ontology, decision support system

Введение. Из-за малых допусков деталей, высокой стоимости каждой из них, а также сложности в последующей диагностике неисправностей, необходимо следить за производством деталей на ранних этапах их изготовления [11]. Преждевременная локализация проблемы существенно снижает количество дефектных печатных плат (ПП) и позволяет разработать методы для прекращения возникновения таких проблем [12]. Система интеллектуальной поддержки принятия решений (СППР) поможет оператору устранить возникшую поломку и выявить возможную причину возникновения дефекта и позволяет определить действия, чтобы в дальнейшем исключить его повторное появление. Для этого необходимо разработать систему представления знаний, которая отражает область исследования и является основой для разработки базы знаний возникающих дефектов печатной платы. Целью данной статьи является составление аналитического обзора моделей представления знаний, удовлетворяющих требованиям и задачам СППР, а также выбор программного обеспечения для подбора системы управления знаниями (СУЗ) и внедрения ее в экспертную систему.

Общая характеристика предметной области. Знания отличаются свойством постоянного воспроизводства и усложнения как на уровне их качественных, так и количественных характеристик. Это приводит к тому, что для работы со знаниями необходимы особые методы для их получения, хранения и повторного использования. Выбор подходящей и адекватной модели представления знаний становится одной из важных и сложных задач работы со знаниями [8, 16].

Главной задачей информационной инженерии – области наук об искусственном интеллекте, занимающейся базами знаний (БЗ) и методами работы с ними, – является умение хранить знания таким образом, чтобы программные модули могли обрабатывать их подобно специалистам определенной предметной области. Причем знания должны быть представлены в виде достаточно формальном, чтобы модель представления знаний (МПЗ) однозначно интерпретировалась модулями программы инвариантно по отношению к разработчику БЗ.

Изделия современной электротехнической промышленности производятся с использованием печатного монтажа, имеющего многослойную структуру. Ее основными элементами являются электрическое непроводящее основание и проводящий рисунок проводников. Известно, что причина возникновения дефектов печатных плат (ПП) на 30–40 % заключается в несоблюдении технологии или несовершенстве их производства.

Современное производство печатных плат состоит из множества этапов. Каждый из них отвечает за различные структурные и конструктивные элементы ПП. В общем процесс производства можно описать следующим образом (рис. 1).

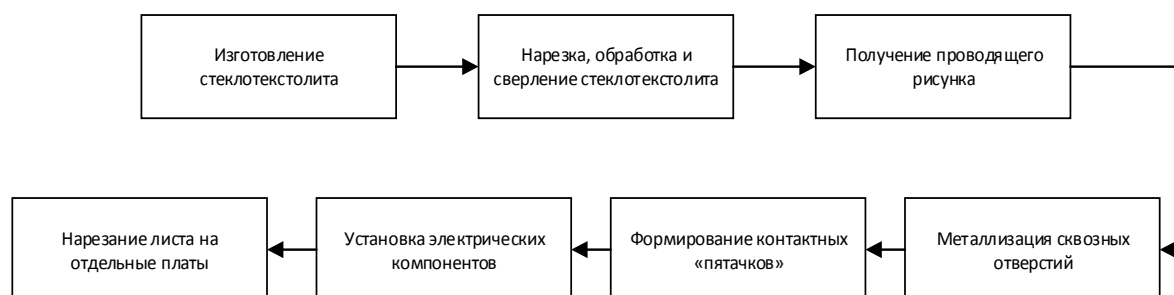


Рисунок 1 – Обобщенная структура производства печатных плат

Современные радиоэлектронные средства отличаются, как правило, высокой сложностью и уровнем интеграции компонентов, способностью работать в тяжелых условиях эксплуатации, многослойностью используемых ПП, что приводит к их сложной архитектуре, высокой плотности расположения печатных проводников и монтируемых элементов.

Электротехнические системы с длительным сроком активного существования относятся к классу аппаратуры, характеризуемой повышенными показателями надежности из-за практической невозможности проведения замены и ремонта в течение срока функционирования устройства [13]. Кроме этого, также достаточно сложно использовать статистический анализ отказов аппаратуры и ее отдельных компонентов из-за слишком сложной многослойной архитектуры деталей и отсутствия данных о дефектах и последующем функционировании элементов, использующих ПП с производств электротехнических деталей. Надежность функционирования электротехнической детали как сложной технической системы определяется элементом (в нашей случае, печатной платой), имеющим наименьшую надежность в структуре электронных компонентов. Одной из задач является повышение надежности печатных плат. Она является одной из важнейших, так как для этих компонентов электронных блоков традиционные методы повышения надежности, как, например, резервирование, практически непригодны.

Из-за малых конструкционных допусков деталей, высокой стоимости каждой из них, а также сложности в последующей диагностике неисправностей, необходимо осуществлять мониторинг производства деталей на ранних этапах их изготовления [12]. Своевременная локализация возникшего дефекта существенно снижает количество дефектных печатных плат на основе разработки методов для предотвращения их последующего возникновения. В связи с этим актуальной является разработка СУЗ, которую предлагается использовать при построении системы интеллектуальной поддержки принятия решений, применяемой в производстве печатных плат.

Основными задачами СУЗ являются:

- накопление и систематизация актуальных знаний о дефектах с возможностью постоянного расширения объема информации;
- обеспечение функционала по фильтрации и семантическому поиску знаний;
- обеспечение простоты и наглядности структуры знаний для пользователя и оператора экспертной системы;
- универсальность системы при использовании на других типах производств.

СУЗ должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение агрегации, классификации и систематизированного описания знаний;
- обеспечение возможности обновления и повторного использования знаний;
- использование явной концептуализации предметной области при описании семантики знаний;
- обеспечение функционала по интегрированию и совместному использованию данных и знаний разного типа в структуре системы поддержки принятия решений.

Сравнительный анализ достоинств и недостатков основных моделей представления знаний. Существует около десятка МПЗ, большинство из которых можно свести к следующим классам:

- семантические сети;
- фреймы;
- продукционные;
- предиктивные модели;
- объектно-ориентированные модели.

Семантическая сеть состоит из узлов и дуг, которые описывают отношения между узлами. Узлы могут представлять события, концепции или объекты [1, 9]. Дуги могут иметь различные формы описания в зависимости от предметной области и вида представления знаний. Часто дуги могут иметь тип «иметь часть» (has – part) или «является» (is – a). Для предметной области контроля производства печатных плат узлами могут быть различные дефекты, которые возникают на этапе нанесения рисунка проводников печатной платы; свойства этих дефектов, их влияние на работу печатной платы и т.д. [17, 25, 29]. На рисунке 2 предметная область производства печатных плат изображена в форме семантической сети.



Рисунок 2 – Фрагмент семантической модели представления знаний о возникающих на различных этапах производства дефектах печатной платы при фотолитографической технологии производства

Подобные типы взаимосвязи узлов определяют иерархию наследования в сети, т.е. от элементов более высокого уровня элементы более низкого уровня могут наследовать свойства. Выводы на основе семантической сети формируются через взаимосвязи между наборами множества дуг, имеющих общие узлы [21, 24].

Из достоинств подобного представления можно выделить универсальность и простоту «настраивания» под конкретную предметную область. Визуальная наглядность также является одним из достоинств семантических сетей. Семантические сети не позволяют получить новые знания, так как описывают «статичные» данные. В нашем случае данные о дефектах постоянно накапливаются, увеличивая объемы данных, резко усложняя решение задачи вывода решений. Это свойство накладывает существенные ограничения на размерность и объем моделей.

Семантическая сеть не подходит для нашего случая, при этом следует отметить, что она впоследствии может являться источником данных для продукционной модели данных.

Фрейм – это сеть узлов и отношений между ними, имеющих иерархическую структуру [2]. Архитектура фрейма выглядит следующим образом: структура состоит из нескольких слотов. Каждый слот имеет назначение и его значение. Со слотами могут быть связаны процедуры, занимающиеся специфической обработкой значений в слотах. По организации фрейм аналогичен семантической сети. Верхние узлы описывают общие понятия, а нижние узлы – частные случаи понятий [5, 14]. Понятие в узле формируется набором атрибутов (слотов) и их значениями. Каждый атрибут может быть связан с процедурами, выполняющимися в момент изменения информации в слотах. Вариант фреймовой модели представления знаний для области производства печатных плат представлен на рисунке 3.

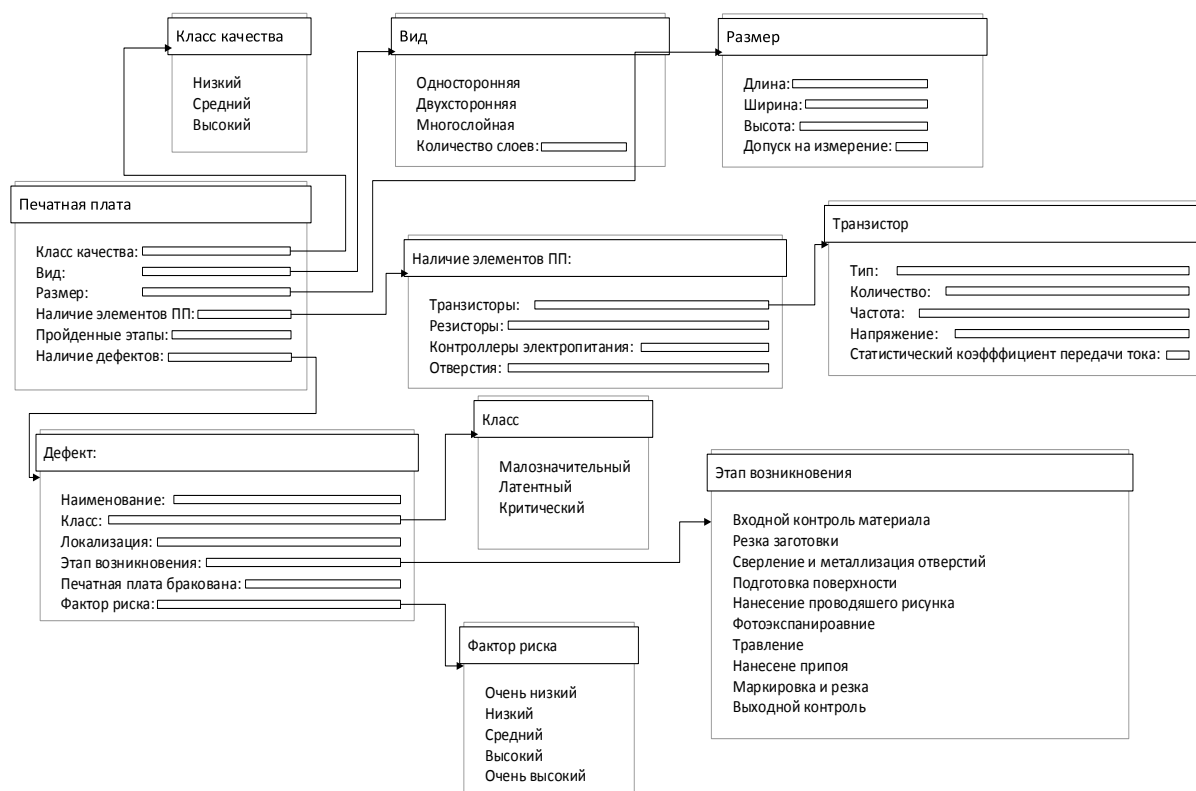


Рисунок 3 – Фрагмент фреймовой модели представления знаний о возникающих на различных этапах производства дефектах печатной платы при использовании фотолитографической технологии производства

Достоинствами фреймовой модели являются универсальность (различают фреймы-ситуации, фреймы-роли и т.п.), наглядность и интуитивная понятность. Также фреймы имеют способность наследования значений характеристик родителей и возможность использования некоторых теоретическомножественных операции, таких как объединение и пересечение.

Фреймы обладают рядом недостатков. Среди них следует выделить: «скептические» и «доверчивые» [15] системы из-за неоднозначности представления знаний; из-за свойства наследуемости изменения в родительском или корневом узле могут быть небезопасными (потеря информации) для дочерних узлов (проблема хрупкости базового узла); также из-за наследования при увеличении знаний в системе образуется большой граф иерархии наследования, что снижает читаемость и повышает слож-

ность вычислительных задач при масштабируемости. Все перечисленные недостатки нередко приводят к неэффективности системы обработки знаний с использованием фреймов.

Продукционная модель основана на правилах и позволяет формулировать знания в виде предложений «ЕСЛИ (условия), то (действие)». Когда условие выполняется (ситуация или факт), то выполняется действие. Оно может являться воздействием на окружающий мир, влиять на управление программным комплексом или добавлять новое условие в базу данных (БД) [19].

На рисунке 4 представлена предметная область обнаружения причины дефекта печатных плат в виде продукционной модели.

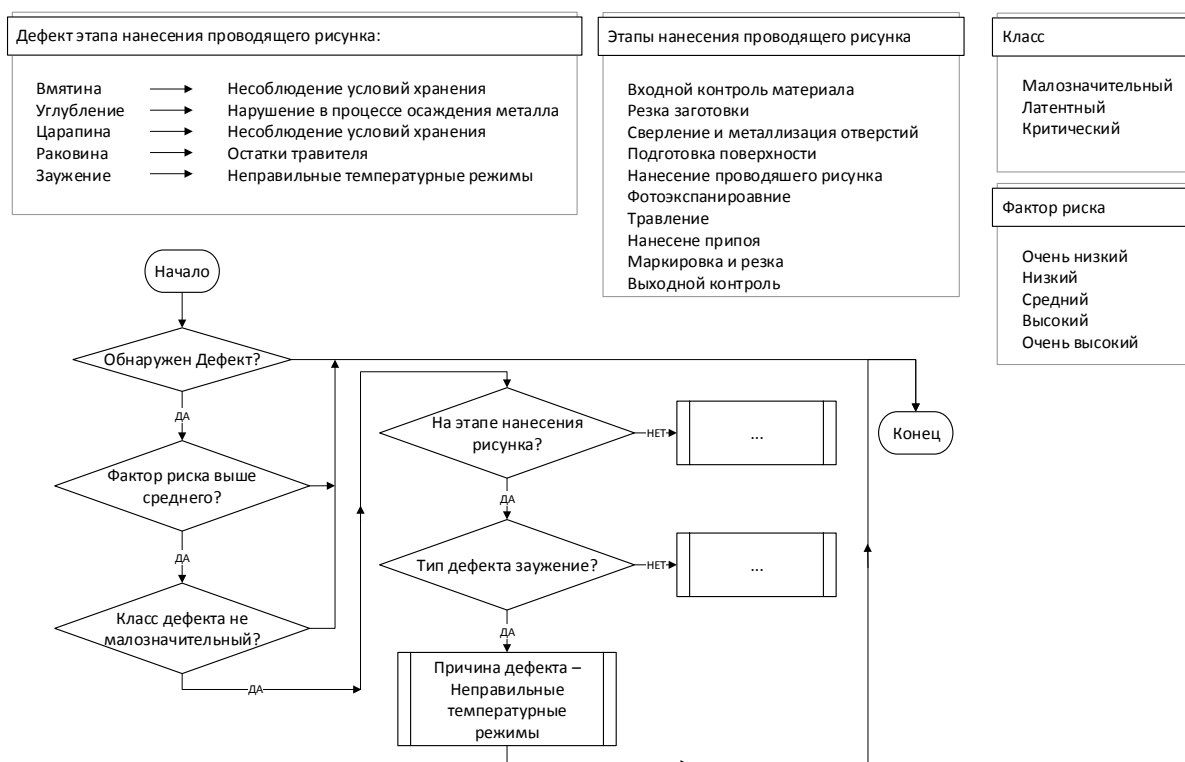


Рисунок 4 – Фрагмент продукционной модели представления знаний о дефектах, возникающих в печатных платах на различных этапах их производства по фотолитографической технологии

В итоге создается дерево решений, т.е. цепочка выводов по заданным условиям. Подобная структура позволяет добавлять в систему новые знания без необходимости вносить изменения или «вдаваться в смысл» других знаний [20]. С другой стороны, эта МПЗ имеет ряд недостатков: неясность взаимных отношений правил, низкая эффективность обработки знаний при больших объемах правил в БЗ, сложность оценки целостности и непротиворечивости знаний. Эта МПЗ не подойдет для описания предметной области производства печатных плат, однако эффективна в СППР при обнаружении причины возникновения дефекта печатных плат на основе созданной информационной модели «дефект-причина».

Основанная на логике предикатов предиктивная модель представления знаний (иногда называется логической/символьной моделью) является одним из разделов математической логики и основана на понятиях термина и предиката [4, 12]. Термом называется формализм представления знаний, который устанавливает соответствие знакомых символов описываемому объекту. Предикат используется для описания отношений сущностей в виде реляционной формулы, в которой содержатся термы. Среди достоинств предиктивной модели отметим универсальность представления знаний. При этом сложность оценки целостности образа знаний и низкая эффективность их обработки сильно снижают применимость этой МПЗ области описания предметной области производства печатных плат.

Элементом представления знаний в объектно-ориентированной модели является объект. В нем совмещены данные и функции (методы). Каждый элемент класса имеет набор характеристик, который связывает его с другими объектами класса [10, 21]. Подход «работает» с двумя понятиями: классификация – средство упорядочения знаний по группам и классам; абстракция – выделение важных характеристик каждого элемента и определение его концептуальных границ относительно наблюдателя. Усложненность этого МПЗ, сложность реализации и высокая требовательность к ресурсам модели и программного комплекса не затрудняет ее использование для описания предметной области производства печатных плат.

Все большую популярность приобретает форма представления знаний под названием «онтология», которая объединяет решение всех вышеописанных задач. Онтология может быть использована в качестве исходной структуры для БЗ, определяя иерархически структурированное множество терминов, описывающих предметную область [3, 21]. Она реализует представление об исследуемых объектах как о множестве сущностей, которые характеризуются определенным набором свойств [6, 22, 23]. Сущности находятся в определенных отношениях и объединяются по различным признакам в классы. В итоге описываемая область представляется в качестве иерархической БЗ, над которой впоследствии имеется возможность осуществлять проверку целостности, достоверности данных и семантический поиск по ним.

При существующих требованиях к СУЗ следует отметить, что применение онтологии позволит:

- облегчить коммуникацию и передачу информации между операторами экспертной системы на основе предоставления совместно используемых понятий, которые применяются для описания знаний вне зависимости от экземпляров предметной области [7, 26];
- улучшить поиск по предметной области из-за большого количества вариантов описания отношений между элементами в онтологии, что также позволит существенно упростить визуализацию, классификацию и анализ данных;
- на основе большого количества сред построения онтологий выполнение логического вывода становится проще реализовать. Структура онтологий и их разработки также позволяет определить причину связей между элементами онтологии для последующей обработки и прогнозирования [27, 28].

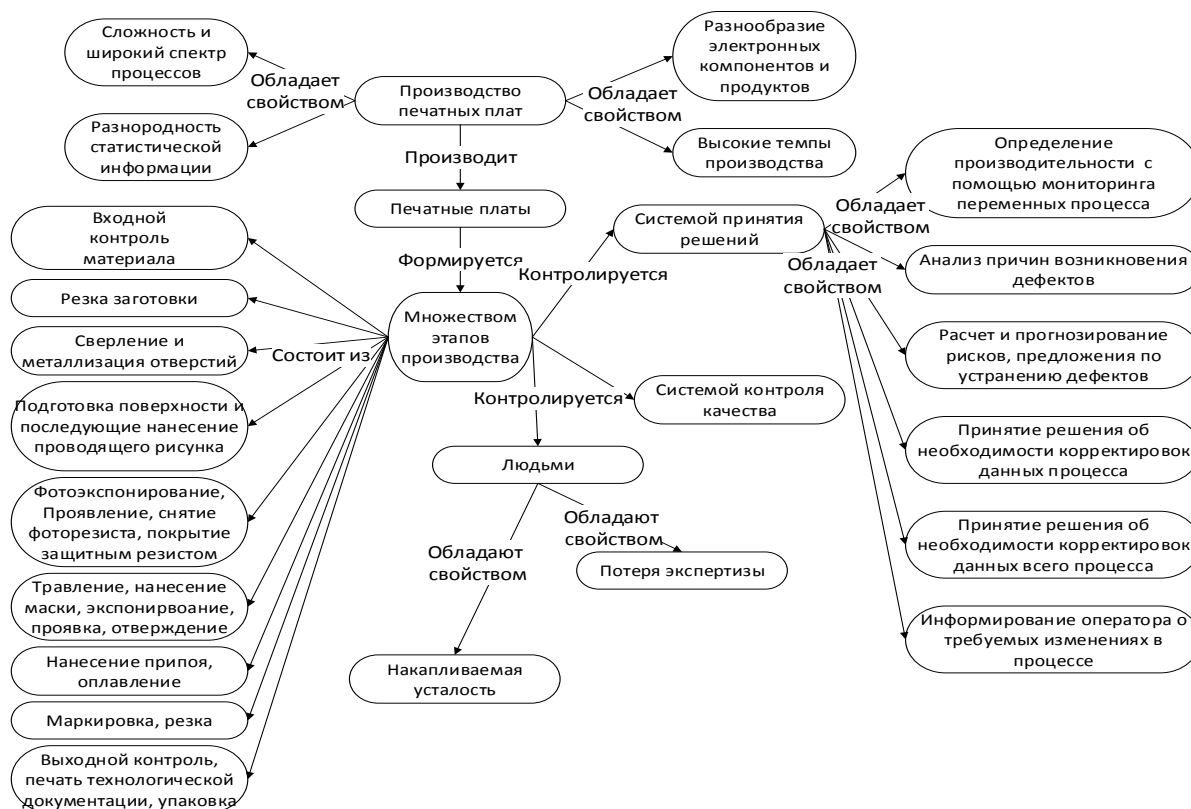


Рисунок 5 – Фрагмент онтологической модели представления знаний о возникающих на различных этапах производства дефектах печатной платы при фотолитографической технологии производства

В таблице 1 представлен **итоговый анализ сравнения** систем представления знаний.

На основе сравнения достоинств и недостатков наиболее часто используемых моделей представления знаний и выявления требованиям к разрабатываемой СУЗ выбор сделан в пользу онтологического и продукционного представления. Это позволит разработать простую и логичную структуру СУЗ. Используемая в дальнейшем экспертная система на основе разработанной системы управления знаниями позволит реализовать эффективную, масштабируемую и наглядную СППР производства печатных плат.

Таблица 1 – Сравнение характеристик моделей представления знаний

Требования МПЗ	Универсальность относительно предметной об- ласти	Наглядность представления знаний	Эффективность и простота реализации	Простота оценки целостности данных	Масштабируемость
Семантические сети	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая
Фреймы	Средняя	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая
Продукционные модели	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя
Предиктивные модели	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя
Объектно- ориентированные модели	Низкая	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Онтология	Высокая	Высокая	Высокая	Средняя	Высокая

Анализ возможностей наиболее популярных редакторов онтологий. В последние годы количество доступных редакторов онтологий существенно увеличилось – более 100 [18]. При этом из-за частой разработки онтологий под конкретную задачу трудно встретить универсальное решение. Авторами выполнен анализ существующих решений, на основе которого составлена таблица, описывающая основные характеристики популярных редакторов онтологий (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение редакторов онтологий

Название	Краткое описание (основные функции)	Список поддерживаемых формализмов, языков и форматов
Ontolingua (http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/)	Совместная разработка онтологий	OKBC, KIF
Protege (https://protege.stanford.edu/)	Создание, просмотр онтологий	JDBC, UML, XML, XOL, SHOE, RDF/RDFS, DAML+OIL, OWL
OntoSaurus (http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KA-W96/swartout/ontosaurus_demo.html)	Web-браузер баз знаний на языке LOOM	LOOM
OntoEdit (http://www.daml.org/tools/)	Разработка и поддержка онтологий	F-Logic, RDFS, OIL, OXML
OilEd (http://oiled.semanticweb.org/building/)	Разработка онтологий, поддержка логического вывода	DAML+OIL
WebOnto (https://projects.kmi.open.ac.uk/webonto/)	Многопользовательская разработка онтологий	OCML
WebODE (http://mayor2.dia.fi.upm.es/oeg-upm/index.php/en/old-technologies/60-webode/)	Создание онтологий на основе методологии Methontology	F-Logic, LOOM, Ontolingua

В качестве редактора выбрано решение под названием Protégé из-за его универсальности, простоты интерфейса и разработки онтологий. Это программное средство имеет широкий спектр применения, обширное сообщество разработчиков онтологий и большое количество дополнительных средств от сторонних разработчиков (плагинов) для отрисовки онтологий, экспорта в различные программные среды, поиск проблем структуры и прочее – https://protegewiki.stanford.edu/wiki/Protege_Plugin_Library.

Это впоследствии позволит внедрить разработанную структуру онтологии в СППР для системы контроля качества производства печатных плат.

С использованием программы Protégé разработана онтологическая схема для сферы производства печатных плат (рис. 6). Ее вариант, разработанный с помощью MS Visio, на русском языке представлен на рисунке 5.

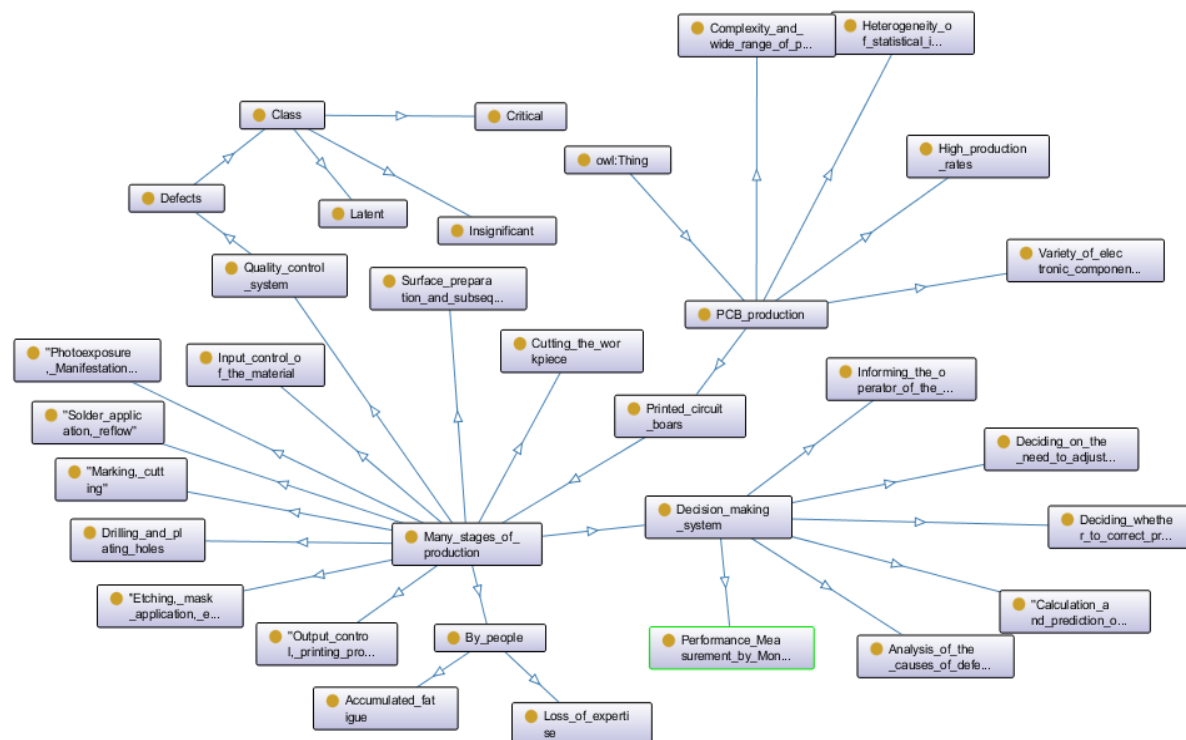


Рисунок 6 – Онтологическая модель предметной области производства ПП

После создания онтологической модели и задания значений параметров узлов и их связей система Protégé создает описание структуры онтологии (рис. 7), которая используется в СППР при производстве электротехнического оборудования.

```
<!-- http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Controlled_by -->
<owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Controlled_by">
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#By_people"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Decision_making_system"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Quality_control_system"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Many_stages_of_production"/>
</owl:ObjectProperty>

<!-- http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Implements -->
<owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Implements">
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Analysis_of_the_causes_of_defects"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Deciding_on_the_need_to_adjust_the_data_of_the"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Deciding_whether_to_correct_process_data"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Informing_the_operator_of_the_required_changes"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Performance_Measurement_by_Monitoring_Process"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Calculation_and_prediction_of_risks_proposals"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Decision_making_system"/>
</owl:ObjectProperty>
```

Рисунок 7 – Представление онтологической модели в формате RDF/XML

Рассмотренное выше представление позволит внедрить подготовленную онтологию в разрабатываемую экспертную систему в качестве описания предметной области производства печатных плат.

Выводы. Разработанная онтологическая модель предметной области используется в разрабатываемой системе поддержки принятия решений для производства печатных плат. Эта модель позволяет быстро и эффективно добавлять и обрабатывать знания в экспертной системе, которая является одним из модулей СППР. После проведенного анализа становится очевидным, что СППР в электротехническом производстве должна иметь гибридную МПЗ, в которой будет участвовать онтологическая и продуктивные модели.

С использованием онтологической модели будет описана предметная область производства печатных плат. На ее основе продуктивная модель позволит пользователю накапливать новые знания и получать интеллектуальную поддержку по причинам и рискам возникающих дефектов.

По мнению авторов, это позволит максимально полно описать предметную область и упростить архитектуру СППР для корректного сбора и обработки знаний.

Библиографический список

1. Барановская Т. П. Информационные системы и технологии в экономике / Т. П. Барановская, В. И. Лойко, М. И. Семенов, А. И. Трубилин. – Москва : Финансы и статистика, 2005. – 416 с.
2. Бирюков Д. Н. Когнитивно-функциональная спецификация памяти для моделирования целенаправленного поведения киберсистем / Д. Н. Бирюков // Труды СПИИРАН. – 2015.
3. Бирюков Д. Н. Денотационная семантика контекстов знаний при онтологическом моделировании предметных областей конфликта / Д. Н. Бирюков, А. Г. Ломако // Труды СПИИРАН. – 2015. – Вып. 5 (42). – С. 155–179 ; Вып. 3 (40). – С. 55–76.
4. Бова В. В. Моделирование области знаний в системах поддержки принятия решений для непрерывного профессионального обучения / В. В. Бова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4. – С. 242–248.
5. Бочаров В. А. Основы логики / В. А. Бочаров, В. И. Маркин. – Москва : МГУ, 2008. – 194 с.
6. Вебер А. В. Knowledge-технологии в консалтинге и управлении предприятием / А. В. Вебер, А. Д. Данилов, С. И. Шифрин. – Москва : Наука и техника, 2002. – 176 с.
7. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – Санкт-Петербург : Питер, 2000. – 384 с.
8. Крисиллов В. А. Сравнительный анализ моделей представления знаний в интеллектуальных системах / В. А. Крисиллов, С. М. Побережний, Р. А. Тарасенко // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1998. – Вып. 2. – С. 45–49.
9. Кузнецов П. П. Семантические представления / П. П. Кузнецов. – Москва : Наука, 2006. – 295 с.
10. Любченко В. В. Модели знаний для предметных областей учебных курсов / В. В. Любченко // Искусств. интеллект. – 2008. – № 4. – С. 458–462.
11. Малый Л. В. Системный анализ интеллектуальной системы управления качеством обработки заготовок в производстве печатных плат // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-31 : сб. тр. XXXI Междунар. науч. конф. : в 12 т. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН ; Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т ; Минск : БНТУ, 2018. – Т. 10. – С. 80–84.
12. Малый Л. В. Обзор методов, применяемых в системах технического зрения при решении задач контроля производства деталей для электротехнического оборудования / Л. В. Малый // ВИНТИ РАН. – 2017. – № 74-B2017. – 54 с.
13. Малый Л. В. Интеллектуальная система управления качеством обработки заготовок в производстве печатных плат / Л. В. Малый, А. А. Большаков // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2018. – № 47 (73). – С. 121–127.
14. Минский М. Л. Фреймы для представления знаний / М. Л. Минский. – Москва : Энергия, 2009. – 152 с.
15. Представление знаний в экспертных системах : учеб. пос. / сост. В. А. Морозова, В. И. Паутов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 120 с.
16. Тузовский А. Ф. Системы управления знаниями (методы и технологии) / А. Ф. Тузовский, С. В. Чириков, В. З. Ямпольский. – Томск : НТЛ, 2005. – 260 с.
17. Шрейдер Ю. А. Тезаурусы в информатике и теоретической семантике / Ю. А. Шрейдер // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 1971. – № 3. – С. 7–12.
18. Экк К. Д. Знание как новая парадигма управления / К. Д. Экк // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 2. – С. 2–14.
19. Элти Дж. Экспертные системы: концепции и примеры / Дж. Элти, М. Кумбс. – Москва : Финансы и статистика, 2007. – 191 с.
20. Bateman J. A. Upper modeling: organizing knowledge for natural language processing / J. A. Bateman // The 5th International Workshop on Natural Language Generation. – Pittsburgh, PA, 1990.
21. Calvanese D. View-based query answering in description logics: Semantics and complexity / D. Calvanese, G. Giacomo, M. Lenzerini, R. Rosati // J. of Computer and System Sciences. – 2012. – Vol. 78 (1). – P. 26–46.
22. Chandrasekaran B. Ontology of Tasks and Methods / B. Chandrasekaran, J. R. Josephson, R. Benjamins // Proceedings of the Eleventh Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management (KAW'98). – Inn, Banff, Alberta, Canada, 1998.
23. Decker S. Ontobroker: Ontology Based Access to Distributed and Semi-Structured Information / S. Decker, M. Erdmann, D. Fensel, R. Studer // Semantic Issues in Multimedia Systems : proceedings of DS-8R (eds. by Meersman et al.). – Boston : Kluwer Academic Publisher, 1999. – P. 351–369.
24. Eiter T. Conjunctive query answering in the description logic SH using knots / T. Eiter, M. Ortiz, M. Simkus // J. of Computer and System Sciences. – 2012. – Vol. 78 (1). – P. 47–85.
25. Firestone J. M. Enterprise Knowledge Portals: What They Are and What They Do / J. M. Firestone // Knowledge and Innovation : J. of the KMCI. – 2000. – Vol. 1, № 1. – P. 13–21.
26. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications / T. R. Gruber // Knowledge systems laboratory, Computer Science Department. – Stanford, California, 2013. – Vol. 6, № 3. – P. 71–92.
27. Goncalves R. The empirical robustness of description logic classification / R. Goncalves, N. Matentzoglou, B. Parsia, U. Sattler // Description Logics. – 2013. – Vol. 1014. – P. 197–208.
28. Sowa J. Knowledge representation: logical, philosophical and computational foundation / J. Sowa. – Boston : PWS Publishing Comp., 1998.
29. Zhang X. A distance-based paraconsistent semantics for DL-Lite / X. Zhang, K. Wang, Z. Wang, Y. Ma, G. Qi // International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management. – 2015. – LNAI 9403. – P. 1–13.

References

1. Baranovskaya T. P. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii v ekonomike* [Information systems and technologies in economics]. Moscow, Finance and statistics, 2005. 416 p.

2. Birukov D. N. Kognitivno-funktsionalnaya spetsifikatsiya pamyati dly modelirovaniya tselenapravennogo povedeniya kibersistem [Cognitive-functional memory specification for modeling targeted cyber-systems behavior]. *Trudy SPIIRAN* [Proceedings of SPIIRAN]. Moscow, 2015, pp. 23–34.
3. Birukov D. N. Denotatsionnaya simantika kontekstov znaniy pri ontologicheskoy modelirovaniy predmetnykh oblastey konflikta [Denotational semantics of knowledge contexts in ontological modeling of subject areas of conflict]. *Trudy SPIIRAN* [Proceedings of SPIIRAN]. Moscow, 2015, pp. 155–179.
4. Bova B. B. Modelirovaniye oblasti znaniy v sistemah podderjki priniatiya resheniy dlya nepreryvnogo professional'nogo obrazovaniya [Knowledge Modeling in Decision Support Systems for Continuing Professional Education]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [News of South Federal University. Technical science], 2009, no. 4, pp. 242–248.
5. Bocharov V. A. *Osnovy logiki* [Basics of Logic]. Moscow, MSU Publ., 2008. 194 p.
6. Veber A. V. *Knowledge-tekhnologii v konsaltinge i upravlenii predpriyatiem* [Knowledge-technologies in consulting and enterprise management]. Moscow, Nauka i tekhnika Publ., 2002. 176 p.
7. Gavrilova T. A. *Bazy znaniy intellektualnykh sistem* [Knowledge Base Intelligent Systems]. St. Petersburg, Piter Publ., 2000. 384 p.
8. Krasilov V. A. Sravnitelnyy analiz dlya modeley predstavleniya znaniy v intellektualnykh sistemakh [Comparative analysis of knowledge representation models in intelligent systems]. *Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Odessa Polytechnical University]. Odessa, 1998, issue 2, pp. 45–49.
9. Kuznetsov P. P. *Semanticheskie predstavleniya* [Semantic representations]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 157 p.
10. Lubchenko V. V. Modeli znaniy dlya predmetnykh oblastey uchebnykh kursov [Knowledge models for subject areas of training courses]. *Iskustvennyy intellekt* [Artificial intelligence], 2008, pp. 458–462.
11. Malyy L. V. Sistemnyy analiz intellektualnoy sistemy upravleniya kachestvom obrabotki zagotovok v proizvodstve pechatnykh plat [System analysis of intelligent quality management system for processing blanks in the production of printed circuit boards]. *Matematicheskiye metody v tekhnike i tekhnologiyah – MMTT31: sbornik trudov XXXI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Mathematical Methods in Engineering and Technology – MMTT31 : Proceedings of the International Scientific Conference], 2018, no. 4, pp. 80–84.
12. Malyy L. V. Obzor metodov, primenyaemykh v sistemakh tekhnicheskogo zreniya pri reshenii zadach kontrolya proizvodstva detaley dlya elektrotekhnicheskogo proizvodstva [Review of methods used in technical vision systems in solving problems of control of production of parts for electrical equipment]. *VINITI RAN* [All-Russian Institute of Scientific and Technical Information of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 74-V2017. 54 p.
13. Malyy L. V. Intellektualnaya sistema upravleniya kachestvom obrabotki zagotovok v proizvodstve pechatnykh plat [Intelligent quality management system for processing blanks in the production of printed circuit boards]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta* [News of St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2018, no. 47 (73), pp. 121–127.
14. Minsiy M. L. *Freymy dlya predstavleniya znaniy* [Knowledge Frames]. Moscow, Energiya Publ., 2009. 211 p.
15. Morozov V. A., Pautov V. I. (comp.) *Predstavleniya znaniy v ekspertnykh sistemakh : uchebnoe posobiye* [Representation of knowledge in expert systems: a tutorial]. Ekaterinburg, State Ural University Publ., 2017. 120 p.
16. Tuzovskiy A. F. *Sistema upravleniya znaniyami (metody i tekhnologii)* [Knowledge management systems (methods and technologies)]. Tomsk, NTL Publ., 2005. 260 p.
17. Sreider U.A., Tezariyus v informatike i teoreticheskoy semantike [Thesauri in computer science and theoretical semantics]. *Nauko-tekhnicheskaya informatsia. Seriya 2* [Scientific and Technical Information. Series 2], 1971, no. 3, pp. 7–12.
18. Ekk K. D. Znaniye kak novaya paradigma upravleniya [Knowledge as a new management paradigm]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya* [Problems of Theory and Practice Management], 1998, no. 2, pp. 2–14.
19. Elty J., Cumbs M. *Expertnye sistemy: kontseptsii i primery* [Expert systems: Concepts and applications], Moscow, Finansy i statistika Publ., 2007. 192 p.
20. Bateman J. A. Upper modeling: organizing knowledge for natural language processing. *The 5th International Workshop on Natural Language Generation*. Pittsburgh, PA, 1990.
21. Calvanese D., Giacomo G., Lenzerini M., Rosati R. View-based query answering in description logics: Semantics and complexity. *J. of Computer and System Sciences*, 2012, vol. 78 (1), pp. 26–46.
22. Chandrasekaran B., Josephson J. R., Benjamins R. Ontology of Tasks and Methods. *Proceedings of the Eleventh Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management (KAW'98)*. Inn, Banff, Alberta, Canada, 1998.
23. Decker S., Erdmann M., Fensel D., Studer R. Ontobroker: Ontology Based Access to Distributed and Semi-Structured Information. *Semantic Issues in Multimedia Systems. Proceedings of DS-8R* (eds. by Meersman et al.). Boston, Kluwer Academic Publisher, 1999, pp. 351–369.
24. Eiter T., Ortiz M., Simkus M. Conjunctive query answering in the description logic SH using knots. *J. of Computer and System Sciences*, 2012, vol. 78 (1), pp. 47–85.
25. Firestone J. M. Enterprise Knowledge Portals: What They Are and What They Do. *Knowledge and Innovation: J. of the KMCI*, 2000, vol. 1, no. 1, p. 13–21.
26. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge systems laboratory, Computer Science Department*. Stanford, California, 2013, vol. 6, no. 3, pp. 71–92.
27. Goncalves R., Matentzoglou N., Parsia B., Sattler U. The empirical robustness of description logic classification. *Description Logics*, 2013, vol. 1014, pp. 197–208.
28. Sowa J. *Knowledge representation: logical, philosophical and computational foundation*. Boston, PWS Publishing Comp., 1998.
29. Zhang X., Wang K., Wang Z., Ma Y., Qi G. A distance-based paraconsistent semantics for DL-Lite. *International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management*, 2015, LNAI 9403, pp. 1–13.

УДК 51-74, 004.046

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АВТОСТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ДИСПЛЕЕВ

Статья поступила в редакцию 22.04.2019, в окончательном варианте – 09.06.2019.

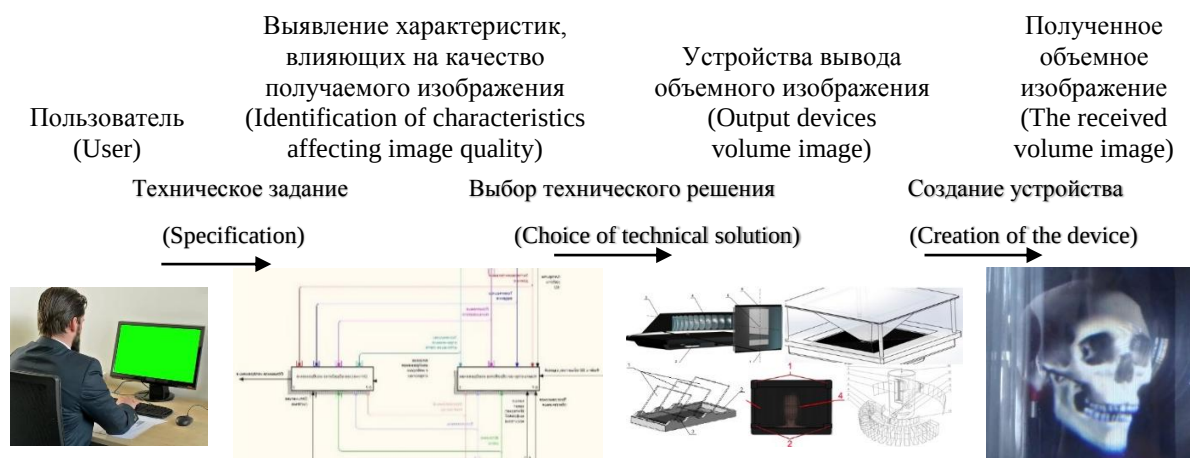
Ключиков Аркадий Викторович, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 410054, Российская Федерация, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, аспирант, e-mail: krok9407@mail.ru

Большаков Александр Афанасьевич, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, доктор технических наук, профессор, e-mail: aabolshakov57@gmail.ru

Описаны существующие способы воспроизведения объемного изображения. Проанализированы свойства различных технических решений. Выявлены основные проблемы и задачи, требующие решения для улучшения качества воспроизведения объемных дисплеев. Предложен, описан и реализован модельный ряд устройств формирования объемного изображения. Определены показатели качества выходного объемного изображения, влияющие на восприятие эффекта объема наблюдателем. Проведена формализация процесса формирования 3D-объектов в результате действия дисплея как системы, описаны взаимосвязи между блоками управления, а также каждый из процессов его поэтапного формирования. Предложена функциональная модель формирования 3D-изображения на основе нотаций IDEF0. Описана поэтапная декомпозиция процесса формирования объемного изображения в дисплеях. Рассмотрены факторы, влияющие на процесс формирования изображения. Представлены инструментальные средства создания выходного объемного изображения требуемого качества. Определены признаки входного изображения, влияющие на восприятие его глубины наблюдателем.

Ключевые слова: объемный дисплей, оптическая система, 3D-изображение, воксели, источник света, функциональное моделирование, стереопара, проекционная плоскость, линза Френеля, лентикулярный растр

Графическая аннотация (Graphical annotation)



FUNCTIONAL MODELING OF THE PROCESS OF CREATION OF VOLUMETRIC IMAGES BASED ON AUTOSTEREOSCOPIC DISPLAYS

The article was received by editorial board on 22.04.2019, in the final version – 09.06.2019.

Klyuchikov Arkadiy V., Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politekhnikeskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation, post-graduate student, e-mail: krok9407@mail.ru

Bolshakov Alexander A., Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytekhnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: aabolshakov57@gmail.ru

Existing methods for reproducing a three-dimensional image are described. The properties of various technical solutions are analyzed. The main problems and tasks that need to be solved to improve the quality of reproduction of volumetric displays are identified. Proposed, described and implemented a range of devices for forming a three-dimensional image. The quality indicators of the output volumetric image that affect the perception of the volume effect by the observer

are determined. The formalization of the process of the formation of 3D objects as a result of the display as a system has been carried out, the interrelations between the control units, as well as each of the processes of formation have been described in stages. A functional model for the formation of a 3D image based on IDEF0 notations is proposed. Phased decomposition of the process of forming a volumetric image in displays is described. The factors influencing the process of image formation are considered. Describes the tools to create the output three-dimensional image of the required quality. Identified features of the input image that affect the perception of its depth by the observer.

Keywords: volume display, optical system, 3D image, a voxel, optical source, functional modeling, stereo pair, projective plane, Fresnel lens, Lenticular lens

Введение. Для человека объемное изображение является наиболее привлекательным и информативным. Поэтому направление развития технологий, способных воспроизводить объемное изображение, является весьма перспективным. Одним из устройств, предназначенных для воспроизведения трехмерной информации, является объемный дисплей [1, 18, 20, 26]. В нем изображение формируется объемными пикселями (далее именуемые «вокселями»). Другой способ базируется на представлении трехмерного изображения векторами, заполняющими рабочее пространство дисплея, которое в свою очередь определяется конструкционными особенностями устройства.

Широкое применение таких дисплеев ограничено рядом факторов:

- высокая стоимость устройств;
- низкое качество изображения;
- ограничения по количеству лиц, способных одновременно просматривать изображение

(в силу ограниченности зоны пространства, в которой такие лица должны располагаться по отношению к дисплею);

- сложность масштабирования комплектующих в изделии;
- необходимость использования специальных средств для наблюдения изображений (различные очки и т.п.).

В связи с появлением в настоящее время дополнительных возможностей физической реализации технологий получения объемных изображений активизировался спрос на них потребителей и интерес разработчиков. Существует ряд задач, связанных с противоречием технологий и средств воспроизведения объемного изображения для успешного и широкого использования устройств многоцветной полноразмерной объемной динамической визуализации информации [3, 13, 19, 24].

Первое, и основополагающее, – это противоречие между потоком обрабатываемых данных, необходимым для обеспечения изображения и требуемым качеством изображения.

Второе. Технология создания изображения, которое поступает на входы устройства. Обычно объемные дисплеи требуют проводить сложную первичную обработку плоского изображения или входной трехмерной модели.

Третье. Технические особенности состава и конструкции дисплея. Если рассматривать дисплеи, главный фактор построения которых связан с электронной составляющей, то для них увеличение области просмотра и качества картинки приводит к повышению стоимости и сложности управления. Если дисплеи используют оптические элементы, то это приводит к увеличению габаритов дисплея, а также к новым вычислениям, так как оптические свойства элементов системы не изменяют параметров при масштабировании.

Целью работы является обеспечение получения объемного изображения требуемого качества на основе выявления основных характеристик объекта исследования как системы, влияющих на выходное качество объемного изображения; подбора параметров и вариантов технической реализации устройства; разработки метода, способного обеспечивать передачу и воспроизведение изображения в режиме реального времени через широкополосную линию передачи информации интернета.

Проведем анализ имеющихся технических решений на текущий момент. Для этого определим критерии, по которым можно разделить способы формирования изображения.

Первым критерием выберем механическое перемещение в пространстве для проецирования объемных образов.

По характеру подвижности проекционных плоскостей будем различать динамические и статические.

Динамические проекционные плоскости. Для создания иллюзии 3D-образов используют механически перемещающиеся части, независимо от типа перемещения и перемещаемых элементов. Этот способ включает дисплеи с проекционными или имитирующими поверхностями, которые вращаются (двигаются), а изображение на них создается скоростными проекторами или светодиодами, включаемыми в определенный момент.

Поворотные объемные дисплеи создают трехмерные изображения, проецируя ряд двумерных изображений на вращающуюся поверхность, линейные – на перемещающуюся. Когда поверхность вращается или перемещается достаточно быстро, то из-за инертности зрения этот ряд двумерных изображений воспринимается зрителем как одновременно существующие. Если серия двумерных изображений

включает вид объекта, снятого с разных точек зрения, и эти ракурсы согласовываются с движением вращающейся или перемещающейся поверхности, то это создает эффект трехмерного объекта, который могут с разных точек зрения просмотреть один или несколько зрителей. Движущаяся поверхность в таких устройствах может диффундировать, отражать или преломлять свет проецируемого изображения. Поверхность может быть выполнена в форме диска, прямоугольника, спирали, клина, пирамиды и т.д. Чтобы защитить зрителя от контакта с быстро движущейся поверхностью, вращающаяся или перемещающаяся поверхность, как правило, закрыта внешним прозрачным кожухом. Это может создавать дополнительные проблемы при сохранении изображения в фокусе.

Существует также метод, который включает элементы, расположенные на перемещающейся поверхности. В этом случае подвод информации к элементам достаточно сложен, а светоизлучающие элементы при высоких скоростях перемещения подвержены влиянию значительных сил инерции.

Ограничениями такой технологии является:

- изображение «призрачное», без непрозрачности или окклюзии объектов;
- трудно создавать большие дисплеи из-за массы и инерции быстро вращающихся объектов;
- имеются проблемы механического износа и шума вращающихся подшипников и других движущихся частей привода таких дисплеев;

- для дисплеев, в которых угол между экраном и проекционным лучом временами становится слишком малым для создания качественного изображения;

- для дисплеев, проекционный экран которых размещен в защитном кожухе, физически изолированном от рук зрителя, имеются ограничения для сенсорного взаимодействия.

Статичные проекционные плоскости. Это способ формирования изображения с отсутствием макроскопического механического движения в устройстве.

Группу статичных дисплеев в свою очередь можно разделить на следующие классы:

- 1) линзовые, с переменным фокусом, и/или зеркальные, с переменным углом наклона массивы [10];
- 2) использующие неподвижные параллакс-барьеры [9];
- 3) с элементами отображения типа «суб-пиксель», имеющие несколько фиксированных угловых направлений демонстрации;

- 4) с объективами типа «глаз мухи» или так называемые «Pin-Hole» – массивы, дисплеи на основе перезаписываемых голографических носителей [17];

- 5) с неподвижной многослойной, переключаемой структурой экранов, воспроизводящих изображения.

Их можно также классифицировать по критерию характера представления исходной трехмерной сцены в визуальном образе, предъявляемом наблюдателю, т.е. исходно подготовленное изображение на входе устройства.

Целесообразно разделить их на два способа:

- 1) на входе которого формируется сцена, образ или объект, т.е. исходное световое распределение, свойственное разрешимым точкам реальных объектов;
- 2) с дифракционным представлением объекта, образа или сцены.

Например, спектрально-угловое представление, или Френелевская дифракция, когда предъявляется дифракционное световое распределение, существующее в некоторой плоскости пространства, расположенной на некотором расстоянии от объектов сцены [25].

Известные частные методики «падают» под описанные выше общие группы классов. Произвольный известный метод формирования объемного изображения, например, в дисплеях, может сочетать комбинацию нескольких методов, и каждое из предложенных решений можно отнести к одному единственному из базовых подклассов [3].

Резюмируя характеристики описанных дисплеев, можно сделать вывод, что в связи с необходимостью обработки и передачи большого объема информации требуется уменьшать цветность и разрешающую способность выходного изображения, либо угол обзора; или использовать узкоспециализированное дорогостоящее оборудование, сложное и невыгодное для воспроизведения в условиях серийного производства.

Предлагаемые собственные технические решения. Объектом исследования в статье является трехмерное изображение, формируемое объемными дисплеями из определенного модельного ряда. Исходя из потребностей пользователей, определенных статистическими методами, далее рассматриваются следующие авторские технические решения.

Первый тип дисплея представляет насадку на корпус карманного смартфона или планшета (рис. 1). На экране устройства воспроизведения формируется исходное изображение, разделенное на n -количество сцен, повторяющее расслоение перспективы кадра на n -количество слоев. Каждая из сцен, преломляясь на проекционных гранях, изготовленных из прозрачного материала, расположенного под 45 градусов относительно источника изображения, переносится в вертикальную плоскость для удобного

просмотра пользователю на уровне глаз, при условии, что источник изображения находится в горизонтальной плоскости. Полученное изображение на каждом слое является мнимым и создает «мнимый эффект объема» из-за «висящего» в воздухе изображения.

Главным преимуществом дисплея первого типа является его мобильность и универсальность в использовании, а также метод, применяемый для воссоздания изображения, обеспечивает больший эффект объема, который достигается окклюзией изображений, находящихся разнесенными в пространстве друг от друга. Таким образом, реальная перспектива сцен обеспечивается многослойностью экрана.



Рисунок 1 – Дисплей первого типа

Несмотря на то, что при использовании такого способа создания объемного изображения возможно наблюдать сцену в перспективе, не имеется возможность просматривать ее с разных ракурсов, что является главным недостатком устройства.

Второй тип дисплея является насадкой для экрана монитора (рис. 2). Покрытие устройства представляет массив плосковыпуклых линз (лентикальный растр) с шагом от 10 до 40 линз на дюйм. Верхние и боковые крепления фиксируют покрытие на экране персонального компьютера или телевизора. Во избежание наблюдения дисперсии, возникающей в результате разложения света при прохождении через линзы, на заднюю поверхность лентикального растра наложена пленка обратной проекции. Транслирующийся видеоролик является набором кадров с чересстрочной разверткой. Каждый кадр представляет набор от 2 до 11 ракурсов объемной сцены или объекта, в зависимости от разрешения пикселяции экрана, а также количества линз на дюйм у выбранного лентикального растра [22].



Рисунок 2 – Дисплей второго типа

Достоинством технического решения, реализуемого в дисплее второго типа, подразумевает использование динамического изображения (видеоряда) для рекламных целей, а также средства телекоммуникации, что позволяет многократно использовать рекламные стенды без их замены.

Существенным недостатком технического решения является недостаточная плотность пикселей на дюйм у современных дисплеев. Качество выходного объемного изображения изменяется в зависимости от количества линз на дюйм, ракурсов (шаг), пикселей на одно изображение. Настоящий дисплей имеет плотность пикселей на дюйм до 240, в отличие от «среднестатистического» принтера с плотностью 1200 пикселей на дюйм.



Рисунок 3 – Дисплей третьего типа

Следующий вариант технического решения (рис. 3) включает: плоский дисплей, на котором формируется исходное изображение. Базовый кадр, который разбит на 4 ракурса: передний, задний вид, вид справа и слева. Изображение на экране подготовлено компьютерной обработкой: исходный трехмерный объект, разбитый на 4 вида, каждый из которых в свою очередь «разбивается» на 10 кадров с шагом в 9 градусов. Подготовленные кадры совмещаются в одно изображение методом чересстрочной развертки. На поверхности источника света находится параллаксный барьер, представляющий линтикулярную поверхность с шагом в 20 линз на дюйм, также разделенные на 4 равные трапеции, покрывающие 4 вида подготовленного изображения. При изменении наклона зрения пользователя в фокус линзы попадают определенные полосы одного из изображений, увеличивая его, закрывая остальные. В результате пользователь видит сменяющиеся друг друга кадры. Линтикулярная поверхность, находящаяся на источнике света, добавляет эффект дисперсии, существенно ухудшая качество изображения. Для фильтрации части видимого излучения между этими поверхностями располагается полупрозрачный экран, представленный слоем пленки обратной проекции. Полученные изображения переносятся в горизонтальную плоскость и сводятся в одну точку, отражаясь от зеркальной поверхности [9–10], представляющей усеченную к вершине пирамиду из оргстекла, расположенную под углом в 45 градусов к источнику света. В результате формируется мнимое изображение, расположенное перпендикулярно к плоскости экрана, которое регулируется передвижением базового образа на экране монитора для получения отображения 3D на уровне человеческого взгляда. Часть экрана, которая не задействована в формировании трёхмерного образа, находится в середине и образует квадрат 50 x 50 мм из-за усечения отражающей пирамиды. Это пространство проецирует изображение рабочего ролика, позиционируя сцену в изометрии. «Поверх» этого пространства располагается линза Френеля с 4,57 кратностью увеличения. Так как верхняя крышка дисплея является прозрачным листом оргстекла, то она может использоваться в качестве экрана для управления. На внутренней части верхней крышки располагается пленка рир-проекции, служащая экраном для формирования образа в изометрии, параметров проецируемого образа, а также команд для управления роликом.

Существенный недостаток конструкции – переход от одного вида к другому, смежные грани ухудшают качество восприятия объемного изображения. «Дробление» пирамиды на большее количество граней значительно уменьшает область проецирования видимого объекта.

Четвертый тип дисплея (рис. 4) включает следующие элементы: вокруг оси устройства со скоростью 1200–1500 об./мин. вращается непрозрачный барабан со сквозными отверстиями, закрытыми прозрачным материалом. Внутри барабана установлен просветная линтикулярная плоскость, на которой выводится изображение. На лицевой стороне устройства расположена прозрачная мультиэкранная панель, представляющая часть прямой многогранной призмы, которая покрыта пленкой рир-проекции, на которую выводится первичное изображение. Изображение формируется на всех гранях мультиэкранной панели с использованием массива проекторов, световые пучки, которые сфокусированы на слое пленки рир-проекции. С использованием двух модулей оптической системы образованный пучок света пересекает ось устройства и достигает зеркальной поверхности, состоящей из плоских поверхностей зеркал. Отразившись от зеркального многогранника, световой пучок достигает экрана, на котором в результате формируется итоговое изображение.

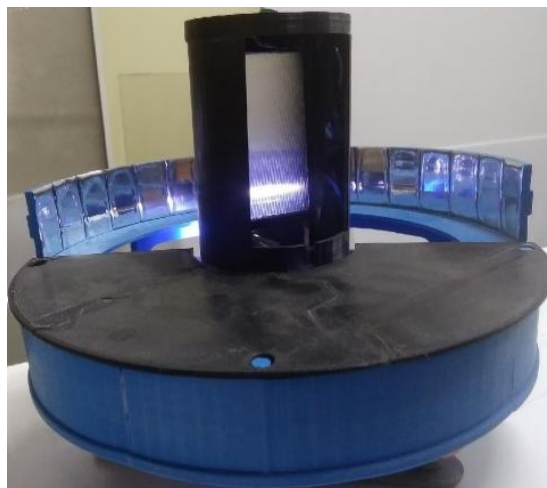


Рисунок 4 – Дисплей четвертого типа

Пятый тип дисплея (рис. 5) состоит из следующего: источник света экран монитора, проецирующий исходный кадр; двенадцать трапецеидальных зеркал, образующих зеркальный многогранник для переноса изображения в вертикальную плоскость; ожерелье линз, увеличивающих и фокусирующих изображение в центре азимутальной сходимости; выходная диафрагма, отсекающая оставшиеся боковые кадры и излишний засвет от источника изображения и отражающих элементов системы; увеличивающая линза Френеля выходного каскада, создающая мнимое изображение и являющаяся выходной проекционной плоскостью системы.



Рисунок 5 – Дисплей пятого типа

Шестой тип включает дисплеи, находящиеся в разработке:

А – дисплей 5-го типа с заменой ожерелья из линз на оптическую систему из матрицы линз;

б – дисплей типа ба с заменой формы выходного экрана на сферическую, но меньшим углом обзора;

в – комбинированное решение, совмещающее третий тип дисплея без лентикулярного раstra, а также три дисплея пятого типа.

В отличие от рассмотренных при анализе аналогов, предлагаемые средства формирования и передачи изображения соответствуют пропускной способности стандартных сетей общего пользования. Таким образом, создание метода и устройства, способного уменьшить поток данных, требуемых для формирования объемного изображения с заданным качеством, является актуальной задачей построения объемных дисплеев.

В связи с этим необходимо решить следующие задачи для достижения цели, связанной с получением на выходе устройства, способного отображать объемное изображение без специальных средств для просмотра (автостереоскопический дисплей) дисплея, изображения заданного качества.

1. Системный анализ формирования объемных изображений с использованием стереоскопических и автостереоскопических дисплеев [2, 14, 21].

2. Формализация процесса визуализации объемных образов для описания работы системы.
3. Определение основных характеристик объекта для получения объемного изображения требуемого качества.
4. Выявление факторов, влияющих на выходное качество объемного изображения, на основе исследования процесса формирования изображения.
5. Определение оптимальных значений параметров и вариантов технической реализации устройства.
6. Разработка метода, обеспечивающего передачу и воспроизведение изображения в режиме реального времени через широкополосную линию передачи информации интернета.

Решение задач. В настоящей статье рассматривается решение первых четырех задач.

Опишем функционирование автостереоскопического дисплея на основе структуры технической системы, воспроизводящей объемное изображение на основе входных параметров. Определим критерии входных переменных, влияющих на восприятие объема человеком, а также на формирование итогового объемного изображения. Проведем анализ объекта исследования формализацией на основе функционального моделирования стандарта IDEF0 в виде схемы, представленной на рисунке 6.

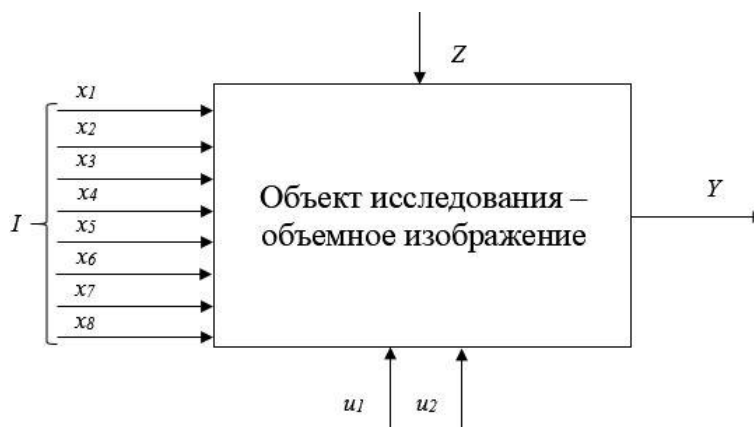


Рисунок 6 – Формализация объемного изображения с помощью диаграммы в нотации IDEF0

Обозначим входную переменную, определяющую восприятие глубины ИЗОБРАЖЕНИЯ пользователем символом I , т.е. это фактор, влияющий на восприятие трехмерного изображения человеком. В свою очередь восприятие определяется несколькими признаками, совокупность которых позволяет в некоторой степени формировать виртуальное объемное изображение.

Эти признаки можно разделить на монокулярные, когда объекты, попадающие в поле зрения, воспринимаются только одним из глаз:

x_1 – относительные размеры объектов (рис. 7а) – параметр изменяется в зависимости от расположения наблюдателя относительно объекта наблюдения. Чем ближе наблюдатель находится к объекту, тем больше ему представляется размер объекта [5];

x_2 – градиент текстуры – также зависит от расстояния между объектом и наблюдателем. Детализация изображения, четкость его текстуры ухудшается с увеличением расстояния от изображения до наблюдателя [7];

x_3 – взаимное расположение (рис. 7б) – так называемый эффект окклюзии изображения, когда объект, расположенный ближе, частично перекрывает или затеняет на изображении объект, расположенный дальше;

x_4 – линейная перспектива (рис. 7в) – одна из разновидностей перспективы, для наблюдения которой необходимо сохранять неподвижную точку зрения, что позволяет наблюдать единую точку схода на линии горизонта, т.е. предметы уменьшаются пропорционально по мере удаления их от переднего плана на изображение, даже параллельные линии изображены сходящимися к концам ближе к горизонту [11];

x_5 – атмосферная перспектива или воздушная (рис. 7а), определяется потерей четкости изображения, его очертаний, т.е. увеличением значения дефокусировки при отображении объектов заднего плана. Также значение атмосферной перспективы характеризуется изменением насыщенности, его уменьшением так, что удаленные объекты кажутся более светлыми, чем передний план [4];

x_6 – параллакс движения (рис. 7г) – общее название признаков восприятия относительного движения, которое характеризует зависимость смещения зрительного анализатора наблюдателя (перемещение всего тела вместе с головой или отдельный поворот головы) относительно систематических движений в зрительной области. При этом проекция на сетчатку глаз тех объектов, которые расположены ближе к наблюдателю, смещается быстрее, чем проекция объектов, находящихся дальше [15].

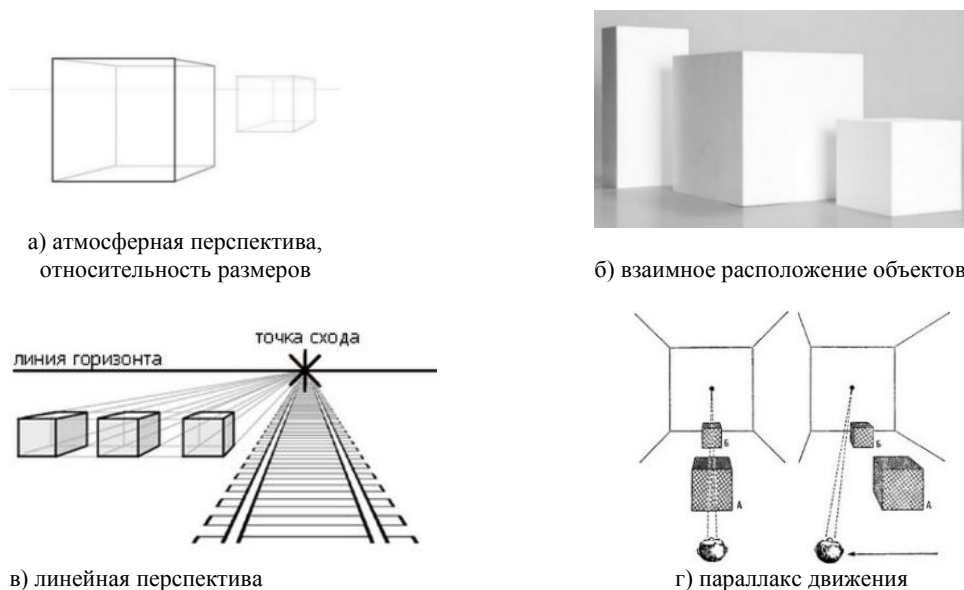


Рисунок 7 – Некоторые из монокулярных признаков восприятия объема

Бинокулярные признаки:

x_7 – бинокулярная конвергенция описывает напряжение мышц глаза, ответственных за кривизну хрусталика, а также форму глазного яблока и угол схождения зрительных осей глаза. Этот параметр характеризует восприятие приближающихся предметов. Сдвигаясь к центру – носу, мышцы глаз испытывают повышенное напряжение, а при восприятии отдаленных предметов, раздвигаясь от центра (носа), глаза расслабляются [16];

x_8 – нормальная бинокулярная диспаратность определяет величину отклонения двух точечных источников света, проецируемых только на одну из сетчаток глаз, от положения корреспондирующих точек. Значение отклонения положительно, так как расстояние между источниками света несколько больше, нежели между корреспондирующими точками. Изменение диспаратности прослеживается при восприятии разного расстояния до предметов. Например, для близких объектов значение диспаратности является значительным, между тем что видит левый и правый глаз, а для отдаленных предметов диспаратность будет незначительна. Также возможна отрицательная бинокулярная диспаратность, которая проявляется при замене нормальных проекционных точек наблюдаемого объекта на их зеркальную копию (например, при помощи псевдоскопа). Таким образом, вместо реального объекта воспринимается иллюзия его обратной перспективы, которая «заставляет» наблюдателя видеть нарушение относительного взаимного расположения объектов или может являться причиной восприятия обратного рельефа объектов (вогнутое воспринимает выпуклым и наоборот) [12].

Качество получаемого на выходе объемного изображения Y существенно зависит от способа и степени технической реализуемости этих признаков. Основными критериями, влияющими на качество при выводе графической информации, являются следующие: разрешение, цветопередача, скорость передачи информации, частота и угол обзора. В нашей системе эти критерии обозначаются как Z и являются входными сигналами (рис. 6).

На сегодняшний день технические средства не позволяют воссоздать полностью идентичный реальному виртуальный объект в виде его изображения. Этот фактор накладывает определенные ограничения u_1 на входные переменные системы – Z , которые вследствие этого влияют на качество выходного изображения y . Также на формирование объемного изображения влияют физиологические особенности и психологические факторы отдельного человека u_2 . Поэтому дополнительным аспектом, который необходимо учитывать при разработке метода формирования трехмерного изображения, является необходимость его апробации на статистических группах пользователей.

Для этого необходимо описать систему с технической точки зрения. Рассмотрим структуру реализации устройств воспроизведения модельного ряда, который условно назовем «Интердисп». С точки зрения реализации процесса цель исследования можно формализовать в виде функционального моделирования стандарта IDEF0 (рис. 8).



Рисунок 8 – Функциональное моделирование процесса создания объемного изображения (0 уровень)

Внешнее воздействие определяется следующими характеристиками.

1. Технические ограничения источника света – это характеристика, существенно влияющая на выходное изображение. От нее непосредственно зависит выходное разрешение и размер изображения, возможный угол обзора, яркость, цветность и скорость передачи информации.

2. Алгоритм работы программного обеспечения (ПО). Определяет работу устройства воспроизведения и зависит от целей, которые преследует пользователь. Так как программное обеспечение включает способ приема и передачи информации, а также процесс создания мультимедийных роликов для дисплея, то алгоритм является уникальным для каждой модели из ряда устройств.

3. Техническое задание. Это воздействие является основополагающим и включает аспекты, связанные с установлением значений показателей, границ, возможных диапазонов изменений, т.е. требуемых значений характеристик качества дисплея.

4. Пожелания (требования) пользователя. Этот тип «воздействия» включает аспекты, связанные с внешним видом устройства, а также его функционалом, т.е. возможные дополнения или модернизация дисплея определенного типа. Таким образом, это «воздействие» является характеристикой, аналогичной рассматриваемой в пункте 3. Однако оно не влияет на выбор технического решения, а оказывает влияние на процесс его реализации.

5. Экспериментальные данные. Для адаптации процесса реализации технического задания необходимо разработать ряд математических моделей для вычисления значений параметров системы (расстояния, коэффициентов преломления, толщины оптических элементов и т.д.). Процесс реализации устройства воспроизведения объемного изображения непосредственно зависит от результатов предварительного моделирования и натурных экспериментов.

Инструментальные средства, которые требуются для реализации процесса воспроизведения изображения, следующие.

1. Персональный компьютер. Устройство может представлять смартфон, ноутбук, стационарный персональный компьютер.

Основными характеристиками и параметрами при выборе инструмента являются: быстродействие системы, возможность подключения к высокоскоростной сети, интерфейс портов (возможность подключения VGA, HDMI, TSR, USB).

2. Источник света. Выбор источника света зависит от реализуемого технического решения. Например, это могут быть: экран смартфона, жидкокристаллического телевизора или проектор. Выбор делается на основе параметров: мобильности, разрешения, диагонального размера экрана, цветности, яркости и т.д.

3. Оптическая система. При выборе технического решения и на основе экспериментальных данных формируется состав оптической системы. Например, наклонные проекционные плоскости, линтикулярный растр или более сложная составная конфигурацию. Этот инструмент позволяет изменять характеристики изображения, которое поступает с источника света и преобразовывает его в объемное изображение [20].

4. Программное обеспечение. Позволяет осуществлять управление выходным изображением объемных объектов, его характеристиками, а также обеспечивать телекоммуникативную связь.



Рисунок 9 – Этапы процесса объемной визуализации

5. Пользователь. Подразумевается управляющее воздействие системой, обусловленное индивидуальными особенностями восприятия объема человеком. В зависимости от «способности наблюдать объем» человек может программным или аппаратным способом изменять характеристики устройства воспроизведения, изменяя качество выходного изображения.

Произведем деление задачи формирования объемных изображений. Процесс можно разделить на несколько этапов (рис. 9). Вначале необходимо сформировать первичные изображения, поступающие на вход устройства, из которых затем формируется выходное – объемное изображение. В зависимости от метода формирования объемного изображения и, как следствие, выбранного устройства, будут изменяться качественные и количественные характеристики первичных изображений. Это непосредственно влияет и на конечный результат восприятия наблюдателем объема объекта.

С технической точки зрения этот процесс можно разбить на следующие составляющие: компьютерная обработка изображения [6, 8]; оптическая обработка изображения (рис. 10). Как описано ранее, на вход системы по созданию объемного изображения подается файл, содержащий объемный образ или сцену. Первичной обработкой исходных данных является компьютерная, аппаратная. Рассмотрим рисунок 10, который является декомпозицией рисунка 8.

В этом блоке формируется плоское изображение с набором стереопар или послойное изображение сцены. Выходной результат достигается на основе работы специализированного программного обеспечения по формированию опорных кадров для одного или нескольких устройств. Причем ПО строго соответствует техническому заданию, которое установлено заказчиком и вводит ряд ограничений при изготовлении. Также в число ограничений, требующих учета, входят конкретные технические характеристики источника света и экспериментальные данные, полученные на стендовом образце, обеспечивающем сходимость световых лучей, испускаемых из условных точек на источнике света в аналогичные точки объемного изображения. Пользователь управляет ПО и устанавливает характеристики, регулируя параметры изображения или источника света, на основе собственных предпочтений. Для описания способа передачи исходных данных на текущем этапе декомпозиции необходимо ввести инструмент – канал связи (интернет, проводной кабель, твердотельный носитель, беспроводной канал связи), поэтому на схеме туннель изображен около свободного конца. Выходные данные, полученные при работе ПО и блока «компьютерная обработка», могут представляться в виде двухмерных изображений, синхронизированных по времени для вывода на один или несколько источников света. По составу они могут включать как набор ракурсов трехмерного объекта, так и послойный набор сцен трехмерной сцены, полученные из исходных данных. Качество определяется выбранным техническим решением, которое в свою очередь зависит от ТЗ и пожеланий пользователя.

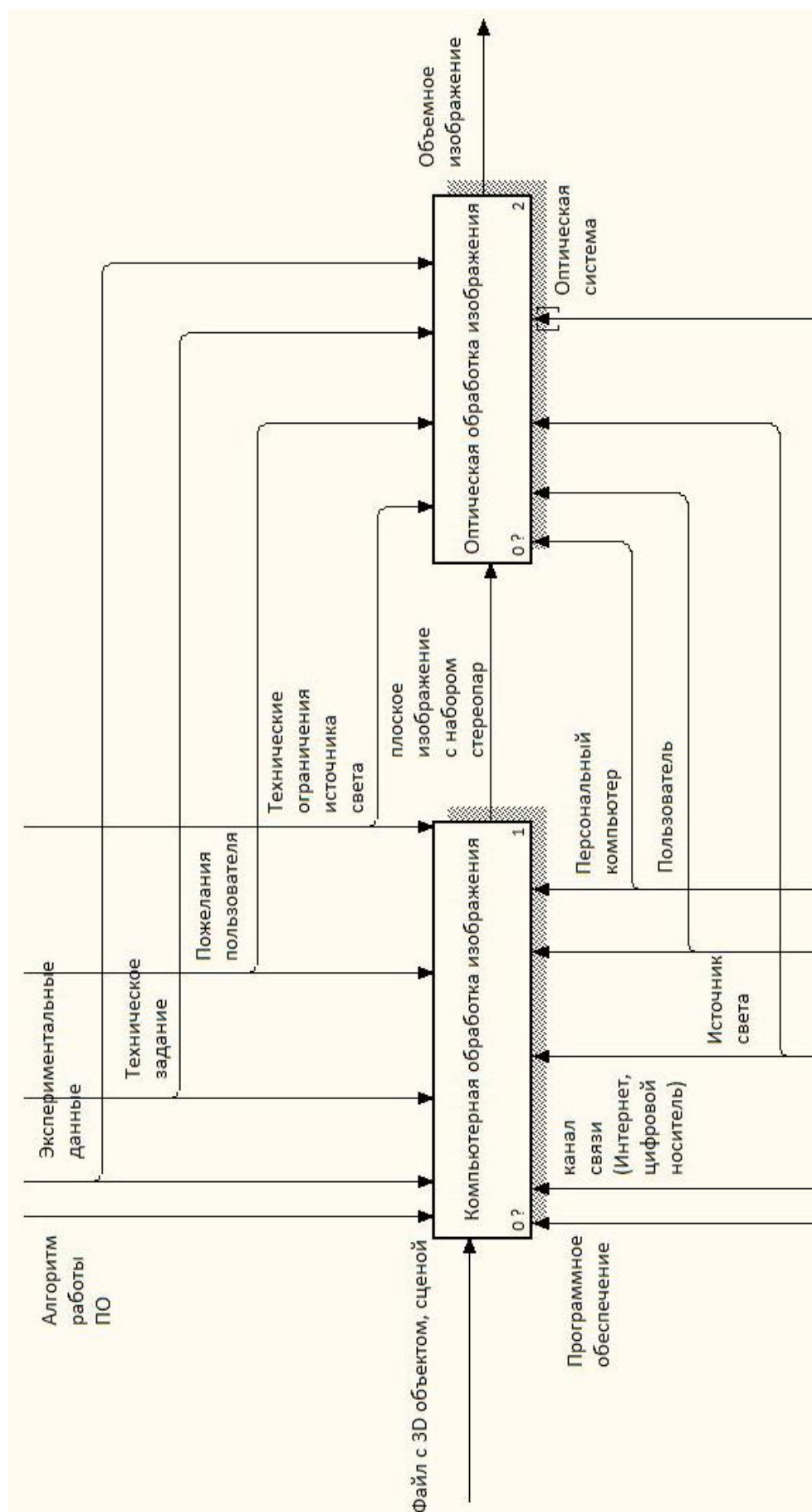


Рисунок 10 – Функциональное моделирование процесса преобразования изображения (1-й уровень)

Эта информация поступает на вход блока «Оптическая обработка изображения», результатом которого является формирование объемного изображения, наблюдаемого пользователем. На этот блок действуют ограничения, которые описаны для предшествующего блока системы. К инструментам добавляется оптическая система, представляющая набор оптических компонентов, варьируемых в зависимости от выбранного технического решения. Так как оптическая система состоит из ряда компонентов, а также в ряде технических решений имеет различные комплектации, поэтому стрелка на схеме имеет туннель у входа в блок. Более подробное описание рассмотрим при детальном анализе блока.

Аналогичное представление следует осуществить и с последующими этапами процесса формирования объемного изображения. В результате анализа выделены следующие основные стадии преобразования изображений из «исходных» в конечное, объемное. Такое преобразование происходит в волюметрических дисплеях (рис. 11), где изображение представляется в виде вокселей, реально разнесенных в пространстве.

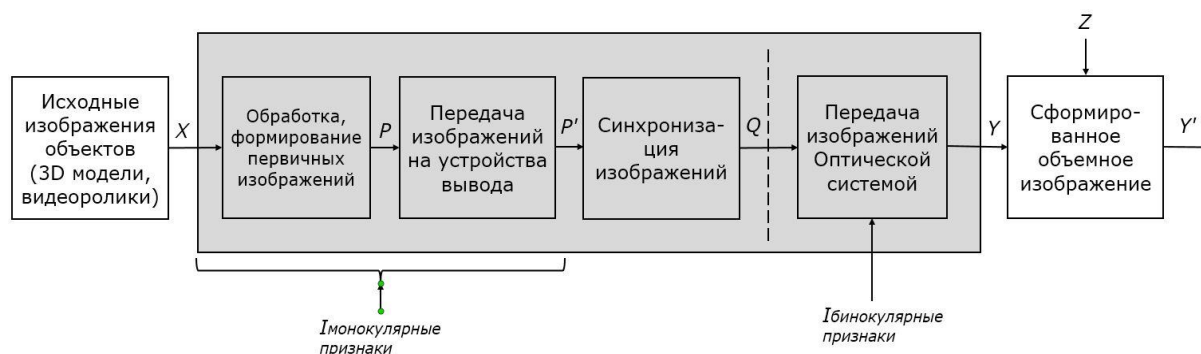


Рисунок 11 – Обобщенная последовательность преобразований в волюметрических дисплеях

Рассмотрим более подробно этапы формирования изображения. Исходные изображения обозначены как «X». К исходным относятся трехмерные модели объектов или сцен, а также их видеоряд, причем они достаточны для воспроизведения на их основе объемных изображений. Эти данные подаются на блок обработки и формирования первичных изображений P. На этой стадии производится создание кластера двумерных изображений объекта, т.е. первичных изображений, из которых далее формируется объемный образ. К кластеру P относятся двумерные изображения объекта, которые используются для создания анимированной визуализации при помощи следующего: соответствующей съемки трехмерного объекта или сцены с различных ракурсов; специально подготовленного набора стереопар; разложения объектов сцены на нескольких различных слоях; представления вышеописанной информации в формате видеоматериалов.

С использованием устройства вывода (персональный компьютер) из переданных первичных изображений P получается составное изображение P', либо объединенное изображение, подаваемое на единственный экран, либо набор изображений, подаваемых на множество устройств воспроизведения. Также для корректного объединения составных частей изображений необходимо синхронизировать их демонстрацию во времени. В результате получается синхронизованное в пространстве и времени изображение Q, которое передается на вход оптической системы для создания окончательного объемного изображения Y. Последнее воспринимается пользователем с учетом его психофизиологических особенностей организма Z в виде изображения Y'.

Представим эти процессы в формализованном виде (рис. 12).

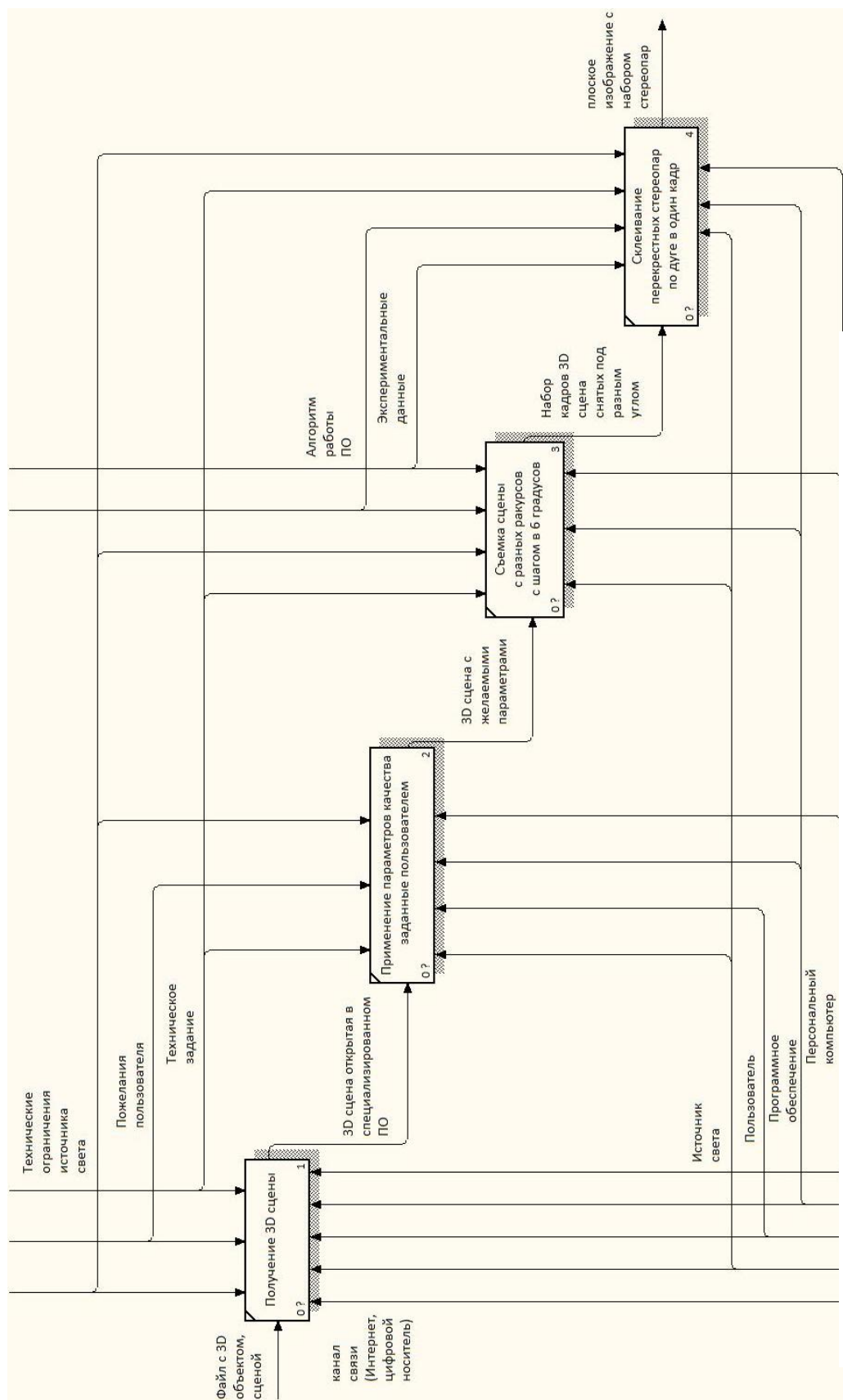


Рисунок 12 – Функциональное моделирование процесса компьютерной обработки изображения (2 уровень)

Рассмотрим блоки функционального моделирования компьютерной обработки изображения на рисунке 12 последовательно.

1. Пользователь получает исходные данные через выбранный канал связи. Большинство дисплеев из предлагаемого модельного ряда работают с интернетом. Также возможно проводное подключение твердотельных носителей информации. Получаемая информация трехмерного объекта или сцены поступает на персональный компьютер пользователя и выводится на экран (источник света), как промежуточный этап – если это требуется (в иных случаях программное обеспечение опускает этот процесс). Результатом выполнения будет подготовленный файл, открытый в специализированном ПО для дальнейшей обработки.

2. Пользователю необходимо определить параметры желаемого качества объемного изображения. Большинство специализированных параметров (линейная перспектива, атмосферная перспектива, параллакс движения, бинокулярная конвергенция, нормальная бинокулярная диспаратность) устанавливаются ПО или в исходных данных сцены. Пользователю предоставляется возможность изменить относительные размеры объекта или сцены, градиент текстуры, а также яркость, контрастность, цветность и разрешение изображения. Результатом выполнения функции является 3D-сцена с реализованными пользовательскими параметрами.

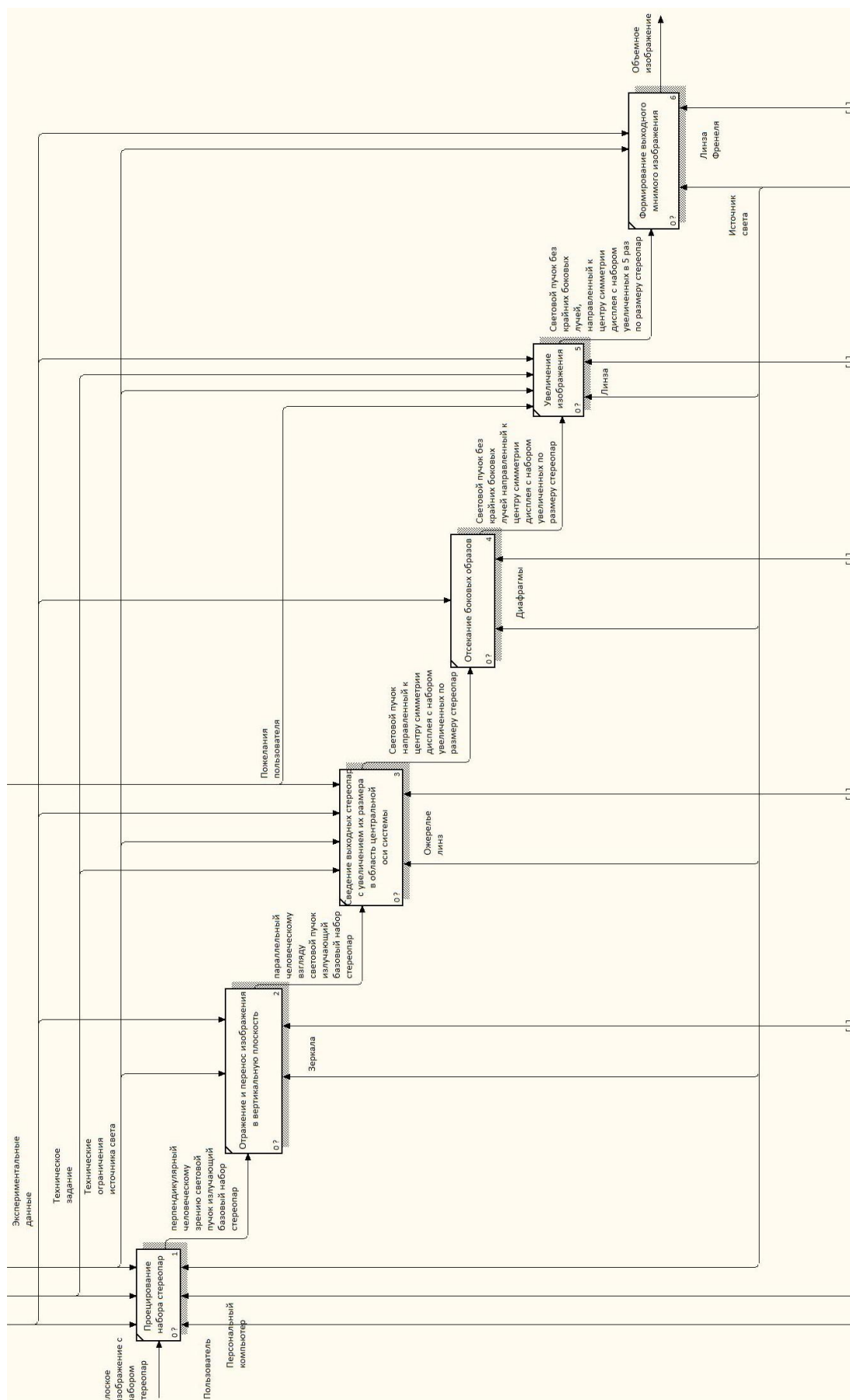
3. После сбора необходимой информации алгоритм программного обеспечения приводится в действие и начинается преобразование объемного объекта или сцены в двухмерные изображения. В случае дисплеев 4, 5 и 6 типа используется съемка объекта с множества ракурсов, обычно этот угол равен 5° – 6° , что соответствует стереоскопическому углу зрения человека. Для дисплеев 3-го типа используется значительно больший угол, а для четкости изображения на дисплеях 2-го типа этот угол, наоборот, уменьшается. Алгоритм ПО для дисплеев 1-го типа выделяет объекты, удаленные друг от друга в сцене, и располагает их на разных слоях (изображениях). В результате работы блока на выходе получается набор подготовленных ракурсов или слоев в двухмерном формате представления изображения.

4. «Склеивание» изображений в единый файл для передачи в блок оптической обработки с помощью источника света. Для дисплея 6в такая задача усложняется необходимостью синхронизации трех источников света с разным набором двухмерных изображений.

Создание объемного изображения предусматривает оптическую обработку изображения. Рассмотрим этот процесс на примере функционального моделирования оптической обработки устройства, оснащенного максимальной комплектацией на базе дисплея 5-го типа (рис. 13). На этом примере поясним общий принцип построения объемного изображения с частными отклонениями для всех типов дисплеев. Набор плоских изображений требуется совместить в видимой области и создать эффект объема с использованием оптических компонентов.

Для обеспечения этого процесса в качестве инструментов используются элементы, аналогичные предыдущему процессу, причем основным является использование дополнительно оптической системы. При построении оптической системы используются экспериментальные данные на основе пожеланий пользователя и технического задания (ТЗ), которые являются управляющим воздействием при построении оптической системы.

Также для наглядности приведем схему рабочей компоновки оптической системы дисплея 5-го типа в изометрии, на примере которого рассмотрим полный процесс оптической обработки, части которого являются общими для остальных дисплеев модельного ряда с частными отклонениями (рис. 14).



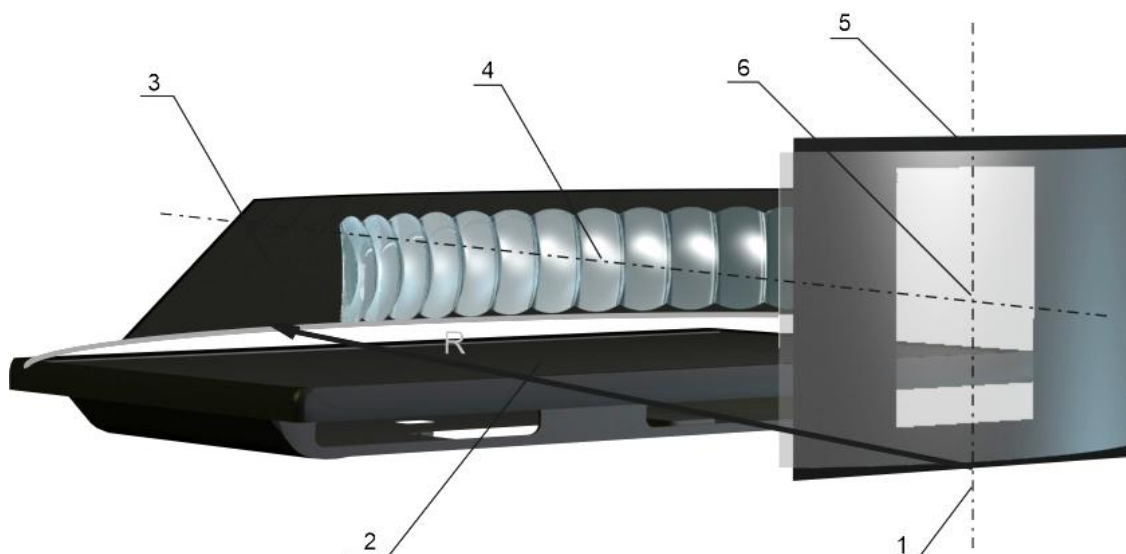


Рисунок 14 – Схема рабочей компоновки оптической системы дисплея 5-го типа (изометрия)

Рассмотрим блоки функционального моделирования оптической обработки изображения последовательно.

1. Воспроизведение подготовленных плоских изображений через источник света (поз. 2, рис. 14), управление и включение которого обеспечивает пользователь с использованием персонального компьютера. Изображение проецируется перпендикулярно выходному экрану, на котором формируется итоговое объемное изображение в большинстве дисплеев модельного ряда. Для дисплеев 2-го и 6б типов необходим такой источник света, чтобы создаваемый пучок света направлялся к выходному экрану (поз. 6, рис. 14).

2. Отражение и перенос изображения. Из-за конструктивных особенностей устройств предусмотрен промежуточный блок в процессе построения изображения, а именно перенос изображений в плоскость, параллельную выходному экрану для дисплеев 1,3 и 6б типов посредством проецирующей грани из органического стекла. Для дисплеев 4, 5, 6а типов – с использованием поверхностей с отражающими свойствами (зеркал) (3, рис. 14) [1, 22].

3. Совмещение набора стереопар и их увеличение. Для обеспечения процесса сведения отдельно проецируемых плоских изображений к оси симметрии (рис. 14, поз. 6), в которой наблюдается совмещенное и целостное изображение, а также увеличение линейных размеров для дисплеев старшего поколения (5-го типа и выше). Для этого необходимо использовать экспериментальные данные, полученные на основе компьютерного моделирования. При построении устройства учитываются расстояния между оптическими объектами, их углы наклона, а также оптические параметры системы, которые влияют на качество выходного изображения для достижения заданных значений характеристик. Например, для дисплеев 1-го типа необходимо расположить строго друг за другом слои проецирующих плоскостей так, чтобы конец одной плоскости являлся началом второй. Дисплеи 2-го типа используют преломляющую поверхность по принципу дифракционной решетки (линзовый растр), которую необходимо подбирать в соответствии с разрешением изображения на экране (выраженных в единицах «пиксель на дюйм» – PPI), а также линзу на дюйм (LPI). Дисплеи 3-го типа используют принцип дисплеев 1-го типа. Однако взаимное расположение граней для них в совокупности представляют геометрическую фигуру в пространстве, в основе которой используется многогранник. Дисплеи 4-го типа используют аналогичный принцип с дисплеем 3-го типа, однако в качестве оптического элемента используются отражающие поверхности (зеркала), установленные на большем расстоянии друг от друга. Дисплеи 5-го типа в качестве инструмента используют совокупность отражающих поверхностей (зеркал) подобно дисплею 4-го типа, а также преломляющие свет элементы (линзы) с аналогичной схемой построения, но меньшим радиусом вписанной окружности (рис. 5, поз. 4). Дисплеи 6-го типа являются модернизацией дисплеев 5-го типа, причем 6а использует дополнительно 3 ряда преломляющих элементов, 6б исключает использование отражающих элементов, а 6в является аналогом 5, но с добавлением проекционных граней дисплея 3-го типа.

4. Для дисплеев последнего поколения (5-го и выше типов) имеется промежуточный блок, обеспечивающий исправление в конечном объемном изображении, которое позволяет обрезать выходное изображение по краям для предотвращения дублирования смежных кадров или их наслаивания на исход-

ное. В качестве инструмента в этом блоке используется диафрагма (рис. 14, поз. 5) для дисплеев всех типов старшего поколения, однако с разными параметрами отверстий, которые получены в экспериментах.

5. В ряде случаев, если техническое задание или пожелание пользователя предусматривает варьирование увеличения линейных размеров выходного объемного изображения свыше 3-хкратного, то в системы вводится промежуточный блок. Он использует в качестве инструмента для увеличения преломляющий элемент (сферическую линзу) большого диаметра в соответствии с параметрами, полученными из экспериментальных данных.

6. Формирование объемного изображения. Для устройств младше 4-го поколения этот процесс обеспечен предыдущими блоками. Дисплей 4-го поколения использует колебания полупрозрачной проекционной плоскости, дисплеи 5 и 6а поколений используют линзу Френеля (рис. 14, поз. 6) в качестве устройства проекции, 6б – сферическое стекло, 6в – проекционные грани пирамиды.

Заключение. Таким образом, в статье рассмотрен объект исследования: трехмерное изображение, формируемое объемными дисплеями из определенного модельного ряда. Предложен модельный ряд, который включает разработанные конструкции объемного дисплея, условно разделяемые на 5 типов, также еще 3 варианта, находящиеся на стадии разработки.

Выполнен системный анализ формирования объемных изображений с использованием стереоскопических и автостереоскопических дисплеев на основе материалов статей [2, 14, 21]; формализация процесса визуализации объемной графической информации для описания работы системы; определение основных характеристик объекта для получения объемного изображения требуемого качества; выявление факторов, влияющих на выходное качество объемного изображения, на основе исследования процесса формирования изображения.

Для этого предложена схема формирования объемного изображения с использованием автостереоскопических дисплеев на основе функционального моделирования с использованием нотаций IDEFO. Показаны основные факторы, влияющие на качество получаемого 3D-изображения. Полученную функциональную модель целесообразно использовать с учетом возможностей статусных функций [5, 26] для решения задачи оптимизации обеспечения выходных объемных изображений заданного качества. Целесообразно выявить множество характеристик двумерных изображений, которые определяют качество выходного объемного изображения для оптимального выбора технического решения из ряда предложенных. При этом необходимо учитывать ряд ограничений, накладываемых определенным техническим решением. От этих ограничений зависит конечное объемное изображение и качество восприятия объема представляемых объектов человеком.

Библиографический список

1. Большаков А. А. Разработка объемного дисплея для решения задач визуализации и диспетчеризации / А. А. Большаков, А. А. Сгибнев, М. А. Железов, А. В. Мельников // Автоматизация в промышленности. – 2016. – № 7. – С. 31–34.
2. Большаков А. А. Системный анализ человеко-машинного взаимодействия на основе статусных функций при формировании объемного изображения в волюметрических дисплеях / А. А. Большаков, И. В. Вешнева, Ю. Н. Грепечук, А. А. Сгибнев, А. В. Ключиков // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2017. – № 40. – С. 102–110.
3. Ежов В. А. Трехмерный дисплей: выбор реализуемых и перспективных технических решений / В. А. Ежов // Киномеханик. – 2006. – № 9–11.
4. Изучение воздушной перспективы в художественной школе / Э. Х. Самигулова, учитель ИЗО // Разделы: МХК и ИЗО. – 11.04.2016.
5. Красильников Н. Н. Коэффициент эффективности зрительной системы человека при произвольных ракурсах наблюдения трехмерных объектов / Н. Н. Красильников, Е. П. Мироненко, О. И. Красильникова // Оптический журнал. – 2006. – Т. 73, № 10. – С. 63–68.
6. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений / Н. Н. Красильников. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 608 с.
7. Медицинские оптические приборы. Физиологическая оптика : учеб. пос. – 3-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 135 с.
8. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В. А. Сойфера. – Москва : Физматлит, 2001. – 784 с.
9. Патент US № 4729017 от 25.02.1986 г. МПК H04N 13/00.
10. Патент Евразии № 200601499 08.02.2005. Трёхмерный дисплей, использующий переменную фокусирующую линзу / Сео Чеонг Соо, Гим Донг Вуо, Чо Гиоунг П [и др.].
11. Раушенбах Б. Системы перспективы в изобразительном искусстве / Б. Раушенбах. – Москва : Наука, 1986.
12. Ребер А. Оксфордский толковый словарь по психологии / А. Ребер. – 2002.
13. Сгибнев А. А. Анализ технических решений при разработке объемного дисплея для информационно-коммуникационного взаимодействия в сети интернет / А. А. Сгибнев // Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности : Междунар. науч.-практ. конф. (МНПК «ЛЭРЭП-10-2017»), г. Тула, ТГУ – 15–16 ноября 2017 г. – Режим доступа: <http://lerei2017.sstu.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

14. Учаев Д. Ю. Анализ и управление рисками, связанными с информационным обеспечением человеко-машинных АСУ технологическими процессами в реальном времени / Д. Ю. Учаев, Ю. М. Брумштейн, И. М. Ажмухамедов, О. М. Князева, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 2 (34). – С. 82–97.
15. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение / Д. Хьюбел. – Москва : Мир, 1990. – 239 с.
16. Хьюбел Д. Х. Бинокулярная конвергенция – Глаз, мозг, зрение / Д. Х. Хьюбел ; пер. Г. Шараева. – Москва : Мир, 1990.
17. An Automultiscopic Projector Array for Interactive Digital Humans / A. Jones, J. Unger, K. Nagano et al. // SIGGRAPH 2015. – ACM Press, 2015.
18. Barry G. Blundell. Volumetric three-dimensional display systems / G. Blundell Barry, J. Schwarz Adam. – John Wiley & Sons Inc. (NY), 2013. – 330 p.
19. Bolshakov A. System analysis of formation and perception processes of three-dimensional images in volumetric displays / A. Bolshakov, A. Sgibnev // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – Vol. 973. – P. 1–10. DOI:10.1088/1742-6596/973/1/012060 (<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/973/1/012060>).
20. Bolshakov A. A. A Model of the Optical System of the Interdisp Display / A. A. Bolshakov, Yu. N. Grepechuk, A. V. Klyuchikov, A. A. Sgibnev // International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE. – 2018. – Art. no. 8542354. – P. 63–70. ISBN: 978-153864332-7. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542354/
21. Bolshakov A. A. Assessment of the effectiveness of decision support in the application of the information system for monitoring the process of forming competences based on status functions / A. A. Bolshakov, I. V. Veshneva // International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE. – 2018. – Art. no. 8542462. – P. 75–82. ISBN: 978-153864332-7. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542462/
22. Bolshakov A. A. Development method of forming three-dimensional images for autostereoscopic volumetric displays / A. A. Bolshakov, M. A. Zhelezov, V. V. Lobanov, A. V. Nikonov, A. A. Sgibnev // 2014 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE : Conference Proceedings. – 2014. – Vol. 2, art. no. 6958294. – P. 461–468. DOI: 10.1109/APEDE.2014.6958294. ISBN: 978-590652276-4.
23. Cutting J. Perceiving layout and knowing distances: The integration, relativepotency, and contextual use of different information about depth / J. Cutting, P. M. Vishton // Epstein W. & Rogers S. (eds.) Handbook of perception and cognition. – San Diego, CA : Academic Press, 1995. – Vol. 5. Perception of space and motion. – P. 69–117.
24. Endo (Yendo) T. Cylindrical 3-D Video Display Observable from All Directions / T. Endo (Yendo), Y. Kajiki, T. Honda, M. Sato // Proc. Pacific Graphics. – 2000.
25. Jones A. Rendering for an interactive 360° light field display / A. Jones, I. McDowall, H. Yamada, M. Bolas, P. Debevec // ACM Trans. Graph. – 2007. – № 26 (3). – P. 40.
26. Nagano K. An Autostereoscopic Projector Array Optimized for 3D Facial Display / K. Nagano, A. Jones et al. // SIGGRAPH 2013 Emerging Technologies. – 2013.

References

1. Bolshakov A. A., Sgibnev A. A., Zhelezov M. A., Melnikov A. V. Razrabotka obemnogo displeya dlya resheniya zadach vizualizatsii i dispatcherizatsii [Development of a volumetric display for solving tasks of visualization and scheduling]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in industry], 2016, no. 7, pp. 31–34.
2. Bolshakov A. A., Veshneva I. V., Grepechuk Yu. N., Sgibnev A. A., Klyuchikov A. V. Sistemnyy analiz cheloveko-mashinnogo vzaimodeystviya na osnove statusnykh funktsiy pri formirovanii obemnogo izobrazheniya v volyumentricheskikh displeyakh [System analysis of human-machine interaction based on status functions in the formation of a volumetric image in volumetric displays]. *Izvestiya SPbGTI(TU)* [Proceedings of the St. Petersburg State Institute of Technology and Technology], 2017, no. 40, pp. 102–110.
3. Yezhov V. A. Trekhmernyy display: vybor realizuemykh i perspektivnykh tekhnicheskikh resheniy [Three-dimensional display: a choice of realizable and promising technical solutions]. *Kinomekhanik* [Kinomechanic], 2006, no. 9–11.
4. Samigulova E. Kh. Izuchenie vozduzhnoy perspektivy v khudozhestvennoy shkole [Studying an aerial perspective in art school]. *Razdely: MKhK i IZO* [Sections: Moscow art academy and fine arts], 11/04/2016.
5. Krasilnikov N. N., Mironenko E. P., Krasilnikova O. I. Koeffitsient effektivnosti zritel'noy sistemy cheloveka pri proizvolnykh rakursakh nablyudeniya trekhmernykh obektov [Efficiency coefficient of the human visual system with arbitrary viewing angles of three-dimensional objects]. *Opticheskiy zhurnal* [Optical journal], 2006, vol. 73, no. 10, pp. 63–68.
6. Krasilnikov N. N. *Tsifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazheniy* [Digital processing of 2D and 3D images]. St. Petersburg, BKhV-Petersburg Publ., 2011. 608 p.
7. *Medit'sinskie opticheskie pribory. Fiziologicheskaya optika* [Medical optical devices. Physiological optics: studies]. 3rd ed., rev. and add. Novosibirsk, SSGA Publ., 2010. 135 p.
8. Soifer V. A. (ed.) *Metody kompyuternoy obrabotki izobrazheniy* [Methods of computer image processing]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 784 p.
9. *US Patent No. 4,729,017* of February 25, 1986. IPC H04N 13/00.
10. *Eurasia Patent No. 200601499 08.02.2005* Three-dimensional display using a variable focusing lens / Seo Cheong Soo, Gim Dong Woo, Cho Gioung II [et al.].
11. Rauschenbakh B. *Sistemy perspektivy v izobrazitel'nom iskusstve* [Systems of perspectives in the visual arts]. Moscow, Nauka Publ., 1986.
12. Reber A. *Oksfordskiy tolkovyy slovar po psikhologii* [Oxford Dictionary of Psychology], 2002.
13. Sgibnev A. A. Analiz tekhnicheskikh resheniy pri razrabotke obemnogo displeya dlya informatsionno-kommunikatsionnogo vzaimodeystviya v seti internet [Analysis of technical solutions in the development of a volumetric

display for information and communication interaction on the Internet]. *Logistika i ekonomika resursosberezheniya i energosberezheniya v promyshlennosti : Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (MNPk «LEREP-10-2017»)* [Logistics and Economics of Resource Saving and Energy Saving in Industry (RER "LEREP-10-2017") : International Scientific and Practical Conference], Tula, TSU –November 15–16, 2017. Available at: <http://lerei2017.sstu.ru>.

14. Uchaev D. Yu., Brumshtein Yu. M., Azhmukhamedov I. M., Knyazeva O.M., Dyudikov I. A. Analiz i upravlenie riskami, svyazannymi s informatsionnym obespecheniem cheloveko-mashinnykh ASU tekhnologicheskimi protsessami v realnom vremeni [Analysis and management of risks associated with the information support of man-machine automated process control systems of technological processes in real time]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and high technologies], 2016, no. 2 (34), pp. 82–97.

15. Khyubel D. *Glaz, mozg, zrenie* [Eye, Brain, Vision]. Moscow, Mir Publ., 1990. 239 p.

16. Khyubel D. Kh. *Binokulyarnaya konvergentsiya – Glaz, mozg, zrenie* [Binocular Convergence – Eye, Brain, Vision], Moscow, Mir Publ., 1990.

17. Jones A., Unger J., Nagano K. et al. An Automultiscopic Projector Array for Interactive Digital Humans. *SIGGRAPH 2015*. ACM Press, 2015.

18. Barry G. Blundell, Adam J. Schwarz. *Volumetric three-dimensional display systems*. John Wiley & Sons Inc. (NY), 2013. 330 p.

19. Bolshakov A., Sgibnev A. System analysis of formation and perception processes of three-dimensional images in volumetric displays. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 2018, vol. 973, pp. 1–10. DOI:10.1088/1742-6596/973/1/012060 (<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/973/1/012060>).

20. Bolshakov A. A., Grepechuk Yu. N., Klyuchikov A.V., Sgibnev A. A. A Model of the Optical System of the Interdisp Display. *International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE*, 2018, art. no. 8542354, pp. 63–70. ISBN: 978-153864332-7. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542354/

21. Bolshakov A. A., Veshneva I. V. Assessment of the effectiveness of decision support in the application of the information system for monitoring the process of forming competences based on status functions. *International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE*, 2018, art. no. 8542462, pp. 75–82. ISBN: 978-153864332-7. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542462/

22. Bolshakov A. A., Zhelezov M. A., Lobanov V. V., Nikonov A. V., Sgibnev A. A. Development method of forming three-dimensional images for autostereoscopic volumetric displays. *2014 International Conference on Actual Problems of Electron. Devices Engineering, APEDE : Conference Proceedings*, 2014, vol. 2, art. no. 6958294, pp. 461–468. DOI: 10.1109/APEDE.2014.6958294. ISBN: 978-590652276-4.

23. Cutting J., Vishton P. M. Perceiving layout and knowing distances: The integration, relativepotency, and contextual use of different information about depth. Epstein W. & Rogers S. (Eds.) *Handbook of perception and cognition*. San Diego, CA, Academic Press, 1995, vol. 5. Perception of space and motion, pp. 69–117.

24. Endo (Yendo) T., Kajiki Y., Honda T., Sato M. Cylindrical 3-D Video Display Observable from All Directions. *Proc. Pacific Graphics*, 2000.

25. Jones A., McDowall I., Yamada H., Bolas M., Debevec P. Rendering for an interactive 360° light field display. *ACM Trans. Graph.*, 2007, no. 26 (3), p. 40.

26. Nagano K., Jones A. et al. An Autostereoscopic Projector Array Optimized for 3D Facial Display. *SIGGRAPH 2013 Emerging Technologies*, 2013.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.041, 004.62

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ИНВЕСТИЦИОННОГО КЛИМАТА НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

Статья поступила в редакцию 13.05.2019, в окончательном варианте – 05.06.2019.

Кравец Алла Григорьевна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28

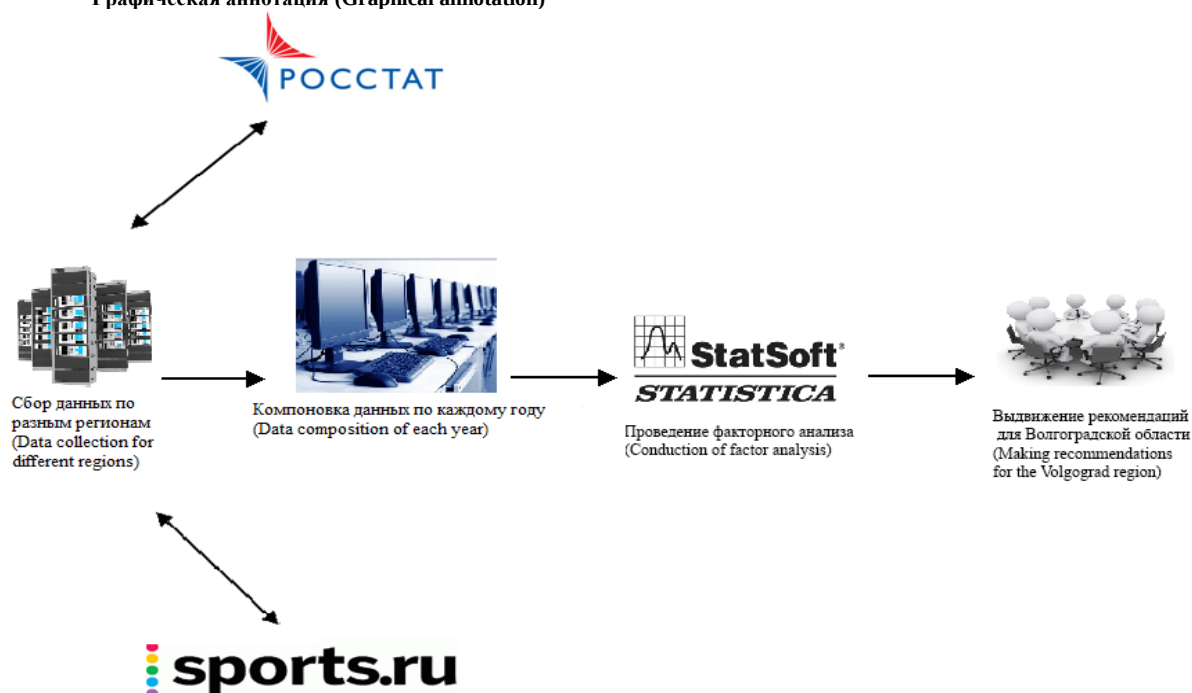
доктор технических наук, профессор, ORCID 0000-0003-1675-8652, e-mail: agk@gde.ru

Кучеренко Артем Александрович, Волгоградский государственный университет, 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Университетский, 100, магистрант, e-mail: kucherenko_art@mail.ru

Региональный инвестиционный климат – чрезвычайно динамичная категория, постоянно меняющаяся в лучшую или худшую сторону, особенно в период цифровой трансформации региональной экономической системы. Поэтому возникает необходимость регулярного мониторинга характеристик инвестиционного климата, определения их величин, их сравнения (в динамике для одного региона или между разными регионами). В ходе исследования была создана иерархическая модель для оценки регионального инвестиционного климата. Для решения задач по теме исследования были использованы данные, предоставленные Федеральной службой государственной статистики и интернет-ресурса «Спортивный обозреватель». Для оценки инвестиционного климата была сформирована выборка данных за 2015–2017 гг. по регионам, сходным по своим параметрам с Волгоградской областью. Для исследования регионального инвестиционного климата был применен метод факторного анализа. По результатам такого анализа для каждого года были сделаны выводы. На их основе сформулированы некоторые рекомендации для улучшения регионального инвестиционного климата в Волгоградской области.

Ключевые слова: инвестиционный климат, инвестиционный потенциал, региональный инвестиционный климат, многомерный статистический анализ, факторный анализ, корреляционная матрица, метод главных компонент

Графическая аннотация (Graphical annotation)



A RESEARCH OF THE REGIONAL INVESTMENT CLIMATE
BASED ON FACTOR ANALYSIS

The article was received by editorial board on 13.05.2019, in the final version – 05.06.2019.

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

Doct. Sci. (Engineering), Professor, ORCID 0000-0003-1675-8652, e-mail: agk@gde.ru

Kucherenko Artyom A., Volgograd State University, 100 Universitetskii prospect, Volgograd 400062, Russian Federation,

undergraduate student, e-mail: kucherenko_art@mail.ru

The regional investment climate is an extremely dynamic category, constantly changing for the better or for the worse, especially during the period of transformation of the economic system; therefore, there is a need for its regular monitoring. During the study, a hierarchical model was created to rating the regional investment climate. To solve the research problem, the data provided by the Federal State Statistics Service and a sports observer were used. A sample of data for 2015–2017 for regions, similar in parameters to the Volgograd region, to rating the investment climate. To study the regional investment climate, a procedure for conducting factor analysis has been defined. The conclusions are made according to the results of the factor analysis for each year. Based on the findings, recommendations have been formulated for improving the regional investment climate in the Volgograd region.

Keywords: investment climate, investment potential, regional investment climate, multivariate statistical analysis, factor analysis, correlation matrix, principal component method

Введение. В настоящее время отчетливо наблюдается тенденция смены парадигм для систем управления региональным развитием. Новые подходы к организации управления развитием регионов основаны на необходимости использования цифровых преобразований, формирующих новые свойства региональной системы, способствующих творческой активности и самореализации жителей, развитию экономики знаний и уникальных культурных пространств. При этом необходимо учитывать, что анализ ситуаций и принятие решений по осуществлению инвестиционной деятельности в регионе, развитию его систем связаны с оценкой большого числа параметров, сопоставлением всевозможных их сочетаний. Технологическая неопределенность и неопределенность исходных данных при исследовании экономического состояния региона делает невозможным принятие решений для реализации показателей и характеристик новых инвестиционных проектов. В этом случае необходимо учитывать неоднозначность результатов реализации программ и использовать различные методы обработки исходных показателей. [6]

Современные исследователи определяют «инвестиционный климат» как обобщенную характеристику совокупности социальных, экономических, организационных, правовых, политических, социокультурных предпосылок, предполагающих привлекательность и целесообразность инвестирования в ту или иную хозяйственную систему (экономику страны, региона, корпорации) [6].

Основными предпосылками формирования благоприятного инвестиционного климата принято считать устойчивые темпы экономического развития, политическую стабильность и наличие рыночных институтов. К ним относятся прежде всего прозрачное и стабильное хозяйственное законодательство, наличие развитой кредитно-банковской системы. Определенное значение имеют и меры государственной поддержки инвестирования [8].

Целью данного исследования является формирование системы факторов для оценки регионального инвестиционного климата на основе анализа количественных показателей инвестиционного потенциала и качественных показателей имиджа региона.

Иерархическая модель регионального инвестиционного климата. Для оценки социально-экономических показателей в современной статистике используются методы многомерного статистического анализа. С помощью первой группы таких методов можно описать закономерности взаимосвязей между большим числом показателей (x) и результатом (y). С помощью второй группы методов – выстроить ранжирование (или рейтинг) для различных данных и/или объектов, которые характеризуют эти данные. С помощью третьей группы методов – выделить связи между большим числом показателей (x).

Для формирования списка показателей используются две методики оценки регионального инвестиционного климата (РИК).

1. Самым распространенным методом оценки РИК в Российской Федерации на данный момент является метод, предложенный рейтинговым агентством Эксперт-РА [2]. В нем выделяются две группы показателей: инвестиционный потенциал и инвестиционный риск. Показатели, используемые для моделирования инвестиционного риска, сложны для подсчета и оценки. Поэтому из метода оценки Эксперт-РА мы возьмем только инвестиционный потенциал [10].

2. Второй метод предложен Т. Лукьяненко [7]. Она считала, что желание инвестора вложить деньги в тот или иной регион во многом зависит от «общего настроения» в этом регионе. Она назвала это

имиджем региона и объяснила это очень просто – имидж региона будет внушать доверие потенциальным инвесторам. За созданием (формированием) имиджа стоит очень сложная, кропотливая и многоплановая работа, включающая в себя, в частности, использование методов Public Relations (PR). При правильно выбранном и умело преподнесенном имидже даже экономически слабые регионы могут рассчитывать на то, что ими заинтересуются потенциальные инвесторы.

Имидж региона можно разделить на несколько составляющих: информация о регионе, которая попадает в СМИ, и особенно в интернет, спортивные достижения региона, настроение жителей региона и др. Информация о регионе в СМИ и интернете субъективна и не поддается количественной оценке.

Спортивные достижения региона связаны со многими видами спорта, однако оценка достижений в различных видах спорта несоразмерна. Поэтому целесообразно выделить какой-то один вид спорта. В данном исследовании для этого выбран футбол – самый популярный вид спорта. В каждом регионе есть футбольный клуб, входящий в Российский футбольный союз (в рамках той или иной лиги). На основании показателей этого спортивного клуба и будут отобраны показатели для оценки.

Таким образом, для реализации цели исследования предложена иерархическая модель показателей РИК (рис. 1) и определены количественные показатели инвестиционного потенциала (рис. 2).

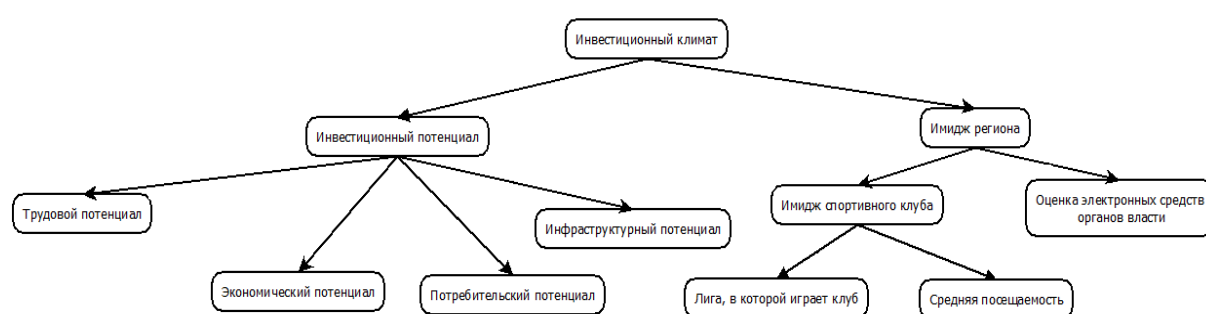


Рисунок 1 – Общий вид иерархической модели регионального инвестиционного климата

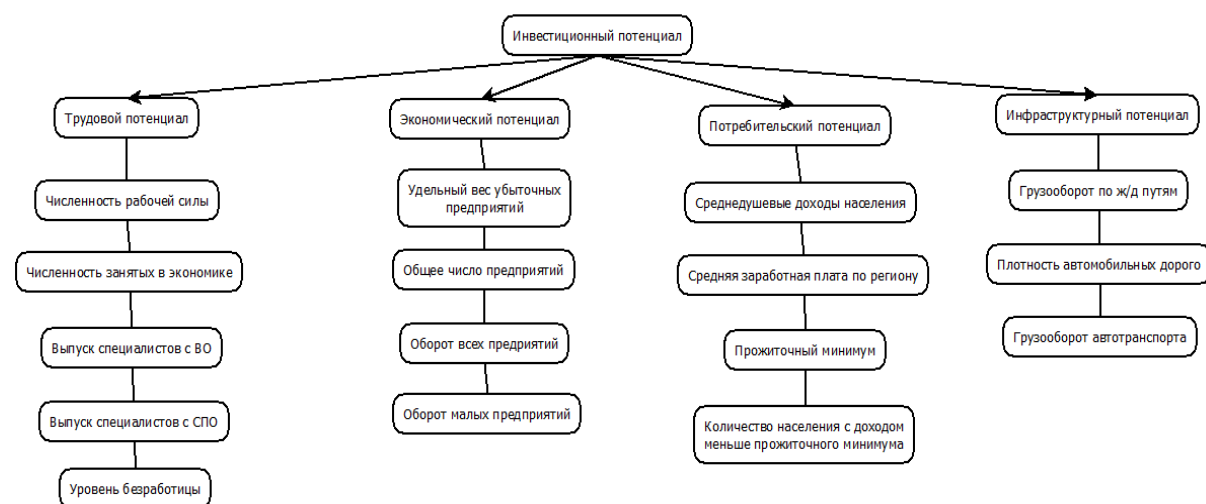


Рисунок 2 – Показатели инвестиционного потенциала иерархической модели регионального инвестиционного климата

С точки зрения авторов статьи, предложенный набор показателей обладает свойствами «необходимости и достаточности».

Таким образом, для дальнейшего использования выделены 16 показателей инвестиционного потенциала и 3 показателя имиджа региона. Исследование будет проводиться с данными за 2015–2017 гг., чтобы проследить изменение факторов (показателей) в динамике. Потом будут представлены результаты анализа за 2017 г. с добавлением показателей имиджа региона. Данные по инвестиционному потенциалу взяты из публикации по региональным данным с сайта Росстата [14]. Данные по спортивному имиджу взяты со спортивного сайта [13].

Для оценки социально-экономических показателей в современной статистике используются методы многомерного статистического анализа. С помощью первой группы методов можно описать закономерности взаимосвязей между большим числом показателей (x) и результатом (y). С помощью второй группы методов – выстроить рэнкинг (или рейтинг) для различных данных и/или объектов, которые характеризуют такие данные. С помощью третьей группы методов – выделить связи между большим числом показателей (x). Целью данного исследования является формирование системы факторов для оценки регионального инвестиционного климата на основе анализа количественных показателей инвестиционного потенциала и качественных показателей имиджа региона.

Общая методика проведения исследования представлена на рисунке 3.

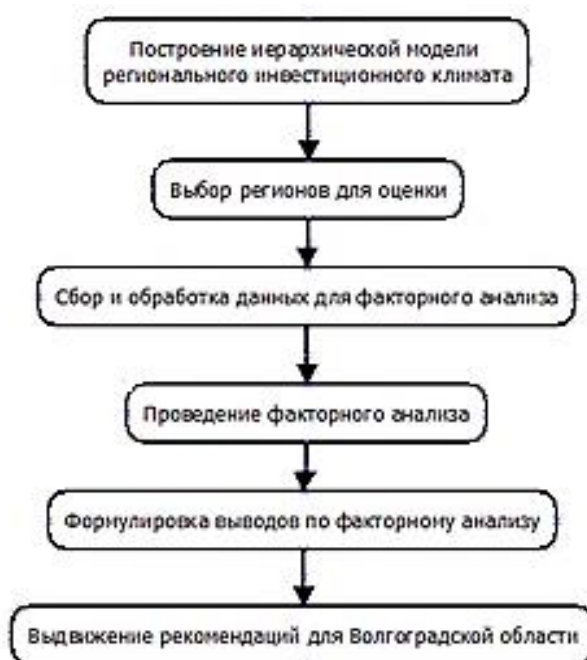


Рисунок 3 – Общая схема методики исследования

Выбор регионов для анализа. Для проведения исследования нужно выделить регионы, данные которых будут обработаны методом факторного анализа (табл.). Основным регионом будет являться Волгоградская область. Остальные регионы будут подобраны с помощью методов из [15, 16] для сравнительной оценки относительно Волгоградской области. Для корректного сравнения требуются субъекты РФ типа «область», так как у них с Волгоградской областью одинаковый федеральный статус. Также выбираются регионы с близким географическим положением, чтобы обеспечить сопоставимые природно-климатические условия, так как будут сравниваться только социально-экономические показатели [9, 17].

Таблица – Выбранные регионы

	Площадь области	Численность населения	ВРП на душу населения	Спортивный клуб региона в РФС
Волгоградская область	112,9	2521,3	292565,7	Ротор
Астраханская область	49,0	1017,5	332447,4	Астрахань
Ростовская область	101,0	4220,4	300186,2	Ростов
Саратовская область	101,2	2463,0	263773,6	Сокол
Тамбовская область	34,5	1033,6	297933,7	Тамбов
Воронежская область	52,2	2333,8	360418,2	Факел
Белгородская область	27,1	1549,9	470874,3	Энергомаш
Пензенская область	43,4	1331,7	251717,5	Зенит-Пенза
Самарская область	53,6	3193,5	397857,2	Крылья Советов
Ульяновская область	37,2	1246,6	261500,3	Волга
Орловская область	24,7	747,2	282494,1	Орел
Рязанская область	39,6	1121,5	298624,0	Рязань

Факторный анализ. В современной статистике под факторным анализом понимают совокупность методов, которые на основе реально существующих связей признаков (или объектов) позволяют выявлять латентные обобщающие характеристики организационной структуры и механизма развития изучаемых явлений и процессов [12].

Понятие латентности в этом определении имеет большое значение. Оно означает неявность характеристик, раскрываемых при помощи методов факторного анализа. Вначале мы имеем дело с набором элементарных признаков $\{x\}$. Их взаимодействие предполагает наличие определенных причин, особенных условий, т.е. существование некоторых скрытых (неявных) факторов. Последние устанавливаются в результате обобщения элементарных признаков и выступают как интегрированные характеристики, или признаки, но более высокого уровня. Естественно, что коррелировать могут не только тривиальные признаки $\{x\}$, но и параметры наблюдаемых объектов $\{n\}$. Поэтому поиск латентных факторов теоретически возможен как по признаковым, так и по объектным данным [12].

Для определения нужных показателей в предложенной методике используется построение корреляционной матрицы. Выставляется норма, ниже которой не должны опускаться корреляции между показателями. В случае, если будет показатель, все корреляции которого будут меньше этого значения, этот показатель следует убрать из анализа. Обычно берут пороговое значение для показателя корреляции, равное 0,3 [2].

Для определения нужного числа факторов используется метод главных компонент. Потом определяется нужное число факторов [11]. Для этого существует 3 метода.

1. Метод Кайзера. Его суть в том, что остаются те факторы, которые содержат больше «единицы» информации (у которых дисперсия больше единицы). Если фактор является некоторым обобщением переменных, то в нем должно быть больше информации, чем в переменных. Каждая переменная содержит единицу информации, значит, фактор должен нести больше единицы информации. Наоборот, если в факторе содержится меньше информации, чем в каждой из исходных переменных, то он не нужен, малоинформативен [5].

2. Второй метод – графический. Число факторов определяется по графику Scree Plot (Каменистая осыпь). На графике присутствует столько же точек, сколько исходных переменных, в нашем случае их двенадцать. На оси ОХ откладываются их номера, на оси ОУ – значения из столбца Eigenvalue (собственные значения) таблицы Eigenvalues. График называется Scree Plot. В соответствии с рекомендациями номер той точки, в которой график переходит в пологое состояние, дает нам искомое число факторов [5].

3. Третий метод наиболее подходит для данной задачи, он предписывает оставлять столько факторов, сколько удастся объяснить. Полезны те факторы, которые понятны. Если не удалось объяснить фактор, то он является математическим артефактом, который мало что добавляет к пониманию явления [5].

Для проведения факторного анализа был выбран программный продукт Statistica 10 [1].

Факторный анализ данных. В начале факторного анализа проверяются теснота линейных связей между переменными с помощью построения корреляционной матрицы (рис. 4–7). Сравниваются все недиагональные элементы со значением 0,3. Если значения всех недиагональных переменных для какой-то переменной меньше 0,3, то такая переменная исключается из анализа.

В приведенных таблицах видно, что малых значений незначительное количество, присутствует много больших значений от 0,65 до 0,9 (выделены красным). Таким образом, проведенный факторный анализ будет содержательным и позволит нам выделить нужные факторы.

Variable	Correlations (2015.sta)							
	Means	Std.Dev.	Численность рабочей силы	Численность занятых в экономике	Выпуск специалистов с ВО	Выпуск специалистов с СПО	Уровень безработицы	Удельный вес убыточных предприятий
Численность рабочей силы	979.42	549.81	1.000000	0.997109	0.963936	0.991658	-0.090201	-0.091582
Численность занятых в экономике	905.62	523.04	0.997109	1.000000	0.959141	0.985978	-0.142373	-0.116053
Выпуск специалистов с ВО	17.88	11.20	0.963936	0.959141	1.000000	0.966614	-0.090265	-0.217675
Выпуск специалистов с СПО	6.57	3.60	0.991658	0.985978	0.966614	1.000000	-0.050749	-0.127823
Уровень безработицы	5.22	1.25	-0.090201	-0.142373	-0.090265	-0.050749	1.000000	0.439781
Удельный вес убыточных предприятий	32.09	7.30	-0.091582	-0.116053	-0.217675	-0.127823	0.439781	1.000000
Общее число предприятий	46271.33	30564.05	0.933251	0.954009	0.865142	0.908531	-0.285855	-0.159828
Оборот всех предприятий	770.50	596.98	0.892666	0.912819	0.824487	0.856345	-0.286549	-0.230058
Оборот малых предприятий	214.92	157.52	0.944598	0.946953	0.926872	0.952825	-0.254036	-0.172827
Среднедушевые доходы населения	24595.25	3008.58	0.298684	0.342295	0.382596	0.272166	-0.396010	-0.502469
Средняя заработная плата по региону	24135.33	1671.10	0.458485	0.487380	0.388345	0.426095	-0.105689	0.014425
Прожиточный минимум	8335.50	411.62	0.594895	0.590452	0.523179	0.562387	0.263593	0.135294
Количество населения с доходом ниже прожиточного минимума	13.10	2.44	0.155546	0.122434	0.067332	0.173263	0.395002	0.567308
Перевозки грузов по ж/д путям	14.74	14.23	0.274757	0.287926	0.235069	0.240557	-0.198091	-0.169572
Плотность автомобильных дорог	286.42	153.15	-0.093564	-0.067803	-0.025788	-0.151879	-0.535493	-0.536927
Грузооборот автотранспорта	2375.33	1553.73	0.832274	0.841992	0.851179	0.790557	-0.257039	-0.295324

Рисунок 4 – Корреляционная матрица факторного анализа по 2015 г. (фрагмент)

Variable	Correlations (2016.sta)							
	Means	Std.Dev.	Численность рабочей силы	Численность занятых в экономике	Выпуск специалистов с ВО	Выпуск специалистов с СПО	Уровень безработицы	Удельный вес убыточных предприятий
Численность рабочей силы	981.83	556.49	1.000000	0.997778	0.970502	0.987387	-0.054258	-0.378723
Численность занятых в экономике	903.32	520.29	0.997778	1.000000	0.969189	0.984185	-0.090080	-0.398614
Выпуск специалистов с ВО	14.78	9.88	0.970502	0.969189	1.000000	0.954509	-0.093908	-0.497526
Выпуск специалистов с СПО	6.85	3.83	0.987387	0.984185	0.954509	1.000000	0.020068	-0.386942
Уровень безработицы	5.20	1.17	-0.054258	-0.090080	-0.093908	0.020068	1.000000	0.416352
Удельный вес убыточных предприятий	31.17	6.48	-0.378723	-0.398614	-0.497526	-0.386942	0.416352	1.000000
Общее число предприятий	45278.67	29946.12	0.929429	0.949703	0.904352	0.904737	-0.229407	-0.424665
Оборот всех предприятий	808.17	639.51	0.908562	0.923572	0.881037	0.862101	-0.215205	-0.467378
Оборот малых предприятий	387.84	284.48	0.093068	0.129184	0.073752	0.102127	0.140257	0.080590
Среднедушевые доходы населения	24445.75	3390.92	0.239459	0.265735	0.353928	0.184614	-0.447668	-0.573417
Средняя заработная плата по региону	25738.25	1861.13	0.412315	0.430880	0.346582	0.381306	0.010187	0.006491
Прожиточный минимум	8656.58	495.68	0.561191	0.570711	0.489478	0.559823	0.196871	0.079749
Количество населения с доходом ниже прожиточного минимума	13.37	2.77	0.110375	0.088763	0.012390	0.168048	0.574883	0.534548
Перевозки грузов по ж/д путям	14.40	13.45	0.282467	0.290545	0.278793	0.210510	-0.180845	-0.289308
Плотность автомобильных дорог	290.75	160.38	-0.083911	-0.071003	0.008478	-0.205350	-0.563159	-0.406815
Грузооборот автотранспорта	2410.75	1433.74	0.823001	0.817035	0.858649	0.746815	-0.297260	-0.451399

Рисунок 5 – Корреляционная матрица факторного анализа по 2016 г. (фрагмент)

Variable	Correlations (2017.sta)							
	Means	Std.Dev.	Численность рабочей силы	Численность занятых в экономике	Выпуск специалистов с ВО	Выпуск специалистов с СПО	Уровень безработицы	Удельный вес убыточных предприятий
Численность рабочей силы	967.33	544.20	1.000000	0.998372	0.970017	0.990130	-0.092393	-0.323978
Численность занятых в экономике	889.23	509.40	0.998372	1.000000	0.969112	0.986930	-0.118972	-0.343071
Выпуск специалистов с ВО	13.03	8.37	0.970017	0.969112	1.000000	0.963361	-0.095649	-0.410847
Выпуск специалистов с СПО	7.22	4.25	0.990130	0.986930	0.963361	1.000000	-0.027079	-0.310094
Уровень безработицы	5.03	1.15	-0.092393	-0.118972	-0.095649	-0.027079	1.000000	0.666907
Удельный вес убыточных предприятий	32.62	6.60	-0.323978	-0.343071	-0.410847	-0.310094	0.666907	1.000000
Общее число предприятий	43098.67	28780.89	0.931628	0.948931	0.900962	0.905147	-0.249181	-0.433996
Оборот всех предприятий	867.96	681.22	0.908170	0.921120	0.864060	0.872496	-0.199016	-0.421932
Оборот малых предприятий	455.73	305.04	0.939659	0.947394	0.957356	0.904693	-0.279930	-0.495766
Среднедушевые доходы населения	24780.00	3273.58	0.273083	0.300666	0.387487	0.223052	-0.397878	-0.586867
Средняя заработная плата по региону	27394.92	2076.61	0.414408	0.437634	0.366034	0.391977	0.028134	-0.055138
Прожиточный минимум	8699.25	464.13	0.303352	0.312394	0.225687	0.345864	0.364005	0.239934
Количество населения с доходом ниже прожиточного минимума	13.15	2.68	0.060693	0.040099	-0.035258	0.132550	0.536326	0.588414
Перевозки грузов по ж/д путям	15.20	13.59	0.420463	0.422301	0.415519	0.375159	-0.137097	-0.278051
Плотность автомобильных дорог	293.17	161.54	-0.077107	-0.062899	0.002859	-0.165002	-0.509890	-0.500189
Грузооборот автотранспорта	2388.75	1442.09	0.782619	0.781054	0.781548	0.745933	-0.309628	-0.460353

Рисунок 6 – Корреляционная матрица факторного анализа по 2017 г. (фрагмент)

Variable	Correlations (Spreadsheet9.sta)									
	Means	Std.Dev.	Численность рабочей силы	Численность занятых в экономике	Выпуск специалистов с ВО	Выпуск специалистов с СПО	Уровень безработицы	Удельный вес убыточных предприятий	Общее число предприятий	Оборот всех предприятий
Численность рабочей силы	967.33	544.20	1.000000	0.998372	0.970017	0.990130	-0.092393	-0.323978	0.931628	0.908170
Численность занятых в экономике	889.23	509.40	0.998372	1.000000	0.969112	0.986930	-0.118972	-0.343071	0.948931	0.921120
Выпуск специалистов с ВО	13.03	8.37	0.970017	0.969112	1.000000	0.963361	-0.095649	-0.410847	0.900962	0.864060
Выпуск специалистов с СПО	7.22	4.25	0.990130	0.986930	0.963361	1.000000	-0.027079	-0.310094	0.905147	0.872496
Уровень безработицы	5.03	1.15	-0.092393	-0.118972	-0.095649	-0.027079	1.000000	0.666907	-0.249181	-0.199016
Удельный вес убыточных предприятий	32.62	6.60	-0.323978	-0.343071	-0.410847	-0.310094	0.666907	1.000000	-0.433996	-0.421932
Общее число предприятий	43098.67	28780.89	0.931628	0.948931	0.900962	0.905147	-0.249181	-0.433996	1.000000	0.954188
Оборот всех предприятий	867.96	681.22	0.908170	0.921120	0.864060	0.872496	-0.199016	-0.421932	0.954188	1.000000
Оборот малых предприятий	455.73	305.04	0.939659	0.947394	0.957356	0.904693	-0.279930	-0.495766	0.929403	0.909707
Среднедушевые доходы населения	24780.00	3273.58	0.273083	0.300666	0.387487	0.223052	-0.397878	-0.586867	0.395700	0.484837
Средняя заработная плата по региону	27394.92	2076.61	0.414408	0.437634	0.366034	0.391977	0.028134	-0.055138	0.538267	0.181808
Прожиточный минимум	8699.25	464.13	0.303352	0.312394	0.225687	0.345864	0.364005	0.239934	0.380078	0.369411
Количество населения с доходом ниже прожиточного минимума	13.15	2.68	0.060693	0.040099	-0.035258	0.132550	0.536326	0.588414	-0.041685	-0.158905
Перевозки грузов по ж/д путям	15.20	13.59	0.420463	0.422301	0.415519	0.375159	-0.137097	-0.278051	0.410634	0.623958
Плотность автомобильных дорог	293.17	161.54	-0.077107	-0.062899	0.002859	-0.165002	-0.509890	-0.500189	0.042046	0.204113
Грузооборот автотранспорта	2388.75	1442.09	0.782619	0.781054	0.781548	0.745933	-0.309628	-0.460353	0.704553	0.765442
Лига, в которой играет клуб	2.75	1.22	-0.798118	-0.812684	-0.744286	-0.790858	0.382438	0.478868	-0.801670	-0.782479
Средняя посещаемость домашних матчей	7769.50	11674.74	0.850732	0.844782	0.748040	0.854184	0.107860	-0.170127	0.781780	0.819056
Оценка электронных средств органов власти	7.08	2.43	0.278679	0.289302	0.157655	0.240168	-0.277649	-0.055100	0.369427	0.466937

Рисунок 7 – Корреляционная матрица факторного анализа по 2017 г. с учетом факторов имиджа региона

Для определения количества искомых факторов нужно провести анализ всех переменных методом главных компонент (рис. 8, 9). Рассмотрим матрицу коэффициентов факторных меток и матрицу значений факторов для исследования дисперсии полученных факторов. В первом столбце приведены номера факторов/главных компонент. Во втором столбце указано, сколько показателей содержится в каждом факторе. В третьем столбце приведено, сколько процентов это составляет от общей дисперсии (информации). В последнем столбце содержится накопленный процент, то есть, сколько информации приходится на первые несколько факторов, включая данный. Факторы пронумерованы по убыванию информативности.

Eigenvalues (2015.sta) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	8.350115	52.18822	8.35011	52.1882
2	3.720961	23.25600	12.07108	75.4442
3	1.373459	8.58412	13.44453	84.0283
4	0.743299	4.64562	14.18783	88.6740
5	0.697738	4.36087	14.88557	93.0348
6	0.565052	3.53157	15.45062	96.5664
7	0.353336	2.20835	15.80396	98.7747
8	0.095946	0.59966	15.89991	99.3744
9	0.043186	0.26991	15.94309	99.6443
10	0.037816	0.23635	15.98091	99.8807
11	0.019093	0.11933	16.00000	100.0000

Eigenvalues (2016.sta) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	7.612916	47.58072	7.61292	47.5807
2	3.702012	23.13758	11.31493	70.7183
3	1.883705	11.77316	13.19863	82.4915
4	0.773932	4.83707	13.97256	87.3285
5	0.704284	4.40177	14.67685	91.7303
6	0.558958	3.49349	15.23581	95.2238
7	0.364509	2.27818	15.60032	97.5020
8	0.249181	1.55738	15.84950	99.0594
9	0.074111	0.46319	15.92361	99.5225
10	0.055789	0.34868	15.97940	99.8712
11	0.020603	0.12877	16.00000	100.0000

Рисунок 8 – Формирование факторов по 2015 и 2016 гг.

Eigenvalues (2017.sta) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	8.419669	52.62293	8.41967	52.6229
2	3.652990	22.83119	12.07266	75.4541
3	1.568028	9.80017	13.64069	85.2543
4	0.785357	4.90848	14.42604	90.1628
5	0.536035	3.35022	14.96208	93.5130
6	0.469436	2.93397	15.43151	96.4470
7	0.297115	1.85697	15.72863	98.3039
8	0.103981	0.64988	15.83261	98.9538
9	0.090296	0.56435	15.92291	99.5182
10	0.048045	0.30028	15.97095	99.8184
11	0.029049	0.18156	16.00000	100.0000

Eigenvalues (Spreadsheet9.sta) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	9.901401	52.11264	9.90140	52.1126
2	3.821430	20.11279	13.72283	72.2254
3	1.936968	10.19457	15.65980	82.4200
4	1.002406	5.27582	16.66221	87.6958
5	0.776951	4.08922	17.43916	91.7850
6	0.566416	2.98113	18.00557	94.7662
7	0.393650	2.07184	18.39922	96.8380
8	0.291248	1.53288	18.69047	98.3709
9	0.137177	0.72199	18.82765	99.0929
10	0.116581	0.61358	18.94423	99.7065
11	0.055772	0.29354	19.00000	100.0000

Рисунок 9 – Формирование факторов по 2017 г. и по 2017 г. с учетом факторов имиджа региона

Далее определим число факторов. По методу Кайзера нужно 3 фактора в 2015, 2016, 2017 гг. и 4 фактора в 2017 г. (плюс имидж региона). По графическому методу (рис. 10–11) следует оставить 3 или 4 фактора в 2015, 2016 гг., 3 фактора в 2017 г. и 4 фактора в 2017 г. (плюс имидж региона). Исходя из способа объяснения факторов, следует оставить 3 фактора в 2015, 2016, 2017 гг. и 4 фактора в 2017 г. (плюс имидж региона).

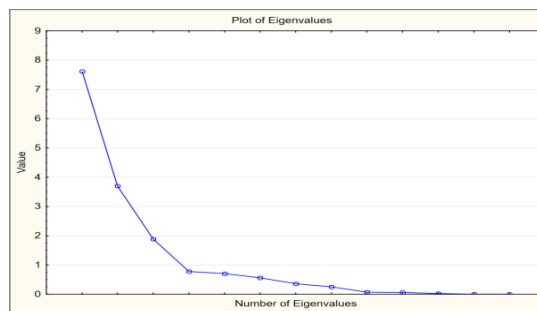
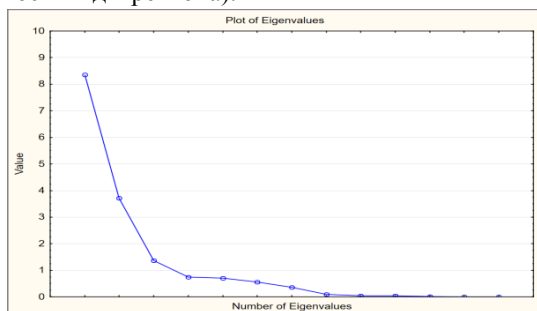


Рисунок 10 – График Scree Plot факторного анализа по 2015 и 2016 гг.

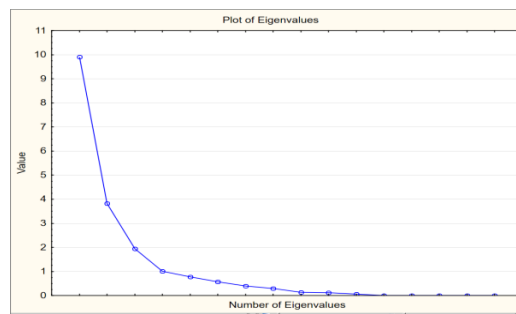
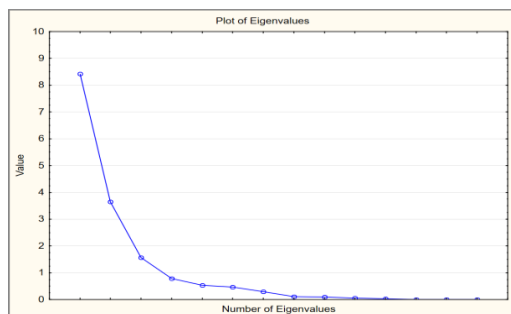


Рисунок 11 – График Scree Plot факторного анализа по 2017 г. и 2017 г. с учетом факторов имиджа региона

Окончательный результат выбора: 3 фактора в 2015, 2016, 2017 гг. и 4 фактора в 2017 г. (плюс имидж региона).

Сформированный методом главных компонент список факторов представлен на рисунках 12, 13.

Eigenvalues (2015.sta) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	8,350115	52,18822	8,35011	52,18822
2	3,720961	23,25600	12,07108	75,44422
3	1,373459	8,58412	13,44453	84,02834

Eigenvalues (2016.sta) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	7,298015	45,61259	7,29801	45,61259
2	3,573345	22,33341	10,87136	67,94600
3	1,841624	11,51015	12,71298	79,45615

Рисунок 12 – Факторы по 2015 и 2016 гг.

Eigenvalues (2017.sta) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	8,419669	52,62293	8,41967	52,62293
2	3,652990	22,83119	12,07266	75,45412
3	1,568028	9,80017	13,64069	85,25429

Eigenvalues (Spreadsheet9.sta) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	9,901401	52,11264	9,90140	52,11264
2	3,821430	20,11279	13,72283	72,22543
3	1,936968	10,19457	15,65980	82,42000
4	1,002406	5,27582	16,66221	87,69582

Рисунок 13 – Факторы по 2017 г. и 2017 г. с учетом факторов имиджа региона

Для определения искомых факторов используется метод максимального правдоподобия (рис. 14, 15).

Eigenvalues (2015.sta) Extraction: Maximum likelihood factors				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	7,545955	47,16222	7,54596	47,16222
2	2,176245	13,60153	9,72220	60,76375
3	2,438583	15,24115	12,16078	76,00490

Eigenvalues (2016.sta) Extraction: Maximum likelihood factors				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	7,004413	43,77758	7,00441	43,77758
2	3,395925	21,22453	10,40034	65,00212
3	1,512082	9,45051	11,91242	74,45263

Рисунок 14 – Сформированный методом максимального правдоподобия список факторов для факторного анализа по 2015 и 2016 гг.

Eigenvalues (2017.sta) Extraction: Maximum likelihood factors				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	7,767573	48,54733	7,76757	48,54733
2	3,029446	18,93404	10,79702	67,48137
3	1,620346	10,12716	12,41737	77,60853

Eigenvalues (Spreadsheet9.sta) Extraction: Maximum likelihood factors				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	4,941943	26,01023	4,94194	26,01023
2	6,749414	35,52323	11,69136	61,53346
3	1,983282	10,43832	13,67464	71,97178
4	1,581137	8,32177	15,25578	80,29355

Рисунок 15 – Сформированный методом максимального правдоподобия список факторов факторного анализа по 2017 г. и 2017 г. с учетом факторов имиджа региона

Для метода максимального правдоподобия проводились эксперименты с вращением факторов. В данной статье наилучшие результаты были получены с помощью метода вращения Varimax Raw.

Полученные 3 фактора в 2015 г. содержат 76 % информации. 1 фактор состоит из 7–8 переменных, 2 фактор состоит из 2 переменных, 3 фактор состоит из 2 переменных. Полученные 3 фактора в 2016 г. содержат 74 % информации. 1 фактор состоит из 7 переменных, 2 фактор состоит из 3–4 переменных, 3 фактор состоит из 1–2 переменных. Полученные 3 фактора в 2017 г. содержат 77 % информации. 1 фактор состоит из 7–8 переменных, 2 фактор состоит из 3 переменных, 3 фактор состоит из 1–2 переменных. Полученные 4 фактора в 2017 г. (плюс имидж региона) содержат 80 % информации. 1 фактор состоит из 5 переменных, 2 фактор состоит из 7 переменных, 3 фактор состоит из 1–2 переменных, 4 фактор состоит из 1 переменной.

Результаты факторного анализа по 2015 г. представлены на рисунке 16. В 1-м факторе имеются высокие факторные нагрузки на следующие натуральные (исходные) показатели: численность рабочей силы, численность занятых в экономике, выпуск специалистов с высшим образованием (ВО), выпуск специалистов со средним профессиональным образованием (СПО), общее число предприятий, оборот малых предприятий, оборот всех предприятий, грузооборот автотранспорта.

Во 2-м факторе – средняя заработная плата по региону и перевозки по ж/д путям. В 3-м факторе – среднедушевые доходы населения, количество населения с доходом ниже прожиточного минимума и плотность автомобильных дорог.

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) (201 Extraction: Maximum likelihood fact (Marked loadings are >,700000)		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Численность рабочей силы	0,962900	0,140524	-0,037361
Численность занятых в экономике	0,962767	0,164248	-0,002680
Выпуск специалистов с ВО	0,940957	0,052929	0,067614
Выпуск специалистов с СПО	0,955695	0,112257	-0,058284
Уровень безработицы	-0,146440	0,032827	-0,476900
Удельный вес убыточных предприятий	-0,170608	0,198255	-0,637680
Общее число предприятий	0,888149	0,302177	0,043008
Оборот всех предприятий	0,843858	0,332388	0,232705
Оборот малых предприятий	0,929528	0,057003	-0,057365
Среднедушевые доходы населения	0,277613	0,359723	0,794454
Средняя заработная плата по региону	0,326530	0,917917	0,174862
Прожиточный минимум	0,539704	0,268463	-0,363372
Количество населения с доходом ниже прожиточного минимума	0,149625	-0,158566	-0,927569
Перевозки грузов по ж/д путям	0,210258	0,500667	0,459095
Плотность автомобильных дорог	-0,051705	-0,000060	0,763062
Грузооборот автотранспорта	0,837328	-0,031520	0,262242
Expl.Var	7,313689	1,628402	3,218693
Prp.Totl	0,457106	0,101775	0,201168

Рисунок 16 – Распределение показателей по факторам по 2015 г.

Результаты факторного анализа по 2016 г. представлены на рисунке 17. В 1-м факторе имеются высокие факторные нагрузки на следующие натуральные (исходные) показатели: численность рабочей силы, численность занятых в экономике, выпуск специалистов с ВО, выпуск специалистов с СПО, общее число предприятий, оборот всех предприятий, грузооборот автотранспорта. Во 2-м факторе – среднедушевые доходы населения, количество населения с доходом ниже прожиточного минимума и плотность автомобильных дорог. В 3-м факторе – средняя заработная плата по региону и перевозки по ж/д путям.

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) (20 Extraction: Maximum likelihood fac (Marked loadings are >,700000)		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Численность рабочей силы	0,969774	-0,029590	0,094795
Численность занятых в экономике	0,969599	-0,008751	0,119186
Выпуск специалистов с ВО	0,952943	0,084550	0,014611
Выпуск специалистов с СПО	0,954002	-0,103839	0,078883
Уровень безработицы	-0,091338	-0,583605	0,115843
Удельный вес убыточных предприятий	-0,423766	-0,556720	0,203815
Общее число предприятий	0,898414	0,075067	0,250332
Оборот всех предприятий	0,872378	0,231577	0,293691
Оборот малых предприятий	0,039329	0,015058	0,641421
Среднедушевые доходы населения	0,247806	0,845437	0,215261
Средняя заработная плата по региону	0,318351	0,117061	0,864651
Прожиточный минимум	0,533732	-0,288260	0,305407
Количество населения с доходом ниже прожиточного минимума	0,087473	-0,938273	-0,052411
Перевозки грузов по ж/д путям	0,231024	0,502688	0,481363
Плотность автомобильных дорог	-0,057243	0,832025	0,012388
Грузооборот автотранспорта	0,816192	0,366604	-0,104458
Expl.Var	6,634555	3,500183	1,777683
Prp.Totl	0,414660	0,218761	0,111105

Рисунок 17 – Распределение показателей по факторам по 2016 г.

Результаты факторного анализа по 2017 г. представлены на рисунке 18. В 1-м факторе имеются высокие факторные нагрузки на следующие натуральные (исходные) показатели: численность рабочей силы, численность занятых в экономике, выпуск специалистов с ВО, выпуск специалистов со СПО, общее число предприятий, оборот всех предприятий, грузооборот автотранспорта. Во 2-м факторе – среднедушевые доходы населения, количество населения с доходом ниже прожиточного минимума и плотность автомобильных дорог. В 3-м факторе – средняя заработная плата по региону и прожиточный минимум.

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) (20 Extraction: Maximum likelihood fac (Marked loadings are > .700000))		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Численность рабочей силы	0,967634	-0,031992	0,117059
Численность занятых в экономике	0,966725	-0,011146	0,139296
Выпуск специалистов с ВО	0,949511	0,071946	0,060003
Выпуск специалистов с СПО	0,957202	-0,104149	0,106048
Уровень безработицы	-0,134397	-0,560083	0,149975
Удельный вес убыточных предприятий	-0,372820	-0,607323	0,139531
Общее число предприятий	0,894260	0,080463	0,258430
Оборот всех предприятий	0,856336	0,190214	0,343290
Оборот малых предприятий	0,913995	0,260838	0,149912
Среднедушевые доходы населения	0,278559	0,823974	0,242472
Средняя заработная плата по региону	0,299723	0,118991	0,917618
Прожиточный минимум	0,247086	-0,420205	0,469576
Количество населения с доходом ниже прожиточного минимума	0,036066	-0,953176	-0,038734
Перевозки грузов по ж/д путям	0,353948	0,433251	0,457437
Плотность автомобильных дорог	-0,051216	0,824445	0,045169
Грузооборот автотранспорта	0,788207	0,337649	-0,152041
Expl.Var	7,193090	3,570030	1,654245
Prp.Totl	0,449568	0,223127	0,103390

Рисунок 18 – Распределение показателей по факторам по 2017 г.

Результаты факторного анализа по 2017 г. с учетом факторов имиджа региона представлены на рисунке 19. В 1-м факторе имеются высокие факторные нагрузки на следующие натуральные (исходные) показатели: уровень безработицы, удельный вес убыточных предприятий. Во 2-м факторе – численность рабочей силы, численность занятых в экономике, выпуск специалистов с ВО, выпуск специалистов с СПО, общее число предприятий, оборот всех предприятий, грузооборот автотранспорта, лига, в которой играет клуб, средняя посещаемость домашних матчей. В 3-м факторе – среднедушевые доходы населения, количество населения с доходом ниже прожиточного минимума и плотность автомобильных дорог. В 4-м факторе – оценка электронных средств органов власти.

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) (Spreadsheet9. Extraction: Maximum likelihood factors (Marked loadings are > .700000))			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Численность рабочей силы	0,009104	0,968775	-0,019148	0,101573
Численность занятых в экономике	0,028888	0,968941	-0,000796	0,118578
Выпуск специалистов с ВО	-0,014510	0,955586	0,085973	-0,023575
Выпуск специалистов с СПО	-0,033662	0,963808	-0,083350	0,073586
Уровень безработицы	-0,935007	-0,082001	-0,311181	-0,051279
Удельный вес убыточных предприятий	-0,491708	-0,351719	-0,475077	0,115130
Общее число предприятий	0,132869	0,897747	0,077922	0,250609
Оборот всех предприятий	0,029159	0,859344	0,231266	0,362839
Оборот малых предприятий	0,113172	0,919807	0,256596	0,061874
Среднедушевые доходы населения	0,088159	0,291677	0,856076	0,068647
Средняя заработная плата по региону	-0,185929	0,361224	0,276242	0,603372
Прожиточный минимум	-0,324945	0,259887	-0,294693	0,588957
Количество населения с доходом ниже прожиточного минимума	-0,243402	0,031858	-0,928419	0,119756
Перевозки грузов по ж/д путям	-0,087557	0,361778	0,524285	0,383090
Плотность автомобильных дорог	0,253436	-0,092700	0,783379	0,198181
Грузооборот автотранспорта	0,150865	0,746570	0,287785	0,046858
Лига, в которой играет клуб	-0,257220	-0,785662	-0,170613	-0,029975
Средняя посещаемость домашних матчей	-0,170113	0,804203	-0,065014	0,250731
Оценка электронных средств органов власти	0,208186	0,173804	0,032380	0,835183
Expl.Var	1,589861	8,515512	3,226377	1,924025
Prp.Totl	0,083677	0,448185	0,169809	0,101264

Рисунок 19 – Распределение показателей по факторам по 2017 г. с учетом факторов имиджа региона

Заключение. В результате факторного анализа за 2015–2017 гг. выделяются 3 фактора.

1-й фактор описывает уровень экономического состояния региона (численность рабочей силы, численность занятых в экономике, выпуск специалистов с ВО, выпуск специалистов с СПО, общее число предприятий, оборот всех предприятий, грузооборот автотранспорта).

2-й фактор описывает состояние экономически активного населения (уровень безработицы, удельный вес убыточных предприятий, среднедушевые доходы населения, количество населения с доходом ниже прожиточного минимума и плотность автомобильных дорог).

3-й фактор описывает дополнительные факторы (средняя заработная плата по региону и перевозки по ж/д путям).

Из года в год факторы существенного изменения не претерпевают, однако в 2016 г. показатель «оборот малых предприятий» слабо коррелирует с другими показателями, что позволяет сделать вывод, что в 2016 г. произошло резкое ухудшение ситуации в области малого бизнеса.

При добавлении к экономическим показателям показателей имиджа региона ситуация существенно не меняется. Данные по спортивному имиджу («лига, в которой играет клуб», «средняя посещаемость домашних матчей») добавляются к данным первого ранее выделенного фактора – это доказывает значимость (рис. 13, 15, 19) спортивного имиджа региона. Показатель, описывающий электронные средства региональных органов власти [4], слабо коррелирует с другими показателями и выделяется в отдельный фактор.

Теперь сформулируем рекомендации для поддержки принятия решений при необходимости улучшения инвестиционного климата региона, что, безусловно, необходимо для Волгоградской области. У нас есть список показателей из первого фактора, которые хорошо коррелируют между собой. Лучшим (с наибольшей факторной нагрузкой) показателем из первого фактора является оборот малых предприятий [3], так как с ним возникала проблема у всех регионов в 2016 г. То есть нужно проводить мероприятия для улучшения работы малого бизнеса. Кроме того, показатели спортивного имиджа региона хорошо коррелируют с показателями первого фактора. Усиление спортивного клуба «Ротор» также заметно улучшит инвестиционный потенциал региона и добавит несколько новых вариантов для потенциального инвестора, к примеру, строительство различных мест для проведения культурных мероприятий, точек питания, магазинов со спортивной тематикой около стадиона. Также это откроет варианты спонсорства как для футбольного клуба, так и для футбольных школ в регионе.

Библиографический список

1. Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе Statistica : учеб. пос. для вузов / В. П. Боровиков. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2013. – 288 с.
2. Бородачёв С. М. Многомерные статистические методы / С. М. Бородачёв ; науч. ред.– проф., д-р физ.-мат. наук О. И. Никонов. – Екатеринбург : УГТУ – УПИ, 2009. – 84 с.
3. Брумштейн Ю. М. Интернет-сайты органов исполнительной власти в прикаспийских регионах России: анализ номенклатуры, функциональности и востребованности ресурсов / Ю. М. Брумштейн, Е. Ю. Васильковский, А. Н. Горбачева // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 4 (36). – С. 52–68.
4. Демидова Л. А. Гибридная интеллектуальная технология классификации данных / Л. А. Демидова, М. М. Егин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 56–68.
5. Ким Дж.-О. Факторный анализ: статистические методы и практические вопросы / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ : пер. с англ. ; под ред. И. С. Енюкова. – Москва : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
6. 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.
7. Лукьяненко Т. Имидж региона как фактор инвестиционной привлекательности / Т. Лукьяненко // Рынок ценных бумаг. – 1999. – № 11 (146). – С. 48–50.
8. Маколов В. И. Формирование благоприятного инвестиционного климата страны / В. И. Маколов. – Саранск, 2008. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/75992144-Udk-makolov-v-i-formirovanie-blagopriyatnogo-investicionnogo-klimata-strany.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Маркелов К. А. Процессы интеграции прикаспийских государств и их приморских территорий: системный анализ источников и структуры информации / К. А. Маркелов, Ю. М. Брумштейн, В. Г. Головин // Вестник евразийской науки. – 2018. – Т. 10, № 5. – С. 34.
10. Рейтинговое агентство «Эксперт-РА» – Режим доступа: <http://www.raexpert.ru/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
11. Симчера В. М. Методы многомерного анализа статистических данных / В. М. Симчера. – Москва : Финансы и статистика, 2008. – 400 с.
12. Сошникова Л. А. Многомерный статистический анализ в экономике / Л. А. Сошникова, В. Н. Тамашевич, Г. Уэбе, М. Шефер ; под ред. проф. В. Н. Тамашевича. – Москва : Юнити-Дана, 1999. – 598 с.
13. Спортивный сайт. – Режим доступа: <https://www.sports.ru/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Щербаков М. В. A Method and IR4I Index Indicating the Readiness of Business Processes for Data Science Solutions / М. В. Щербаков, Р. Р. Groumpos, А. Г. Кравец // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Second Conference, CIT&DS 2017 (Volgograd, Russia, September 12–14, 2017) : Proceedings / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Peter Groumpos ; Volgograd State Technical University [et al.]. – Germany : Springer International Publishing AG, 2017. – P. 21–34. – (Ser. Communications in Computer and Information Science ; vol. 754).
16. Big data-driven control technology for the heterarchic system (building cluster case-study) / Д. Ануфриев, И. Петрова, А. Г. Кравец, С. С. Васильев // Big Data-driven World: Legislation Issues and Control Technologies / ed. by A. G. Kravets. – Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. – P. 205–222. – (Book Ser. Studies in Systems, Decision and Control (SSDC) ; vol. 181). – Режим доступа: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-01358-5>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

17. Proactive Urban Computing: An Active Agent-based Concept and Methods / Д. С. Парыгин, М. В. Щербakov, Н. П. Садовникова, А. Г. Кравец, А. Финогеев // *Proceedings of the 6th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (Moradabad, India, 29th–30th December, 2017). SMART–2017 (IEEE Conference ID: 42281)* / ed.-in-chief Rakesh Kumar Dwivedi ; College of Computing Sciences & Information Technology, Teerthanker Mahaveer University, IEEE Uttar Pradesh Section [et al.]. – Moradabad, India, 2017. – P. 219–226.

References

1. Borovikov V. P. *Populyarnoe vvedenie v sovremennyy analiz dannykh v sisteme Statistica : uchebnoe posobie dlya vuzov* [Popular introduction to modern data analysis in the Statistica system : studies]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2013. 288 p.
2. Borodachev S. M., Nikonov O. I. (ed.) *Mnogomernye statisticheskie metody* [Multidimensional statistical methods]. Ekaterinburg, UGTU – UPI Publ., 2009. 84 p.
3. Brumshtein Yu. M., Vaskovskiy E. Yu., Gorbacheva A. N. Internet-sayty organov ispolnitelnoy vlasti v prikaspiyskikh regionakh Rossii: analiz nomenklatury, funktsionalnosti i vostrebovannosti resursov [Internet sites of executive authorities in the Caspian regions of Russia: analysis of the nomenclature, functionality and demand for resources]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 4 (36), pp. 52–68.
4. Demidova L. A., Egin M. M. Gibradnaya intellektualnaya tekhnologiya klassifikatsii dannykh [Gybid intellektual technology of data classification]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 56–68.
5. Kim Dzh.-O., Myuller Ch. U. Faktornyy analiz: statisticheskie metody i prakticheskie voprosy [Factor analysis: statistical methods and practical issues]. *Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz* [Factor, discriminant and cluster analysis], transl. from Engl. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1989. 215 p.
6. Kravets A. G., Milchuk Ya. G., Milchuk A. S. Geoinformatsionnyy podkhod k upravleniyu razvitiem territorii na osnove analiza dannykh socialnykh setey [Geoinformational approach to the management of the development of the territory based on the analysis of data from social networks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 3 (39), pp. 69–79.
7. Lukyanenko T. Imidzh regiona kak faktor investitsionnoy privlekatelnosti [The image of the region as a factor of investment attractiveness]. *Rynok tsennykh bumag* [Securities Market], 1999, no. 11 (146), pp. 48–50.
8. Makolov V. I. *Formirovanie blagopriyatnogo investitsionnogo klimata strany* [Formation of a favorable investment climate of the country]. Saransk, 2008. Available at: <http://docplayer.ru/75992144-Udk-makolov-v-i-formirovanie-blagopriyatnogo-investitsionnogo-klimata-strany.html>.
9. Markelov K. A., Brumshteyn Yu. M., Golovin V. G. Processy integratsii prikaspiyskikh gosudarstv i ikh primorskikh territoriy: sistemnyy analiz istochnikov i struktury informatsii [The integration processes of the Caspian states and their coastal territories: a system analysis of the sources and structure of information]. *Vestnik evraziyskoy nauki* [Herald of Eurasian science], 2018, vol. 10, no. 5, p. 34.
10. *Reytingovoe agentstvo «Ekspert-RA»* [Rating agency "Expert-RA"]. Available at: <http://www.raexpert.ru/>.
11. Simchera V. M. *Metody mnogomernogo analiza statisticheskikh dannykh* [Methods for multivariate analysis of statistical data]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2008. 400 p.
12. Soshnikova L. A., Tamashevich V. N., Uebe G., Shefer M., Tamashevich V. N. (ed.) *Mnogomernyy statisticheskiy analiz v ekonomike* [Multivariate Statistical Analysis in Economics]. Moscow, Yuniti-Dana, 1999. 598 p.
13. *Sportivnyy sayt* [Sports site]. Available at: <https://www.sports.ru/>.
14. *Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki* [Federal State Statistics Service]. Available at: <http://www.gks.ru/>.
15. Shcherbakov M. V., Groumpos P. P., Kravets A. G. A Method and IRAI Index Indicating the Readiness of Business Processes for Data Science Solutions. *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Second Conference, CIT&DS 2017 (Volgograd, Russia, September 12–14, 2017) : Proceedings; Volgograd State Technical University [et al.]*. Germany, Springer International Publishing AG, 2017, pp. 21–34. (Ser. Communications in Computer and Information Science ; vol. 754).
16. Anufriev D., Petrova I., Kravets A. G., Vasilev S. S. Big data-driven control technology for the heterarchic system (building cluster case-study). *Big Data-driven World: Legislation Issues and Control Technologies*. Cham, Springer Nature Switzerland AG, 2019, P. 205–222. (Book Ser. Studies in Systems, Decision and Control (SSDC); vol. 181). Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-01358-5>.
17. Parygin D. S., Shcherbakov M. V., Sadovnikova N. P., Kravets A. G. A. Finogeev Proactive Urban Computing: An Active Agent-based Concept and Methods. *Proceedings of the 6th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (Moradabad, India, 29th–30th December, 2017). SMART–2017 (IEEE Conference ID: 42281)*; College of Computing Sciences & Information Technology, Teerthanker Mahaveer University, IEEE Uttar Pradesh Section [et al.]. Moradabad, India, 2017, pp. 219–226.

УДК [004.6+001.6+001.8]:304

ПОДБОР РОССИЙСКИМИ АВТОРАМИ МЕСТ ОПУБЛИКОВАНИЯ СТАТЕЙ ПО СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ В ЗАРУБЕЖНЫХ ЖУРНАЛАХ: АНАЛИЗ СОСТАВА И СЕРВИСОВ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ, ПРИМЕНИМЫХ ДЛЯ ЭТИХ ЦЕЛЕЙ

Статья поступила в редакцию 30.04.2019, в окончательном варианте – 30.05.2019.

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

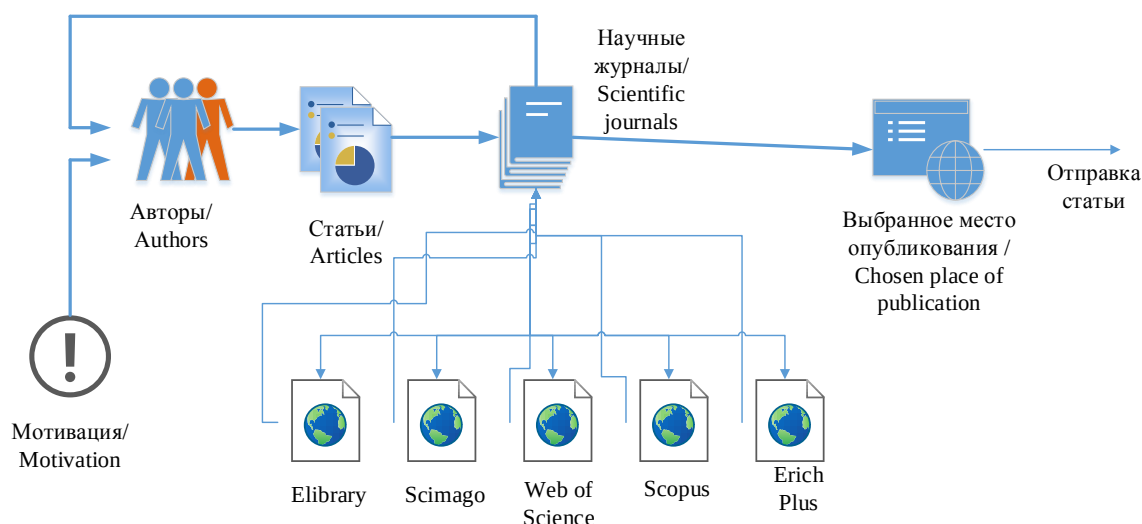
Мальчук Лилия Владиславовна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, магистрант, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2535-5372>, e-mail: al-kim@mail.ru

Мальчук Андрей Максимович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, магистрант, <https://orcid.org/0000-0002-0261-6154>, e-mail: zetex@bk.ru

Рассмотрена специфика проведения исследований по социально-гуманитарным наукам; некоторые особенности развития международных научных связей российских исследователей в области гуманитарных наук, включая публикации в зарубежных изданиях. Указаны основные факторы объективного и субъективного характера, затрудняющие такие публикации. С учетом условий деятельности российских исследователей, работающих в области гуманитарных наук, обоснованы возможные подходы к поиску (подбору) зарубежных изданий для публикации работ. Подробно рассмотрены тематические классификации направлений гуманитарных исследований, применяемые в репозиториях научной информации, международных реферативных базах и системах учета цитирований. Проанализирована номенклатура различных интернет-ресурсов, содержащих сведения о зарубежных журналах гуманитарного профиля; состав и особенности представления информации на таких ресурсах; сравнены возможности использования этих ресурсов российскими исследователями для подбора мест опубликования работ в зарубежных журналах. Сделан вывод о том, что для обеспечения интеграции российских гуманитарных исследований в международное научное пространство необходимо усиление мер информационной поддержки в отношении возможных мест публикации работ в зарубежных изданиях.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии, социально-гуманитарные исследования, зарубежные журналы, публикация результатов, выбор изданий, принятие решений, критерии выбора, ограничения при выборе

Графическая аннотация (Graphical annotation)



SELECTION OF PLACES FOR PUBLICATION ARTICLES
ON SOCIAL-HUMANITARIAN INVESTIGATIONS IN FOREIGN JOURNALS
BY RUSSIAN AUTHORS: THE ANALYSIS OF STRUCTURE AND SERVICES
OF INTERNET-RESOURCES, APPLICABLE FOR THESE PURPOSES

The article was received by editorial board on 30.04.2019, in the final version – 30.05.2019.

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

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

Malchuk Lilia V., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
graduate student, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2535-5372>, e-mail: al-kim@mail.ru

Malchuk Andrey M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

graduate student, <https://orcid.org/0000-0002-0261-6154>, e-mail: zetex@bk.ru

The specifics of carrying out researches by the social and humanities subjects are considered; some features of the Russian researchers international scientific relations development in the field of the humanities, including publications in foreign editions. The main factors of objective and subjective character, complicating such publications, are specified. Taking into account activity conditions of the Russian researchers, working in the field of the humanities, possible approaches to search (selection) of foreign editions for the publication of works are proved. In this article are considered in detail the thematic classifications of the directions of humanitarian researches, applied in repositories of scientific information, the international abstract bases and systems of citing accounting. Authors are analyzed the nomenclature of the different Internet resources, containing data about foreign journals of a humanitarian profile. Also are compared structure and features of information representation on such resources; possibilities of these resources use by the Russian researchers for selection of places for works publication in foreign journals. The conclusion is drawn that ensuring integration of the Russian humanitarian researches into the international scientific space requires gain of information support measures, concerned with possible places for the publication of works in foreign editions.

Keywords: information and communication technologies, social and humanitarian researches, foreign journals, results publication, editions choice, decision-making, selection terms, choosing restrictions

Введение. В российской периодике для характеристики направлений деятельности по теме данной работы используются различные термины: гуманитарные исследования; исследования в области общественных наук; социальные исследования; социально-гуманитарные исследования (СГИ) и др. С целью дальнейшего использования нами был выбран термин СГИ, как наиболее более полно отражающий совокупность направлений научных исследований, рассматриваемых в данной статье.

Для успешного социально-экономического развития общества необходима адекватная поддержка принятия и реализации различных видов решений, включая управленческие. В свою очередь для обеспечения обоснованности, своевременности и правильности таких решений требуется их адекватная информационно-аналитическая поддержка. Одним из направлений такой поддержки является проведение СГИ, анализ и обобщение результатов таких исследований, включение их в российское и международное научно-информационное пространство (НИП). Задача обеспечения известности и доступности результатов СГИ обычно решается путем участия ученых в научных конференциях, публикации результатов в периодических и не периодических изданиях, агрегации опубликованных материалов на специальных сайтах.

Интеграция результатов российских СГИ в мировое НИП может решаться по нескольким направлениям: 1) включение в составы редколлегий российских научных журналов (НЖ) зарубежных ученых; 2) включение российских исследователей в редколлегии зарубежных изданий; 3) формирование совместных редколлегий по группам российских и зарубежных изданий [2, 20]; 4) увеличение количества публикаций российских исследователей в престижных зарубежных изданиях – главным образом на английском языке; 5) увеличение количества российских изданий, статьи в которых индексируются ведущими международными базами и системами учета цитирований – прежде всего Scopus и Web of Science (WoS); 6) увеличение количества англоязычных публикаций в российских научных изданиях – с целью сделать эти работы более доступными для чтения зарубежными учеными, не владеющими русским языком; 7) участие российских исследователей в международных научных конференциях, проводимых за рубежом и на территории России.

Проблема интеграции российской науки в международное НИП важна для государства в целом, для различных категорий юридических и физических лиц.

На уровне государства такая интеграция способствует развитию международных отношений; улучшению взаимодействия органов государственного и муниципального управления; повышению эффективности расходования бюджетных средств на научные исследования и разработки и пр.

На уровне отдельных регионов интеграционные процессы в области научных исследований могут способствовать развитию международных связей этих регионов, в том числе в гуманитарной и торгово-экономической областях [14]; повышению «конкурентоспособности» регионов в условиях развития рыночной экономики, глобализации экономического пространства.

На уровне отдельных организаций (включая вузы, научно-исследовательские институты и пр.) развитие международных связей способствует повышению их известности и авторитетности в НИП – российском и зарубежном; облегчает доступ к участию в международных исследовательских программах, конференциях, конгрессах и пр.; повышает вероятность получения специальных грантов, предназначенных для поддержки исследований, проводимых совместно с учеными из других стран и пр.; потенциально улучшает возможности публикации результатов исследований в авторитетных зарубежных изданиях (такие публикации сейчас стали важным «элементом отчетности» указанных организаций в отношении результатов научной деятельности).

На уровне отдельных исследователей и их групп развитие международных связей обеспечивает повышение актуальности проводимых научных исследований; расширение возможностей включения результатов таких исследований в международное НИП за счет публикаций в авторитетных зарубежных периодических и неперiodических изданиях, участия в научных конференциях и пр.; улучшение личных наукометрических показателей, рассчитываемых на основе данных о публикационной активности; повышение вероятности получения российскими исследователями различных грантов – включая гранты, предоставляемые Российским фондом фундаментальных исследований и Российским научным фондом. Отметим, что в последние годы наличие публикаций в зарубежных изданиях, индексируемых в Scopus и WoS, как правило, является необходимым условием удовлетворения заявок, поданных на получение таких грантов.

В условиях обилия зарубежных изданий у российских авторов (особенно молодых ученых) нередко возникают определенные сложности с выбором оптимальных мест публикаций результатов исследований в зарубежных научных журналах (НЖ) [39], в том числе по гуманитарным наукам. В существующей литературе причины этих сложностей, а также возможные способы их преодоления, проанализированы недостаточно комплексно. Поэтому целью данной статьи является устранение этого недочета.

Общая характеристика проблематики работы. По российскому законодательству научные статьи представляют собой объект «авторского права» [4]. В отношении них автору (авторам) принадлежат «право авторства», «право на имя», иные личные неимущественные права. Цели публикаций научных статей с позиций авторов и представляемых ими организаций могут быть различны [6]. При этом у редакционных коллегий НЖ также имеются определенные «интересы» в отношении номенклатуры публикуемых работ, их качества [3]. В общем случае у российских авторов, желающих опубликовать результаты исследований, обычно есть выбор из нескольких альтернатив.

1. Тезисы (или сборники работ) конференции, конгресса или симпозиума. При этом фактический «международный статус» имеют либо конференции, проводимые за рубежом (но не все!), либо «Скопусовские» конференции, проходящие на территории России. В последнем случае обычно осуществляется конкурсный отбор представленных материалов, исходя из их качества, актуальности, соответствия тематике конференции и пр.

2. Российские периодические издания. При этом в авторитетных НЖ публикации обычно могут осуществляться (по желанию автора/авторов) на русском языке или на английском. Предпочтительными для авторов обычно считаются НЖ, входящие в списки международных реферативных баз и систем учета цитирований (МРБисУЦ), которые «признаются» Высшей аттестационной комиссией (ВАК) России. Отметим, что русскоязычные публикации в значительной части этих журналов затем переводятся на английский язык и публикуются в «переводных» или «переводных составных» изданиях [3], предназначенных для распространения за рубежом. Однако количество таких российских изданий по направлениям СГИ невелико.

Среди тех изданий, которые не входят в списки Scopus и WoS, российскими авторами предпочтение обычно отдается тем изданиям, которые включены в известный список российских журналов, рекомендованных ВАК для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций. Такие публикации также учитываются «отдельной строкой» в отчетности о научной работе вузов [6], отдельных ученых и их групп [15].

3. Зарубежные издания. Среди них российскими авторами предпочтение отдается, как правило, тем, которые индексируются в Scopus или WoS (однако в этих системах индексируются не все авторитетные зарубежные издания по гуманитарным наукам). В то же время ресурс ERICH PLUS [41], на котором индексируется много изданий социально-гуманитарного профиля, не входит в число МРБисУЦ «признаваемых» ВАК России. Для оценки «авторитетности» научных изданий обычно используются их наукометрические показатели. Однако в литературе встречаются и подходы, в которых оценивается «информационная значимость» НЖ [34].

В качестве «зарубежных» могут рассматриваться и НЖ, издаваемые в постсоветских республиках, включая Украину [8] и Белоруссию. Однако как более «важные» обычно рассматриваются публикации в странах дальнего зарубежья.

Важным критерием интегральной оценки авторитетности НЖ (включая зарубежные) является их включение в один из четырех «квартилей», которые присваиваются изданиям в аналитической системе Clarivative Analytics (сайт www.sjr.org). Более детальный анализ особенностей зарубежных изданий возможен на основе изучения их наукометрических показателей; требований, предъявляемых НЖ к поступающим материалам. Большинство серьезных российских исследователей знают о существовании этой системы, но немногие ей регулярно пользуются. Сведения по зарубежным журналам есть также и на сайте www.elibrary.ru – включая информацию о том, индексируются ли они в Scopus и/или WoS. На сайте www.springer.com [48] есть также статистические показатели НЖ по долям принятых к опубликованию материалов. Отметим, что обеспечение доступа к рассматриваемым далее базам данных по НЖ, а также к материалам, опубликованным в самих НЖ, сейчас считается важным направлением деятельности научных библиотек вузов [10].

Проблема выбора мест опубликования научных работ за рубежом имеет свою специфику для отдельных отраслей наук [5, 39], в том числе и для различных направлений СГИ [25]. Отметим, что публикации по «русской тематике» (в том числе по направлению «История» [11, 26, 43]) в зарубежной периодике присутствуют. При этом большая часть публикаций, относящихся к России, принадлежит российским авторам.

В рамках анализа вопросов выбора авторами мест опубликования статей приходится учитывать возникновение и развитие в России рынка услуг по обеспечению публикаций в зарубежных изданиях, включая НЖ, индексируемые в Scopus и WoS [9]. Существенно, что такие услуги активно рекламируются в интернете. На практике такие услуги нередко сводятся к написанию и опубликованию статей на заказ, а не к помощи в оформлении статей к требованиям конкретных изданий.

Особенности проведения СГИ. Для исследований по этим направлениям целесообразно отметить следующие особенности.

1. В рамках СГИ не используется дорогостоящее экспериментальное оборудование, сложные установки и пр. Поэтому в типичных случаях стоимости отдельных СГИ ниже, чем в областях технических или естественных наук.

2. В рамках СГИ могут применяться экспедиции для сбора фактического материала, а также проводиться раскопки (археологические исследования). Эти исследования могут быть дорогостоящими.

3. Также для сбора фактических данных может осуществляться анкетирование (обычно выборочное) населения, специалистов и пр. В настоящее время для планирования анкетирования применяются математические методы, а для его фактического проведения – Интернет.

4. В СГИ могут применяться методы когнитивного моделирования, имитационного моделирования происходящих (или прогнозируемых) процессов на ЭВМ. Однако в целом непосредственно для СГИ эти направления не характерны.

5. В целом ряде случаев при проведении СГИ используется уже опубликованная информация, в частности различные статистические сборники, файлы с таблицами, картографический материал и пр. Это снижает трудоемкость и стоимость проведения СГИ, потенциально расширяет круг лиц (в том числе в вузах), которые могут проводить такие исследования в вузах.

6. Длительности подготовки русскоязычных публикаций по результатам СГИ могут быть достаточно короткими, особенно если в них содержится только текст без результатов расчетов. Однако в случае статей большого объема длительности проведения переводов текстов статей на английский язык, проверки и корректировки таких переводов могут быть значительными.

Характеристика основных факторов, затрудняющих для российских исследователей публикацию работ гуманитарного профиля в зарубежных изданиях. Совокупность факторов, рассматриваемых в данном разделе, формально можно разделить на «субъективные» и «объективные», однако часть их носит «смешанный» характер. Существенно, что относительная значимость факторов для конкретных российских авторов и конкретных работ может существенно отличаться. Причины такого положения: разница в научном «статусе» авторов; их отличия в опыте публикаций в российских и зарубежных изданиях по СГИ-тематике; разные цели публикаций (для отдельных публикаций они также могут отличаться); разные «уровни мотивации» авторов к опубликованию работ в зарубежных изданиях; разные уровни владения авторами «письменным» английским языком и пр. Итак, перечислим основные факторы, затрудняющие для российских авторов публикации в зарубежных журналах.

1. «Местный» (внутрироссийский или даже региональный) характер тематики, рассматриваемый в ряде работ гуманитарного профиля, подготовленных российскими исследователями, может быть недостаточно интересен зарубежным ученым, коллективам исследователей, научным организациям и пр. Как следствие, редакции зарубежных НЖ могут ограничивать публикации таких материалов или просто отвергать их. В связи с этим отметим, что, по сведениям на сайте <https://www.springer.com> [48], ряд журналов «высокого научного уровня» публикует только 15–20 % поступающих статей, т.е. осуществляет их «отбор по качеству».

Кроме того, на уже опубликованные в зарубежной периодике статьи по «внутрироссийской тематике», которые малоинтересны зарубежным авторам, может даваться мало ссылок или не даваться вообще [23]. Следствия такого положения: невысокая результативность опубликования таких работ для российских авторов с точки зрения влияния на их личные «наукометрические показатели» в МРБиСУЦ; неадекватное отра-

жение МРБиСУЦ «научного уровня» статей, оцениваемого по количеству ссылок на них. Отметим, что использование наукометрических показателей для оценки деятельности исследователей в сфере СГИ имеет определенную специфику по сравнению с другими направлениями исследований [33].

2. Различие целей и методологий проведения СГИ по ряду направлений в России и за рубежом. Как следствие, получаемые российскими исследователями результаты, которые они хотят опубликовать за рубежом, могут не соответствовать подходам, принятым в зарубежных изданиях; быть слабо сопоставимыми с результатами иностранных авторов.

3. Невысокий уровень навыков написания статей на английском языке у многих российских авторов. При этом помощь профессиональных переводчиков может быть не всегда эффективной в силу недостаточного знания ими специфической терминологии или стилистических оборотов в специальных предметных областях. Как следствие, статьи могут отвергаться редакциями НЖ или иных изданий просто из-за «плохого английского языка», так как большинство изданий не занимаются коррективкой стилистики поступающих статей, согласованием стилистических коррективов с авторами и пр.

4. Значительные отличия требований зарубежных изданий по сравнению с российскими в отношении структуры и содержания научных материалов, представляемых для опубликования [16, 19]. В частности, во многих зарубежных НЖ в качестве основной структуры разделов используется IMRAD (Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion of Results). В то же время для российских НЖ, в том числе по гуманитарным наукам, такая рубрикация материала не характерна. В частности, нередко используется рубрикация статей (особенно значительного объема) на большее количество разделов, имеющих содержательные наименования, отражающие представленный материал.

Кроме того, разделение «Результатов» и их «Обсуждения» по разным разделам может быть не удобным. Иногда лучше последовательно представлять части материала и сразу же их обсуждать, делать по ним какие-то выводы. А затем переходить к последующим частям материала.

В зарубежных изданиях (по сравнению с русскоязычными) во многих случаях значительно отличается следующее: правила оформления статей [17, 28], требования к заголовкам [35], стилистика текстов, их языковое оформление [31], подходы к рассмотрению теоретического материала [21], требования к грамотности [18], правила использования знаков препинания [32] и пр. Специально отметим, что имеются трудности с подготовкой не только англоязычных текстов статей, но и аннотаций [12] к ним. В частности, традиционно в русскоязычных аннотациях широко используется «страдательный залог», а в англоязычных – его стараются по возможности избегать. При использовании «автоматических» переводчиков для преобразования русскоязычных аннотаций в англоязычные все глаголы обычно оказываются размещенными в конце фраз – при этом фразы могут быть достаточно длинными. Как следствие, необходимы «ручные» коррективы текстов, созданных автоматическими переводчиками. Альтернативой может быть написание аннотаций на английском языке с самого начала – без использования их предварительно подготовленных русскоязычных версий.

Следствиями перечисленных факторов являются различия в технологиях подготовки статей для опубликования в зарубежных изданиях [30, 38], особенно высокорейтинговых [36].

5. Недостаточный объем информации по зарубежным изданиям, потенциально подходящим для публикации результатов исследований, в том числе по гуманитарным наукам. Конечно, поиск подходящих НЖ возможен на основе информации на www.sjr.org или www.elibrary.ru. Однако с точки зрения решения задач оптимизации выбора мест опубликования работ этой информации обычно недостаточно. Существенно, что в некоторых случаях помимо официальных требований к представляемым материалам в НЖ существуют и неофициальные, отражающие сложившуюся практику работы с авторами.

Это особенно касается тех изданий, в которых российские авторы вообще не публиковались или публиковались в единичных случаях. Причина – нельзя получить комментарии коллег по особенностям фактических (неформальных) требований в этих изданиях.

Отметим, что в литературе имеют публикации по использованию показателей Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) для оценки научной деятельности гуманитариев [27]. При этом могут быть включены «фильтры» на этом ресурсе по отбору публикаций только в НЖ, индексируемых в Scopus и WoS.

Большинство редакций НЖ (включая и зарубежные) заинтересованы в расширении «географии» публикующихся авторов и тех стран, которые они представляют [3], однако не за счет снижения требований к качеству публикуемых статей; степени их соответствия тематике изданий.

В связи с этим отметим, что для работ, особенно относящихся к СГИ, российскими авторами зачастую сначала выбирается НЖ, и затем уже конкретная статья пишется под требования именно этого журнала (желательная тематическая акцентуация, допустимое количество соавторов, объем, структура и пр.).

6. Зарубежные издания (также, впрочем, как и российские) могут находиться как в платном доступе, так и в открытом. При этом считается общепризнанным [22], что публикации в журналах «открытого доступа» в большей степени способствуют повышению цитируемости статей. При этом обеспечение цитируемости опубликованных в зарубежных изданиях статей может рассматриваться как более важная задача, чем сами факты их опубликования в таких изданиях [24]. Отметим, что цитируемость для СГИ имеет определенную специфику по сравнению с другими отраслями исследований [47].

Таким образом, актуальной задачей является разработка «средств поддержки» деятельности авторов для преодоления указанных трудностей – в том числе в отношении оптимального выбора мест опубликования работ в зарубежных изданиях того или иного научного уровня. В связи с этим важен анализ следующих вопросов: «тематическая классификация» направлений СГИ, применяемая в зарубежных изданиях, МРБиСУЦ; рациональные методы подбора мест опубликования работ по СГИ для российских авторов; номенклатура интернет-ресурсов, которые могут быть использованы для такого подбора. В дальнейшем тексте настоящей статьи эти вопросы рассматриваются последовательно.

Сравнение совокупностей «тематических направлений» по гуманитарным наукам, используемых в различных МРБиСУЦ и репозиториях научной информации. Для российских авторов СГИ при выборе мест опубликования статей в зарубежных журналах весьма важны «тематические профили» (направления) этих изданий.

В России при издании НЖ (и подготовке публикаций для них) принято ориентироваться на номенклатуру научных специальностей, утвержденных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) России. Отметим, что с 2019 г. ВАК для НЖ утверждаются уже не группы научных специальностей, а совокупности отдельных научных специальностей.

Существенно, что классификация тематических направлений по СГИ в российских и зарубежных изданиях отличается. При этом в разных МРБиСУЦ и на интернет-ресурсах применяются разные «классификации» – в ряде случаев это затрудняет для российских авторов выбор подходящих изданий.

Из-за разной классификации и уровней в социально-гуманитарных областях мы будем использовать общий термин – «научное направление».

1. В научной электронной библиотеке (НЭБ) **eLibrary** поиск научных журналов можно осуществить двумя способами: **а)** через «Каталог журналов» (<https://elibrary.ru/titles.asp>). При этом нет разделения по определенным направлениям, поэтому к социально-гуманитарным наукам можно отнести 13 направлений, которые перечислены в таблице 1 и соответствуют классификатору ГРНТИ [2]; **б)** второй способ (применение расширенного поиска на <https://elibrary.ru/querybox.asp?scope=newquery>) позволяет найти издание по определенной тематике через элементы выпадающего списка в поисковой системе.

Этот российский ресурс рассчитан преимущественно на русскоязычных исследователей, обладает развитой системой поиска по НЖ, в том числе и зарубежным изданиям. Однако для зарубежных НЖ указывается только информация об их «индексировании» в Scopus и Web of Science (нет сведений о наукометрических показателях НЖ в этих системах, долях публикуемых в НЖ работ по отношению к числу поступивших и пр.).

Количества журналов по отдельным направлениям отражены в таблице 1 (данные в этой и последующих таблицах соответствуют апрелю 2019 г.).

Таблица 1 – Направления, соответствующие «социально-гуманитарным наукам» в классификаторе, используемом в «поисковой форме» НЭБ

Обозначение направления	Код ГРНТИ	Название направления	Количество журналов
El ₁	10	Государство и право, юридические науки	329
El ₂	03	История	333
El ₃	04	Социология	204
El ₄	–	Мультидисциплинарные журналы	125
El ₅	17	Литературоведение	242
El ₆	13	Культура, культурология	177
El ₇	11	Политика, политические науки	349
El ₈	15	Психология	351
El ₉	02	Философия	134
El ₁₀	18	Искусство, искусствоведение	127
El ₁₁	21	Религия	62
El ₁₂	19	Массовые коммуникации, журналистика	50
El ₁₃	00	Общественные науки в целом	6

Таким образом, наибольшее количество журналов в НЭБ Elibrary приходится на следующие направления: психология, политика, история и юридические науки.

2. **Scimago Journal & Country Rank (SJR)** (<https://www.scimagojr.com>) является наукометрической базой данных (БД) по журналам, которая имеет 27 предметных направлений. Из них только 5 можно отнести к социально-гуманитарным наукам (табл. 2). Отметим, что Scimago содержит удобные средства отбора НЖ по тематике; отображает информацию о принадлежности изданий к одному из четырех «квартилей». Также на данном сайте имеется распределение журналов по странам, в которых они издаются. Доступ к Scimago обычно возможен только с сайтов организаций, заключивших с ресурсом соответствующие договора.

Таблица 2 – Направления в БД Scimago на 2019 г., которые относятся к социально-гуманитарным наукам

Обозначение	Название направления	Количество журналов на 30.04.2019
Sj ₁	Art and Humanities	3 570
Sj ₂	Business, Management and Accounting	1 230
Sj ₃	Economics, Econometrics and Finance	941
Sj ₄	Psychology	1 144
Sj ₅	Social Science	5 716

В Scimago преобладают научные издания по социальным наукам (Social Science). Они включают в себя антропологию, археологию, демографию, педагогику, языкознание и др. Наукометрическая БД Scimago имеет два совпадения по названиям с социально-гуманитарными направлениями из НЭБ Elibrary: 1) El₈ (Психология) и Sj₄ (Psychology); 2) El₁₀ (Искусство, искусствоведение) и Sj₁ (Art and Humanities). При этом количество журналов по этим направлениям в Scimago в несколько раз больше, чем в Elibrary.

3. Реферативная БД **Scopus** (<https://www.scopus.com>) имеет 27 предметных направлений. Из них 5 можно отнести к социально-гуманитарному направлению (табл. 3). В Scopus имеется русскоязычная версия, удобный поиск по отраслям знаний, названиям НЖ, издательств и ISSN. Система поиска позволяет также отсортировать полученный результат поиска научных журналов по квартилю. Однако доступ к полному функционалу возможен только для зарегистрированных пользователей.

Таблица 3 – Направления в БД Scopus, которые мы относим к социально-гуманитарным

Обозначение	Название направления	Количество журналов на 30.04.2019
Sc ₁	Arts and Humanities	4 372
Sc ₂	Business, Management and Accounting	1 719
Sc ₃	Economics, Econometrics and Finance	1 152
Sc ₄	Psychology	1 367
Sc ₅	Social Sciences	6 548

Наибольшее количество журналов имеется по социальным наукам (Social Sciences) – они включают в себя культурологию, демографию, педагогику, политологию, лингвистику и др. Дисциплины, перечисленные в БД Scopus, имеют полное совпадение с направлениями в Scimago. Это объясняется тем, что обе БД принадлежат издательству Elsevier. Разница между ними лишь в условиях доступа: Scimago общедоступен, а для использования Scopus требуется подписка.

Отметим, что, по мнению некоторых российских авторов [7], СГИ-тематика по некоторым направлениям исследований в Scopus представлена неадекватным образом.

4. В **Web of Science (WoS)** (<http://mjl.clarivate.com>) весь материал разделен на коллекции, которые используют классификацию по направлениям. Из этих областей можно выделить три направления относящиеся к СГИ, которые приведены в таблице 4. По теме статьи ресурс включает в себя две БД:

- Social Sciences Citation Index (SSCI) – относится к социальным наукам, охватывает примерно 1950 журналов по 50 дисциплинам, в том числе журналы по экономическим и общественным наукам;
- Arts&Humanities Citation Index (A&HCI) – относится к искусству и гуманитарным наукам, охватывает 1160 журналов по археологии, архитектуре, искусству, литературе, истории, философии, религии.

Таблица 4 – Направления в БД WoS

Обозначение	Название направления
Wo ₁	Arts and Humanities
Wo ₂	Business
Wo ₃	Social & Behavioral Sciences

Примечание. База данных WoS имеет частичные совпадения со Scopus по названиям дисциплин.

5. Международная издательская компания **Springer** [48] использует 27 предметных направлений, 10 из которых можно отнести к гуманитарным наукам (их названия приведены в таблице 5). Выбор научного журнала происходит только по тематическим областям. Предоставляется информация о времени рецензирования и опубликования работы, о наукометрических показателях, таких как двух- и пятилетний индекс Хирша пятилетний, SNIP и SJR. Также приводится информация по удовлетворенности авторов при опубликовании статей в журнале. Указываются места индексирования НЖ. Однако размер БД по научным журналам относительно невелик. Дополнительной возможностью ресурса Springer [48] является поиск журнала по аннотации статьи, подготовленной для опубликования. В результатах, выдаваемых средством поиска, содержится информация об импакт-факторах изданий, времени рецензирования, доле принимаемых к публикации статей.

Таблица 5 – Направления по гуманитарному направлению в Springer, отнесенные нами к социально-гуманитарным наукам

Обозначение	Название направления	Количество журналов на 30.04.2019
Sp ₁	Business & Management	110
Sp ₂	Economics and Finance	107
Sp ₃	Education	85
Sp ₄	History	6
Sp ₅	Law	35
Sp ₆	Literature	4
Sp ₇	Philosophy	70
Sp ₈	Political Science	25
Sp ₉	Psychology	114
Sp ₁₀	Social Sciences	128

Наибольшее количество журналов в этой базе имеется по социальным наукам (Social Sciences), психологии (Psychology), бизнесу и менеджменту (Business & Management). БД Springer имеет 4 совпадения с базой Scopus: Sp₁ (Business & Management) и Sc₂ (Business, Management and Accounting), Sp₂ (Economics and Finance) и Sc₃ (Economics, Econometrics and Finance), Sp₉ (Psychology) и Sc₄ (Psychology), Sp₁₀ (Social Sciences) и Sc₅ (Social Sciences). Повторим, что количество журналов по этим направлениям в Scopus в несколько раз больше, чем в Springer.

6. **European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences** (Erich plus) (<https://dbh.nsd.uib.no>) [41] – система учета публикаций по гуманитарным и социальным наукам. Она включает в себя 30 направлений, которые перечислены в таблице 6. Имеются две формы поиска – простая и расширенная. Поиск осуществляется по обширному тематическому классификатору, ISSN, языку и форме доступа. Однако по изданиям, выявленным (найденным) в результате обработки поисковых предписаний, не приводятся наукометрические показатели.

Таблица 6 – Направления в БД Erich plus

Обозначение	Название направления	Количество журналов на 30.04.2019
Er ₁	Anthropology	502
Er ₂	Archaeology	418
Er ₃	Art and Art History	517
Er ₄	Business and Management	400
Er ₅	Classical Studies	244
Er ₆	Cultural Studies	628
Er ₇	Demography	126
Er ₈	Economics	490
Er ₉	Environmental Studies	220
Er ₁₀	Film and Theatre Studies	167
Er ₁₁	Gender Studies	273
Er ₁₂	History	1 270
Er ₁₃	History & Philosophy of Science	342
Er ₁₄	Human Geography and Urban Studies	292
Er ₁₅	Interdisciplinary research in the Humanities	966
Er ₁₆	Interdisciplinary research in the Social Sciences	1 051
Er ₁₇	Law	409
Er ₁₈	Library and Information Science	94
Er ₁₉	Linguistics	1 076
Er ₂₀	Literature	962
Er ₂₁	Media Studies and Communication	317
Er ₂₂	Musicology	148
Er ₂₃	Pedagogical & Educational Research	1 027
Er ₂₄	Philosophy	732
Er ₂₅	Political Sciences and International Relations	466
Er ₂₆	Psychology	873
Er ₂₇	Religious Studies and Theology	518
Er ₂₈	Science and Technology Studies	264
Er ₂₉	Social Statistics and Informatics	153
Er ₃₀	Sociology	521

Наибольшее количество журналов в рассматриваемой системе имеется по истории, лингвистике, юриспруденции и педагогике. Направления в БД по научным изданиям Erich plus полностью совпадают с направлениями в базе Scopus. Однако в Erich plus представлен более широкий список «гуманитарных» направлений.

7. В БД **Sage HSS** (<https://journals.sagepub.com>) [45] имеется 4 направления, к которым относятся Materials Sciences & Engineering, Life & Biomedical Sciences, Health Sciences, Social Sciences and Humanities. К теме статьи в базе Sage HSS можно отнести отрасль «социальные и гуманитарные науки» (Social Sciences and Humanities) – они перечислены в таблице 7. Представлена информация о местах индексирования журналов. Поиск осуществляется только по дисциплинам. Однако нет необходимых для отбора НЖ наукометрических показателей.

Таблица 7 – Название направлений, используемых в БД Sage HSS

Обозначение	Название направления
Sa ₁	Anthropology & Archaeology
Sa ₂	Criminology & Criminal Justice
Sa ₃	Cultural Studies
Sa ₄	Economics & Development
Sa ₅	Education
Sa ₆	Environmental Studies
Sa ₇	Ethnic Studies
Sa ₈	Family Studies
Sa ₉	Gender Studies
Sa ₁₀	Geography
Sa ₁₁	Gerontology & Aging
Sa ₁₂	Group Studies
Sa ₁₃	History
Sa ₁₄	Information Science
Sa ₁₅	Interpersonal Violence
Sa ₁₆	Language & Linguistics
Sa ₁₇	Law
Sa ₁₈	Management
Sa ₁₉	Media Studies and Communication
Sa ₂₀	Marketing & Hospitality
Sa ₂₁	Music
Sa ₂₂	Peace Studies & Conflict Resolution
Sa ₂₃	Philosophy
Sa ₂₄	Politics and International Relations
Sa ₂₅	Psychoanalysis
Sa ₂₆	Psychology & Counseling
Sa ₂₇	Public Administration
Sa ₂₈	Regional Studies
Sa ₂₉	Religion
Sa ₃₀	Research Methods & Evaluation
Sa ₃₁	Science and Society Studies
Sa ₃₂	Social Work & Social Policy
Sa ₃₃	Sociology
Sa ₃₄	Special Education
Sa ₃₅	Urban Studies & Planning

Таким образом, база Sage HSS включает в себя все направления, имеющиеся в базе Scopus.

8. База данных **ScienceDirect** (<https://www.sciencedirect.com>) [46] имеет четыре направления (области наук): Physical Sciences and Engineering, Life Sciences, Health Sciences, Social Sciences and Humanities. К теме статьи мы отнесли направление (область науки) Social Sciences and Humanities. В таблице 8 перечислены все «компоненты», соответствующие этому направлению. Поиск в этой БД осуществляется по «области наук» или по «компоненте» в ней. Основной поиск научного издания осуществляется только по областям наук. В дополнительных критериях отбора можно указать тип издания (книга, журнал, справочники) и условия доступа (платный/ бесплатный, открытый или закрытый). В результирующем списке отобранных по критериям изданий указывается название издания, его тип и условие доступа. Наукометрические показатели НЖ можно найти только при переходе на страницу издания. Таким образом, таблиц со сравнением указанных показателей для разных НЖ ресурс не отображает – это осложняет выбор подходящего журнала.

Таблица 8 – Направления в БД ScienceDirect

Обозначение	Название направления	Количество журналов на 30.04.2019
Sd ₁	Arts and Humanities	77
Sd ₂	Business, Management and Accounting	166
Sd ₃	Economics, Econometrics and Finance	153
Sd ₄	Psychology	203
Sd ₅	Social Sciences	388

Итак, в рассматриваемой базе преобладают журналы по направлению Social Sciences, которое включают в себя образование, правоведение, лингвистику. Направления, перечисленные в ScienceDirect, совпадают с направлениями в Scopus. Это объясняется тем, что обе БД принадлежат издательству Elsevier. При этом БД ScienceDirect предоставляет полный текст контента Elsevier. В то же время Scopus включает как аннотации и статистику цитирования контента Elsevier, так и контент, к нему не относящийся.

9. **Directory of Open Access Journals (DOAJ)** (<https://doaj.org>) [42] использует классификацию национальной библиотеки США (Library of Congress) (<https://www.loc.gov>). В этой классификации направления не сгруппированы по отдельным отраслям наук. В таблице 9 приведены только направления, которые можно отнести к гуманитарным направлениям. Имеется удобная форма поиска. Для авторов размещены рекомендации по опубликованию статей и примерным временам рецензирования. В этой базе отражаются публикации и российских авторов [1].

Таблица 9 – Направления в БД DOAJ

Обозначение	Название направления	Количество журналов на 30.04.2019
Do ₁	Auxiliary sciences of history	22
Do ₂	Bibliography. Library science. Information resources	140
Do ₃	Education	525
Do ₄	Fine Arts	89
Do ₅	History (General) and history of Europe	89
Do ₆	History America	19
Do ₇	Language and Literature	323
Do ₈	Law	232
Do ₉	Music and books on Music	15
Do ₁₀	Philosophy. Psychology. Religion	144
Do ₁₁	Political science	146
Do ₁₂	Social Sciences	582

10. AKJournals (Akademiai Kiado Journals [40]) (<https://akademai.com>) имеет в своей библиотеке более 60 журналов по разным тематическим направлениям, в том числе и по социально-гуманитарным журналам. AKJournals публикует издаваемые в Венгрии журналы по научным, техническим, медицинским направлениям.

Таблица 10 – Предметные области, представленные в AKJournals

Обозначение	Название направления	Количество журналов на 30.04.2019
Ak ₁	Business and Economics	3
Ak ₂	Psychology	7
Ak ₃	Art History	8
Ak ₄	Arts & Humanities	4
Ak ₅	Comparative Literature	1
Ak ₆	Economics and Social Sciences	7
Ak ₇	Ethnography	2
Ak ₈	History	3
Ak ₉	Law	1
Ak ₁₀	Linguistics	2
Ak ₁₁	Linguistics and Literature	4
Ak ₁₂	Literature	1

База данных AKJournals имеет несколько совпадений по названиям с социально-гуманитарными направлениями из Scimago: 1) Ak₂ (Psychology) и Sj₄ (Psychology); 2) Ak₄ (Arts & Humanities) и Sj₁ (Art and Humanities); 3) Ak₁ (Business and Economics) и Sj₂ (Business), Sj₃ (Economics).

11. ScholarGoogle (<https://scholar.google.ru>) – поисковая система по научным публикациям, представленным в открытом доступе по всем дисциплинам. Подходящий журнал в этой системе можно найти, например, путем выявления статей аналогичной тематики и анализа номенклатуры НЖ, в которых эти статьи опубликованы.

12. Microsoft Academic [44] библиотечно-информационный комплекс, который включает в себя 19 направлений. В таблице 11 перечислены дисциплины, которые мы относим к социально-гуманитарным направлениям.

Таблица 11 – Направления в БД Microsoft Academic

Обозначение	Название направления	Количество журналов на 30.04.2019
Ma ₁	Arts	2 022
Ma ₂	Business	4 832
Ma ₃	Economics	4 271
Ma ₄	History	2 833
Ma ₅	Philosophy	1 686
Ma ₆	Political science	4 367
Ma ₇	Psychology	6 408
Ma ₈	Sociology	5 106

Наибольшее количество журналов на этом ресурсе имеется по психологии, социологии, бизнесу и экономике. База данных Microsoft Academic имеет 4 совпадения с базой Scimago: Ma₁ (Arts) и Sj₁ (Arts & Humanities), Ma₂ (Business) и Sj₂ (Business, Management and Accounting), Ma₃ (Economics) и Sj₃ (Economics, Econometrics and Finance), Ma₇ (Psychology) и Sj₄ (Psychology).

13. Open Journal Systems (Public Knowledge Project) открывает доступ к БД только после установления данного приложения на ПК. Эта база была разработана для создания научных журналов и ведения в ней «издательских работ» (прием, рецензирование, каталогизирование научных статей). Разработанное приложение сложно для использования, однако его можно применить для поиска определенного журнала, а также для «информационной поддержки научно-образовательной деятельности» [29].

Критерии и технологии поиска НЖ, используемые российскими учеными. Большинство работающих в сфере СГИ ученых, которые регулярно публикуют результаты научных исследований, знают номенклатуру, по крайней мере, ведущих российских НЖ по «своему» профилю исследований. В то же время состав зарубежных изданий они обычно знают хуже. Основными случаями, при которых у российских исследователей возникает потребность в поиске мест опубликования работ в зарубежных изданиях, являются следующие:

1) необходимость увеличения доли собственных публикаций в авторитетных зарубежных изданиях для решения следующих задач: обеспечения очередного «избрания по конкурсу» на занимаемые или вакантные должности; «усиления позиций» при подаче заявок на получение грантов, конкурсы работ и пр.; удовлетворения требований «политики» организации-работодателя в отношении показателей публикационной активности сотрудников, подразделений, организации в целом и пр.;

2) получение отрицательных рецензий на статьи, направленные для опубликования российскими авторами в зарубежные издания. При этом авторы часто стараются найти иные зарубежные издания, а не переводят статьи на русский язык и подбирают места публикации их в российской периодике;

3) ограничения на публикации в НЖ работ одними и теми же авторами в течение одного календарного года в ряде случаев также могут быть фактором, побуждающим к поиску «новых» (дополнительных) изданий. Такие ограничения часто существуют не только в российских НЖ, но и зарубежных. Политика редакций по «диверсификации» состава авторов позволяет им решать ряд задач, включая следующие: расширение «базы авторов» обеспечивает увеличение полноты «тематического охвата» рассматриваемых в изданиях вопросов; обеспечивается улучшение наукометрических показателей изданий, включая индексы Херфиндаля-Хиршмана по авторам и представляемых ими организациям.

При подборе НЖ авторами используется ряд показателей изданий. В таблице 12 приведены сводные характеристики БД по НЖ в отношении различных показателей. При этом указывается следующая информация. ISSN – международный стандартный серийный номер издаваемого НЖ. Имеется ли информация об организации, языке и стране, в которой издается НЖ. Область наук включает в себя дисциплины, по которым специализируется журнал. Возможный формат доступа к НЖ (открытый, платный). Время опубликования – это скорость принятия статьи к опубликованию. Требования журнала по оформлению статьи – включают в себя технические требования к представляемым материалам. Ссылка на интернет-сайт журнала.

Наукометрические показатели включают в себя следующее.

CiteScore – показатель, отражающий среднегодовое количество ссылок за определенный год на статьи, опубликованные в журнале за три последних года.

Impact Factor (2) и Impact Factor (5) – численные показатели цитируемости НЖ соответственно за 2 и 5 последних лет.

SNIP – нормализованный показатель цитируемости журнала, который учитывает уровень цитирования в каждой научной области (что дает возможность сравнивать НЖ различной тематики).

SJR – это рейтинг НЖ, составленный группой исследователей SCImago.

Индекс Хирша – является количественной характеристикой «продуктивности» журнала. Использование индекса основывается на количестве публикаций и количестве цитирований этих публикаций.

Количество всех статей опубликованных в журнала за весь период его издания.

Общее количество цитирований статей в журнале.

Квартиль (четверть) Q – это показатель категории НЖ. Он определяется библиометрическими показателями, отражающими уровень цитируемости, т.е. востребованность НЖ научным сообществом.

Таблица 12 – Характеристики основных международных реферативных баз и систем учета цитирований в отношении наличия информации об индексируемых изданиях

Название характеристики	eLibrary	Scimago	Scopus	WoS	Springer	Erich plus	Sage HSS	ScienceDirect	DOAJ
ISSN	+	+	–	–	–	+	+	+	+
Издающая организация	+	+	+	+	–	+	+	–	+
Страна	+	+	–	–	–	+	+	–	+
Области наук	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Язык	+					+	–		+
Формат доступа	+	+	–	–	–	–	–	+	+
Время опубликования	–	–	–	–	+	–	–	+	+
Требования к публикации	–	+	–	–	+	–	–	+	+
Ссылка на сайт журнала	+	+	+	+	+	+	–	+	+
CiteScore	–	–	+	–	–	–	–	+	–
Impact Factor (2)	+	–	–	–	+	–	–	+	–
Impact Factor (5)	+	–	–	–	+	–	–	+	–
SNIP		+	+	–	–	–	–	+	–
SJR	+	+	+	–	+	–	–	+	–
Индекс Хирша	+	+	–	–	–	–	–	–	–
Кол-во всех статей	+	+	+	–	–	–	–	+	+
Кол-во цитирований	+	+	+	–	–	–	–	–	–
Квартиль издания	–	+	+	+	–	–	–	–	–

По результатам сравнения сведений, представленных в таблице 12, можно сделать вывод, что наиболее полную информацию о зарубежных НЖ предоставляют DOAJ, ScienceDirect, Scimago и eLibrary.

Для авторов статей полезным является также наличие на рассматриваемых интернет-ресурсах прямых гиперссылок на сайты НЖ; удобного доступа к сведениям о требованиях к представляемым в НЖ материалам, правилам оформления (форматирования) текстов, структуре разделов в статьях, количественным характеристикам библиографических списков (БС) к работам и пр. Отметим, что указанные правила (требования) в конкретных зарубежных НЖ по гуманитарным наукам серьезно различаются.

Получение сведений о возможных местах опубликования результатов СГИ путем анализа библиографических списков статей. Анализ публикаций по выбранной тематике исследований в зарубежных журналах является важнейшим элементом научной деятельности и некоторыми авторами рассматривается как «как начало международной авторской карьеры преподавателей вуза» [37]. При этом одним из рациональных способов использования «накопленного опыта» других исследователей (причем не только российских, но и зарубежных) может быть анализ БС в ранее опубликованных работах с целью подбора мест опубликования результатов собственных исследований.

В качестве таких работ – источников списков изданий могут рассматриваться следующие объекты:

1) обзорно-аналитические статьи подходящей тематики. Они обычно содержат обширные списки источников, подобранных по определенной теме. При этом для целей подбора мест опубликования предпочтительны англоязычные статьи зарубежных авторов;

2) статьи исследовательского характера на английском языке. В зарубежной практике для них типичными также являются достаточно большие БС;

3) монографии. Даже в русскоязычных монографиях, относящихся к СГИ, может содержаться значительное количество работ, опубликованных в зарубежных журналах. При этом к русскоязычным монографиям проще получить бесплатный доступ через интернет по сравнению с книгами, опубликованными в зарубежных издательствах.

Общим недостатком монографий можно считать то, что в них используются более ранние по времени ссылки, чем в работах типа «статей»;

4) материалы российских диссертаций. Кандидатские диссертации, защищенные в России, могут быть предпочтительны, если они хорошо соответствуют тематике статьи, по которой нужно подобрать место публикации. Какое-то количество зарубежных источников в них обычно есть. Докторские диссертации содержат более длинные БС, однако подобрать подходящую по тематике докторскую диссертацию может быть сложнее, чем кандидатскую. В настоящее время к диссертациям, защищенным в России, возможен доступ преимущественно с компьютеров вузов, НИИ и т.п. организаций. Однако ряд фирм, распространяющих материалы диссертаций и авторефератов на платной основе, дают свободный доступ к спискам литературы в диссертациях;

5) материалы зарубежных диссертаций. На сайтах многих зарубежных вузов размещены материалы защищенных диссертаций уровня PhD. Есть также и сайты-агрегаторы таких материалов. Однако с помощью информационно-поисковых систем интернета найти материалы нужной тематики может быть достаточно сложно.

Формирование списков изданий, подходящих для опубликования работ, может носить разовый характер (для конкретной статьи); выполняться для группы статей, предполагаемых для последующей публикации, в том числе в разных НЖ; осуществляться на регулярной основе – исходя из того, что потребность авторов в подходящих изданиях будет существовать и в будущем.

Рассмотрим технологию подбора авторами подходящих для опубликования изданий на основе БС к статьям.

В типичных случаях такая технология может выглядеть следующим образом.

А. С помощью поисковой системы подходящего репозитория научной информации выявить англоязычные статьи, которые близки по тематике к той, которую предполагается опубликовать. Это могут быть статьи как российских авторов (их стоит рассматривать в первую очередь), так и зарубежных. При этом определенным «неудобством» ресурса www.elibrary.ru является то, что на англоязычные запросы он обычно выдает источники и на русском языке. На практике в русскоязычных статьях количества англоязычных работ в БС чаще всего небольшие, поэтому они могут быть менее полезными для подбора зарубежных НЖ.

Б. Из списков ссылок, выданных поисковыми системами, выбираются «тематически подходящие» работы; изучаются их БС.

Если очередной источник в БС еще отсутствует в личной БД автора для подходящих мест опубликования, то этот источник заносится в такую БД и для него в «счетчике встречаемости» устанавливается значение, равное «1».

Если соответствующий источник в личной БД уже есть, то для него значение счетчика увеличивается на «+1».

Таким образом, по результатам анализа совокупности БС будет сформирован «профиль» предпочтительных изданий, в котором показателем «тематической предпочтительности» является значение счетчика.

Указанные профили будут, вообще говоря, индивидуальными для каждого из видов запросов к поисковым системам. Однако в некоторых случаях целесообразно использовать списки ссылок, полученных по тематически близким запросам или запросам, отражающим различные аспекты рассматриваемых проблем. В этих случаях профили будут соответствовать совокупности запросов.

Подчеркнем, что в данном разделе речь идет только о подборе НЖ, подходящих по тематике, без учета других факторов (долей принимаемых статей, стоимостей публикаций, времени ожидания опубликования работ и пр.).

Отметим, что списки зарубежных НЖ, которые желательны [6] для опубликования работ с точки зрения вузов, могут включаться и в их информационные системы [13], размещаться на их сайтах.

Еще одним направлением использования БС может быть анализ таких списков в статьях других авторов, публикующих работы близкой тематики. Эти авторы могут быть заранее известны или выявлены путем анализа результатов выдачи поисковых систем репозитория научной информации по запросам, относящимся к отдельным авторам.

Выводы. 1. Выбор российскими авторами мест опубликования результатов СГИ в зарубежных НЖ в типичных случаях осложняется рядом факторов – объективного, субъективного, смешанного характера.

2. Для увеличения долей «зарубежных» публикаций российских исследователей необходимо обеспечить преодоление указанных трудностей. Одним из важнейших методов такого преодоления является обеспечение адекватной информационной и информационно-аналитической поддержки российских авторов.

3. Одним из рациональных решений в процессе выбора является анализ БС уже опубликованных работ (статей, монографий, диссертаций). Однако этот подход эффективен только при обоснованном выборе объектов (статей, монографий), содержащих такие списки.

4. Использование интернет-ресурсов для оптимизации выбора мест опубликования результатов СГИ значительно расширяет круг рассматриваемых изданий-кандидатов; дает возможность получить по

ним, по крайней мере, часть информации, необходимой для повышения обоснованности выбора. Однако эффективное использование рассматриваемых в статье интернет-ресурсов для подбора мест опубликования статей в зарубежных изданиях требует знания возможностей и особенностей этих ресурсов.

5. В большинстве случаев дополнительная информация по условиям опубликования работ в НЖ может быть получена авторами по запросам в редакции. Однако при этом запросы должны быть сформулированы достаточно конкретно; содержание запросов и их стилистика должны соответствовать общепринятым правилам публикационной этики.

6. В ряде случаев для коллективов авторов, систематически публикующих результаты СГИ, может быть целесообразным составление собственной (коллективной) БД научных изданий, включая зарубежные НЖ. При этом в такие базы могут быть включены данные, отраженные на доступных интернет-ресурсах; некоторые неформальные показатели, отражающие опыт взаимодействия с соответствующими изданиями самих авторов или их коллег.

Библиографический список

1. Бикирева С. Ю. Перспективы развития поисковой платформы открытого доступа DOAJ для российских научных журналов : магистерская работа / С. Ю. Бикирева ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Московский политехнический университет (Московский политех), Высшая школа печати и медиainдустрии, Институт издательского дела и журналистики и др. – Москва, 2017. – 111 с. : табл., ил. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=461687>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 30.04.2019).
2. Брумштейн Ю. М. Структура российских журналов по гуманитарным наукам: анализ изданий, индексируемых российским индексом научного цитирования / Ю. М. Брумштейн, Л. В. Мальчук // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 2. – С. 10–25.
3. Брумштейн Ю. М. Цели и практические методы управления наукометрическими показателями вузовских журналов: взгляд с позиций научных редакторов / Ю. М. Брумштейн, Н. К. Юрков, В. А. Камаев // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». – 2015. – № 6 (163). – С. 103–111.
4. Брумштейн Ю. М. Научные публикации с точки зрения российского законодательства об авторском праве / Ю. М. Брумштейн // Интеллектуальная собственность. Авторское право. 2006. – № 4. – С. 8–17.
5. Брумштейн Ю. М. Принципы и методы выбора авторами мест опубликования научных работ, связанных с информационными технологиями / Ю. М. Брумштейн, Т. А. Жирнова // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». – 2015. – № 14 (178). – С. 78–84.
6. Брумштейн Ю. М. Публикационная политика регионального вуза в контексте управления его научным имиджем / Ю. М. Брумштейн, А. Б. Кузьмина, Л. В. Яковлева // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 2. – С. 99–109.
7. Еремян В. В. Имеет ли “SCOPUS” какое-либо отношение к науке конституционного права? / В. В. Еремян // Журнал российского права. – 2018. – № 6 (258). – С. 159–165.
8. Ермаков С. С. Украинские научные издания: современное состояние и перспективы развития / С. С. Ермаков // Научное издание международного уровня – 2015: современные тенденции в мировой практике редактирования, издания и оценки научных публикаций : материалы 4-й Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 58–63.
9. Желтов С. А. Исследование рынка информационных услуг по публикации статей в зарубежных научных журналах / С. А. Желтов, Р. И. Баженов // Постулат. – 2015. – № 2 (2). – С. 2.
10. Калужная Т. А. Инструмент для работы с зарубежными журналами удаленного доступа как элемент современного справочно-поискового аппарата научной библиотеки / Т. А. Калужная, А. А. Пакшин // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 6 (154). – С. 17–22.
11. Кодин Е. В. Российская история на страницах зарубежных научных журналов: эволюция подходов и оценок в XXI веке / Е. В. Кодин // Новейшая история России. – 2017. – № 4 (21). – С. 161–178.
12. Комолов О. О. Аннотации статей зарубежных левых научных журналов (обзор) / О. О. Комолов // Альтернативы. – 2017. – № 1. – С. 116–118.
13. Маркелов К. А. Информационные системы, используемые в российских вузах: анализ тенденций создания, использования, взаимодействия с сайтами / К. А. Маркелов, Ю. М. Брумштейн, В. Г. Головин, Д. И. Коновалова, Н. В. Васильев // Актуальные вопросы использования технологий анализа данных и искусственного интеллекта : сборник материалов I Международной научно-технической конференции (Астрахань, Астраханский государственный университет, 6–8 ноября 2018 г.). – Астрахань, 2018. – С. 86–92.
14. Маркелов К. А. Процессы интеграции прикаспийских государств и их приморских территорий: системный анализ источников и структуры информации / К. А. Маркелов, Ю. М. Брумштейн, В. Г. Головин // Вестник Евразийской науки. – 2018. – № 5. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/26ECVN518.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус., англ.
15. Михайлов О. В. Публикации в зарубежных научных изданиях как один из важнейших объективных критериев качества научной деятельности / О. В. Михайлов, А. Р. Зартдинова // Вестник Казанского технологического университета. – 2005. – № 2. – С. 216–221.
16. Живлакова А. Е. Структура и порядок оформления научной статьи на иностранном языке / А. Е. Живлакова // Информационно-инновационные технологии в педагогике, психологии и образовании : сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 58–61.

17. Истомин И. А. Сравнительные особенности отечественных и зарубежных научных журналов / И. А. Истомин, А. А. Байков // Международные процессы. – 2015. – Т. 13, № 2 (41). – С. 114–140.
18. Короткина И. Б. Грамотность научного текста: концептуальные расхождения между Россией и Западом и их последствия / И. Б. Короткина // Научная периодика: проблемы и решения. – 2014. – № 2 (20). – С. 34–39.
19. Кабанова Н. Н. Компаративный анализ структуры статьи российских и зарубежных научных журналов, индексируемых SCOPUS и Web of Science / Кабанова Н. Н. // В мире научных открытий. – 2014. – № 11-6 (59). – С. 2143–2161.
20. Костригин А. А. Опыт международного сотрудничества «объединенной редакции научных журналов» по интеграции ученых, специалистов, аспирантов и докторантов России и зарубежных стран / А. А. Костригин, Т. М. Хусяинов, Л. Ф. Чупров // NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 2, № 55. – С. 318–321.
21. Лисицкая Е. Ю. Опыт сравнения социологического теоретизирования в российских и зарубежных научных журналах / Е. Ю. Лисицкая // Социологические исследования. – 2014. – № 9 (365). – С. 130–138.
22. Макеев М. И., Трищенко Н. Д. Влияние открытого доступа на цитируемость и на альтернативные метрики научных статей по медиа и коммуникации / Макеев М. И., Трищенко Н. Д. // Вестник Московского университета. Серия 10: Журналистика. – 2018. – № 5. – С. 3–26.
23. Мочалов А. Н. Особенности написания статей по юридическим наукам, или почему большинство публикаций российских правоведов не интересны международной аудитории / А. Н. Мочалов // Научное издание международного уровня – 2018: редакционная политика, открытый доступ, научные коммуникации: материалы 7-й Международной научно-практической конференции / отв. ред. О. В. Кириллова; Ассоциация научных редакторов и издателей (АНРИ); Некоммерческое партнерство «Национальный электронно-информационный консорциум» (НП «НЭИКО»). – Санкт-Петербург, 2018. – С. 115–123.
24. Попова Н. Г. В России мы пока бьемся за сам факт публикации в журналах “SCOPUS” или “WOS”, в то время как в западных странах бьются за цитирование / Н. Г. Попова // Дискуссия. – 2017. – № 5 (79). – С. 6–14.
25. Савельева И. М. Зарубежные публикации российских гуманитариев: социометрический анализ / И. М. Савельева, А. В. Полетаев // Вопросы образования. – 2009. – № 4. – С. 199–218.
26. Савельева И. М. Российские историки в зарубежных журналах / И. М. Савельева, А. В. Полетаев // Диалог со временем. – 2010. – № 32. – С. 5–21.
27. Сидорова В. В. Использование РИНЦ для оценки научной деятельности гуманитариев / В. В. Сидорова // Сибирские исторические исследования. – 2016. – № 1. – С. 27–39.
28. Соколов В. Я. Как печататься в зарубежных научных журналах: из опыта автора и редактора / В. Я. Соколов // Вестник ИИБ (Вестник профессиональных бухгалтеров). – 2018. – № 4. – С. 17–27.
29. Спирин О. М. Опыт использования программной платформы OPEN JOURNAL SYSTEMS для информационной поддержки научно-образовательной деятельности / О. М. Спирин, Л. А. Лупаренко // Информационные технологии и средства обучения. – 2017. – Т. 61, № 5. – С. 196–218.
30. Харитонов Е. Г. «Я хотел бы опубликоваться в зарубежном журнале, но...» (проект научно-просветительского семинара для преподавателей вузов) / Е. Г. Харитонов // Новая наука в интерпретации современного образовательного процесса: сборник научных трудов / под ред. С. В. Кузьмина. – Казань, 2017. – С. 231–234.
31. Шимановская Л. А. Проблема языкового оформления научной статьи для зарубежного журнала на английском языке / Л. А. Шимановская // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 23. – С. 338–345.
32. Убушаева И. В. Функционирование кавычек в английской письменной речи / И. В. Убушаева // Ученые записки Санкт-Петербургского университета технологий управления и экономики. – 2018. – № 1 (61). – С. 44–47.
33. Филиппов И. С. Как ученые гуманитарного профиля оценивают наукометрию / И. С. Филиппов // Сибирские исторические исследования. – 2016. – № 3. – С. 6–27.
34. Харьбина Т. Н., Бескаравайная Е. В., Митрошин И. А. Модель исследования информационной значимости иностранных журналов / Т. Н. Харьбина, Е. В. Бескаравайная, И. А. Митрошин // Наукометрия: методология, инструменты, практическое применение: сборник научных статей / под ред. А. И. Груши. – Минск, 2018. – С. 257–276.
35. Цуканова Ж. В. Структурные и семантические особенности заголовков современных научных статей (на материале русского и английского языков) / Ж. В. Цуканова // Современные научные исследования и инновации. – 2018. – № 5 (85). – С. 33.
36. Чернова И. А. Подготовка к изданию в высокорейтинговых зарубежных журналах результатов научной и инновационной деятельности преподавателей вузов / И. А. Чернова, Н. А. Швец. – Бийск, 2013.
37. Швец Н. А. Анализ научно-исследовательских публикаций в зарубежных высокорейтинговых журналах как начало международной авторской карьеры преподавателей вуза / Н. А. Швец // Мир науки, культуры, образования. – 2013. – № 5 (42). – С. 94–95.
38. Швец Н. А. Подготовка результатов научно-исследовательской и инновационной деятельности преподавателей вузов и научных коллективов к изданию в зарубежных рецензируемых журналах / Н. А. Швец // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2013. – № 4 (19). – С. 150–154.
39. Яковлева Н. О. Методика выбора зарубежных журналов для публикации результатов научно-инновационной деятельности исследователей университета / Н. О. Яковлева // Книжная культура региона: исторический опыт и современная практика: материалы IV Всероссийской (с международным участием) научной конференции. Челябинск, 2016. – С. 270–277.
40. Academiai Kiado. – Режим доступа: <https://akademai.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.04.2019).
41. European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS). – Режим доступа: <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringskanaler/erihplus/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 15.04.2019).

42. DOAJ (Directory of Open Access Journals). – Режим доступа: <https://www.doaj.org>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.04.2019).
43. Matveyev S. Publications in foreign journals as a strategy and an indicator of the internationalization of the russian historical studies in the 21st century / S. Matveyev, I. Saveliyeva // *Jahrbucher fur Geschichte Osteuropas*. – 2017. – Т. 65, № 2. – Р. 282–294.
44. Microsoft Academic. – Режим доступа: <http://academic.research.microsoft.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.04.2019).
45. Sage Journals. – Режим доступа: <http://online.sagepub.com/browsejournals.dtl?source=available>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 15.04.2019).
46. ScienceDirect. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.04.2019).
47. Skovajsa M. Total and foreign-journal citedness of sociologically iasopis: The results of a citation analysis / M. Skovajsa // *Sociologicky Casopis*. – 2014. – Т. 50, № 5. – Р. 671–712.
48. Springer. – Режим доступа: <https://www.springer.com/gp>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.04.2019).

References

1. Bikireva S. Yu. *Perspektivy razvitiya poiskovoy platformy otkrytogo dostupa DOAJ dlya rossiyskikh nauchnykh zhurnalov : masterskaya rabota* [Perspectives of search platform development to the open access of DOAJ for the Russian scientific journals: master's thesis]. Moscow, 2017. 111 p. Available at: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=461687> (accessed 30.04.2019).
2. Brumshteyn Yu. M., Malchuk L. V. Struktura rossiyskikh zhurnalov po gumanitarnym naukam: analiz izdaniy, indeksiruemyykh rossiyskim indeksom nauchnogo tsitirovaniya [Struktura of the Russian journals on the humanities: the analysis of the editions indexed by the Russian index of scientific citing]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 2, pp. 10–25.
3. Brumshteyn Yu. M., Yurkov N. K., Kamaev V. A. Tseli i prakticheskie metody upravleniya naukometricheskimi pokazatelyami vuzovskikh zhurnalov: vzglyad s pozitsiy nauchnykh redaktorov [Purposes and practical methods of universities journals scientometric indicators management: a look from positions of scientific editors]. *Izvestiya VolgGTU. Seriya «Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh»* [News of Volgograd State Technical University. Series “The Current Problems of Control, Computer Technique and Information Science in Technical Systems”], 2015, no. 6 (163), pp. 103–111.
4. Brumshteyn Yu. M. Nauchnye publikatsii s tochki zreniya rossiyskogo zakonodatelstva ob avtorskom prave [Scientific publications in terms of the Russian legislation on copyright]. *Intellektual'naya sobstvennost. Avtorskoe pravo* [Intellectual property. Copyright], 2006, no. 4, pp. 8–17.
5. Brumshteyn Yu. M., Zhirmova T. A. Printsipy i metody vybora avtorami mest opublikovaniya nauchnykh rabot, svyazannykh s informatsionnymi tekhnologiyami [The principles and methods of authors choice for publication places of scientific works, connected with information technologies]. *Izvestiya VolgGTU. Seriya «Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh»* [News of Volgograd State Technical University. Series “The Current Problems of Control, Computer Technique and Information Science in Technical Systems”], 2015, no. 14 (178), pp. 78–84.
6. Brumshteyn Yu. M., Kuzmina A. B., Yakovleva L. V. Publikatsionnaya politika regionalnogo vuza v kontekste upravleniya ego nauchnym imidzhem [The printing policy of regional higher education institution in the context of management of its scientific image]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2013, no. 2, pp. 99–109.
7. Yeremyan V. V. Imet li “SCOPUS” kakoe-libo otnoshenie k nauke konstitutsionnogo prava? [Whether “SCOPUS” has any relation to science of constitutional right?]. *Zhurnal rossiyskogo prava* [Journal of Russian law], 2018, no. 6 (258), pp. 159–165.
8. Yermakov S. S. Ukrainskie nauchnye izdaniya: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Ukrainian scientific publications: the current state and perspectives of development]. *Nauchnoe izdanie mezhdunarodnogo urovnya – 2015: sovremennye tendentsii v mirovoy praktike redaktirovaniya, izdaniya i otsenki nauchnykh publikatsiy : materialy 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The scientific publication of the international level – 2015: current trends in world practice of editing, the edition and assessment of scientific publications : Materials of the 4th International Scientific and Practical Conference]. St. Petersburg, 2015, pp. 58–63.
9. Zheltov S. A., Bazhenov R. I. Issledovanie rynka informatsionnykh uslug po publikatsii statey v zarubezhnykh nauchnykh zhurnalakh [A research of the market of information services in the publication article in foreign scientific journals]. *Postulat* [The Postulate], 2015, no. 2 (2), p. 2.
10. Kalyuzhnaya T. A., Pakshin A. A. Instrument dlya raboty s zarubezhnyimi zhurnalami udalennogo dostupa kak element sovremennogo spravочно-poiskovogo apparata nauchnoy biblioteki [The tool for work with foreign journals of remote access as an element of the modern help and search office of scientific library]. *Informatsionnye resursy Rossii* [Information resources of Russia], 2016, no. 6 (154), pp. 17–22.
11. Kodin Ye. V. Rossiyskaya istoriya na stranitsakh zarubezhnykh nauchnykh zhurnalov: evolyutsiya podkhodov i otsenok v XXI veke [The Russian history on pages of foreign scientific journals: evolution of approaches and estimates in xxi a century]. *Noveyshaya istoriya Rossii* [The Contemporary history of Russia], 2017, no. 4 (21), pp. 161–178.
12. Komolov O. O. Annotatsii statey zarubezhnykh levyykh nauchnykh zhurnalov (obzor) [Summaries of articles of foreign left scientific journals (review)]. *Alternativy* [Alternatives], 2017, no. 1, pp. 116–118.
13. Markelov K. A., Brumshteyn Yu. M., Golovin V. G., Kononova D. I., Vasilev N. V. Informatsionnye sistemy, ispolzuemye v rossiyskikh vuzakh: analiz tendentsiy sozdaniya, ispolzovaniya, vzaimodeystviya s saytami [The information

systems used in the Russian universities: the analysis of trends of creation, use, interaction with the websites]. *Aktualnye voprosy ispolzovaniya tekhnologiy analiza dannykh i iskusstvennogo intellekta : sbornik materialov I Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnikeskoy konferentsii* (Astrakhan, Astrakhanskiy gosudarstvennyy universitet, 6–8 noyabrya 2018 g.) [Collection of Materials conference Topical Issues of Use of Technologies of Data Analysis and Artificial Intelligence : Proceedings of The I International Scientific and Technical Conference (Astrakhan, Astrakhan State University, November 6–8, 2018)]. Astrakhan, 2018, pp. 86–92.

14. Markelov K. A., Brumshteyn Yu. M., Golovin V. G. Protsessy integratsii prikaspiyskikh gosudarstv i ikh primorskikh territoriy: sistemnyy analiz istochnikov i struktury informatsii [Processes of integration of the Caspian states and their seaside territories: systems analysis of sources and structure of information]. *Vestnik Yevraziyskoy nauki* [Bulletin of the Eurasian Science], 2018, no. 5. Available at: <https://esj.today/PDF/26ECVN518.pdf>; <https://esj.today/PDF/26ECVN518.pdf>.

15. Mikhaylov O. V., Zartdinova A. R. Publikatsii v zarubezhnykh nauchnykh izdaniyakh kak odin iz vazhnykh obektivnykh kriteriev kachestva nauchnoy deyatel'nosti [Publications in foreign scientific publications as one of the most important objective criteria of quality of scientific activity]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [The Bulletin of the Kazan Technological University], 2005, no. 2, pp. 216–221.

16. Zhivlakova A. Ye. Struktura i poryadok oformleniya nauchnoy stati na inostrannom yazyke [Structure and an order of an execution of the scientific article in a foreign language]. *Informatsionno-innovatsionnye tekhnologii v pedagogike, psikhologii i obrazovanii : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The information and innovation technologies in pedagogics, psychology and formation : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference], 2018, pp. 58–61.

17. Istomin I. A., Baykov A. A. Sravnitelnye osobennosti otechestvennykh i zarubezhnykh nauchnykh zhurnalov [Comparative features of domestic and foreign scientific journals]. *Mezhdunarodnye protsessy* [International Processes], 2015, vol. 13, no. 2 (41), pp. 114–140.

18. Korotkina I. B. Gramotnost nauchnogo teksta: kontseptualnye raskhozhdeniya mezhdu rossiei i zapadom i ikh posledstviya [Literacy of the scientific text: conceptual discrepancies between Russia and the West and their effects]. *Nauchnaya periodika: problemy i resheniya* [The Scientific Periodical Press: Problems and Solutions], 2014, no. 2 (20), pp. 34–39.

19. Kabanova N. N. Komparativnyy analiz struktury stati rossiyskikh i zarubezhnykh nauchnykh zhurnalov, indeksiruemyykh SCOPUS i Web of Science [Comparative analysis of structure of article of the Russian and foreign scientific logs indexed by SCOPUS and Web of Science]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the World of Discoveries], 2014, no. 11-6 (59), pp. 2143–2161.

20. Kostrigin A. A., Khusyainov T. M., Chuprov L. F. Opyt mezhdunarodnogo sotrudnichestva "obedinennoy redaktsii nauchnykh zhurnalov" po integratsii uchenykh, spetsialistov, aspirantov i doktorantov rossii i zarubezhnykh stran [Experience of the international cooperation of "joint edition of scientific journals" in integration of scientists, specialists, graduate students and doctoral candidates of Russia and foreign countries]. *NovaInfo.Ru* [NovaInfo.Ru], 2016, vol. 2, no. 55, pp. 318–321.

21. Lisitskaya Ye.Yu. Opyt sravneniya sotsiologicheskogo teoretizirovaniya v rossiyskikh i zarubezhnykh nauchnykh zhurnalakh [Experience of comparison of sociological theorizing in the Russian and foreign scientific logs]. *Sotsiologicheskie issledovaniya* [Sociological researches], 2014, no. 9 (365), pp. 130–138.

22. Makeenko M. I., Trishchenko N. D. Vliyaniye otkrytogo dostupa na tsitiruemye metriki nauchnykh statey po media i kommunikatsii [Influence of open access to quoting and on alternative metrics of scientific articles on media and communication]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 10: Zhurnalistika* [The Bulletin of the Moscow university. Series 10: Journalism.], 2018, no. 5, pp. 3–26.

23. Mochalov A. N. Osobennosti napisaniya statey po yuridicheskim naukam, ili pochemu bolshinstvo publikatsiy rossiyskikh pravovedov ne interesny mezhdunarodnoy auditorii [Features of writing articles on jurisprudence or why the majority of publications of the Russian jurists are not interesting to the international audience]. *Nauchnoye izdanie mezhdunarodnogo urovnya – 2018: redaktsionnaya politika, otkrytyy dostup, nauchnye kommunikatsii : materialy 7-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The scientific publication of the international level – 2018: editorial policy, open access, scientific communications : Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference]. St.Petersburg, 2018, pp. 115–123.

24. Popova N. G. V Rossii my poka bemsya za sam fakt publikatsii v zhurnalakh "SCOPUS" ili "WOS", v to vremya kak v zapadnykh stranakh byutsya za tsitirovaniye [In Russia we fight for the fact of the publication so far in the SCOPUS or WOS journals while in the western countries fight for citing]. *Diskussiya* [The Discussion], 2017, no. 5 (79), pp. 6–14.

25. Saveleva I. M., Poletaev A. V. Zarubezhnye publikatsii rossiyskikh gumanitariyev: sotsiometricheskii analiz [Foreign publications of the Russian humanists: sociometric analysis]. *Voprosy obrazovaniya* [Problems of Education], 2009, no. 4, pp. 199–218.

26. Saveleva I. M., Poletaev A. V. Rossiyskie istoriki v zarubezhnykh zhurnalakh [Russian historians in foreign journals]. *Dialog so vremenem* [Dialog with Time], 2010, no. 32, pp. 5–21.

27. Sidorova V. V. Ispolzovanie RINTZ dlya otsenki nauchnoy deyatel'nosti gumanitariyev [Use the RINTZ for assessment of scientific activity of humanists]. *Sibirskie istoricheskie issledovaniya* [The Siberian Historical Researches], 2016, no. 1, pp. 27–39.

28. Sokolov V. Ya. Kak pechatatsya v zarubezhnykh nauchnykh zhurnalakh. iz opyta avtora i redaktora [How to be published in foreign scientific journals. from experience of the author and the editor]. *Vestnik IPB (Vestnik professionalnykh bukhgalterov)* [Bulletin of IPB (Bulletin of Professional Accountants)], 2018, no. 4, pp. 17–27.

29. Spirin O. M., Luparenko L. A. Opyt ispolzovaniya programmnoy platformy OPEN JOURNAL SYSTEMS dlya informatsionnoy podderzhki nauchno-obrazovatel'noy deyatel'nosti [Experience of use of a software platform of open journal systems for information support of scientific and educational activity]. *Informatsionnye tekhnologii i sredstva obucheniya* [Information technologies and training aids], 2017, vol. 61, no. 5, pp. 196–218.

30. Kharitonova Ye. G. "Ya khotel by opublikovatsya v zarubezhnom zhurnale, no..." (proekt nauchno-prosvetitskogo seminar dlya prepodavateley vuzov) ["I would like to be published in the foreign journal, but..." (the project of a scientific-educational seminar for universities teachers)]. *Novaya nauka v interpretatsii sovremennogo obrazovatel'nogo protsessa : sbornik nauchnykh trudov* [New science in interpretation of modern educational process : Proceedings]. Kazan, 2017, pp. 231–234.
31. Shimanovskaya L. A. Problema yazykovogo oformleniya nauchnoy statii dlya zarubezhnogo zhurnala na angliyskom yazyke [A problem of a language execution of the scientific article for the foreign log in English]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [The Bulletin of the Kazan technological university], 2011, no. 23, pp. 338–345.
32. Ubushaeva I. V. Funktsionirovanie kavychekek v angliyskoy pismennoy rechi [Functioning of quotes in the English written language]. *Uchenye zapiski Sankt-Peterburgskogo universiteta tekhnologiy upravleniya i ekonomiki* [Scientific Notes of the St. Petersburg University of Technologies of Management and Economics], 2018, no. 1 (61), pp. 44–47.
33. Filippov I. S. Kak uchenye gumanitarnogo profilya otsenivayut naukometriyu [As scientists of a humanitarian profile evaluate a naukometriya]. *Sibirskie istoricheskie issledovaniya* [The Siberian Historical Researches], 2016, no. 3, pp. 6–27.
34. Kharybina T. N., Beskaravaynaya Ye. V., Mitroshin I. A. Model issledovaniya informatsionnoy znachimosti inostrannykh zhurnalov [Model of a research of information importance of foreign journals]. *Naukometriya: metodologiya, instrumenty, prakticheskoe primeneniye : sbornik nauchnykh statey* [Naukometriya: methodology, tools, practical application : collection of scientific articles]. Minsk, 2018, pp. 257–276.
35. Tsukanova Zh. V. Strukturnye i semanticheskie osobennosti zagolovkov sovremennykh nauchnykh statey (na materiale russkogo i angliyskogo yazykov) [Structural and semantic features of headings of modern scientific articles (on material of the Russian and English languages)]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovations], 2018, no. 5 (85), p. 33.
36. Chernova I. A., Shvets N. A. *Podgotovka k izdaniyu v vysokoreytingovykh zarubezhnykh zhurnalakh rezultatov nauchnoy i innovatsionnoy deyatel'nosti prepodavateley vuzov* [Preparation for the edition in high-rating foreign journals of results of scientific and innovation activity of teachers of universities]. Biysk, 2013.
37. Shvets N. A. Analiz nauchno-issledovatel'skikh publikatsiy v zarubezhnykh vysokoreytingovykh zhurnalakh kak nachalo mezhdunarodnoy avtorskoy karery prepodavateley vuza [The analysis of research publications in foreign high-rating journals as the beginning of the international author's career of teachers of universities]. *Mir nauki, kultury, obrazovaniya* [The World of Science, Culture, Education], 2013, no. 5 (42), pp. 94–95.
38. Shvets N. A. Podgotovka rezultatov nauchno-issledovatel'skoy i innovatsionnoy deyatel'nosti prepodavateley vuzov i nauchnykh kolektivov k izdaniyu v zarubezhnykh retsenziruemykh zhurnalakh [Preparation of results of research and innovation activity of teachers of higher education institutions and research teams for the edition in the foreign reviewed journals]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta* [The Bulletin of the Kazan State Power University], 2013, no. 4 (19), pp. 150–154.
39. Yakovleva N. O. Metodika vybora zarubezhnykh zhurnalov dlya publikatsii rezultatov nauchno-innovatsionnoy deyatel'nosti issledovateley universiteta [A technique of the choice of foreign logs for the publication of results of the scientific and innovation activity of researchers of the university]. *Knizhnaya kultura regiona: istoricheskiy opyt i sovremennaya praktika : Materialy IV Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchnoy konferentsii* [Book culture of the region: historical experience and modern practice : Materials of the IV All-Russian (with the international participation) Scientific Conference], 2016, pp. 270–277.
40. *Academai Kiado*. Available at: <https://akademai.com/> (accessed 10.04.2019).
41. *European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS)*. Available at: <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringsskanaler/erihplus/> (accessed 15.04.2019).
42. *DOAJ (Directory of Open Access Journals)*. Available at: <https://www.doaj.org> (accessed 10.04.2019).
43. Matveyev S., Savelieva I. Publications in foreign journals as a strategy and an indicator of the internationalization of the Russian historical studies in the 21st century. *Jahrbucher fur Geschichte Osteuropas*, 2017, vol. 65, no. 2, pp. 282–294.
44. *Microsoft Academic*. Available at: <http://academic.research.microsoft.com/> (accessed 10.04.2019).
45. *Sage Journals*. Available at: <http://online.sagepub.com/browsejournals.dtl?source=available> (accessed 15.04.2019).
46. *ScienceDirect*. Available at: <https://www.sciencedirect.com> (accessed 10.04.2019).
47. Skovajsa M. Total and foreign-journal citedness of sociologicky iasopis: The results of a citation analysis. *Sociologicky Casopis*, 2014, vol. 50, no. 5, pp. 671–712.
48. *Springer*. Available at: <https://www.springer.com/gp> (accessed 10.04.2019).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 004.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ (ОПАСНЫХ) ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОМОЩИ СЕТИ ДОВЕРИЯ БАЙЕСА

Статья поступила в редакцию 01.06.2019, в окончательном варианте – 10.06.2019.

Таран Виктория Николаевна, Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в г. Ялте, 298600, Российская Федерация, г. Ялта, ул. Севастопольская, 2-А,

кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и информационных технологий, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9124-0178>, e-mail: victoriya_yalta@ukr.net

Приведен анализ факторов, влияющих на активизацию сложных (опасных) природных процессов, которые могут сопровождаться катастрофическими последствиями. В качестве факторов, оказывающих наибольшее влияние на эти процессы, были выбраны солнечная активность, осадки и сейсмическая активность. Резкое усиление действия этих факторов (особенно в сочетаниях друг с другом) часто приводит к возникновению опасных природных явлений, включая оползни, сели, снежные лавины, ураганы, торнадо, шквалы, извержения вулканов, лесные пожары, экстремальные уровни осадков, температурные аномалии и т.д. Для характеристики протекания рассматриваемых процессов с учетом влияния указанных факторов выбираются промежуточные и результирующие показатели: природные риски; временные рамки; объемы денежных средств, затрачиваемых на профилактику воздействия опасных природных явлений. Рассмотрено построение сети доверия Байеса для моделирования сложных (опасных) природных процессов на Южном берегу Крыма, структура этой сети. Обучение сети проводится с помощью заполнения экспертами условных вероятностей и по данным наблюдений – это соответствует заполнению безусловных вероятностей для вершин верхнего иерархического уровня сети. Управляющий или контролирующий фактор определяется как объемы инвестированных средств. Обсуждена важность (значимость) этого фактора с учетом вероятностного характера возникновения опасных природных явлений. Проведено моделирование различных сценариев протекания природных процессов, для них с использованием сети Байеса рассчитывается вероятность появления определенных состояний (значений) отдельных показателей и итогового результата. Обсуждены вопросы моделирования возможных сценариев развития ситуаций при различных сочетаниях природных факторов и объемов инвестиций в профилактические мероприятия по различным направлениям.

Ключевые слова: моделирование, прогнозирование, сложные системы, катастрофические последствия сложных природных процессов, оползневые процессы, сети доверия Байеса

MODELING OF COMPLEX (DANGEROUS) NATURAL PROCESSES BY MEANS OF THE BAYESIAN BELIEF NETWORK

The article was received by editorial board on 01.06.2019, in the final version – 10.06.2019.

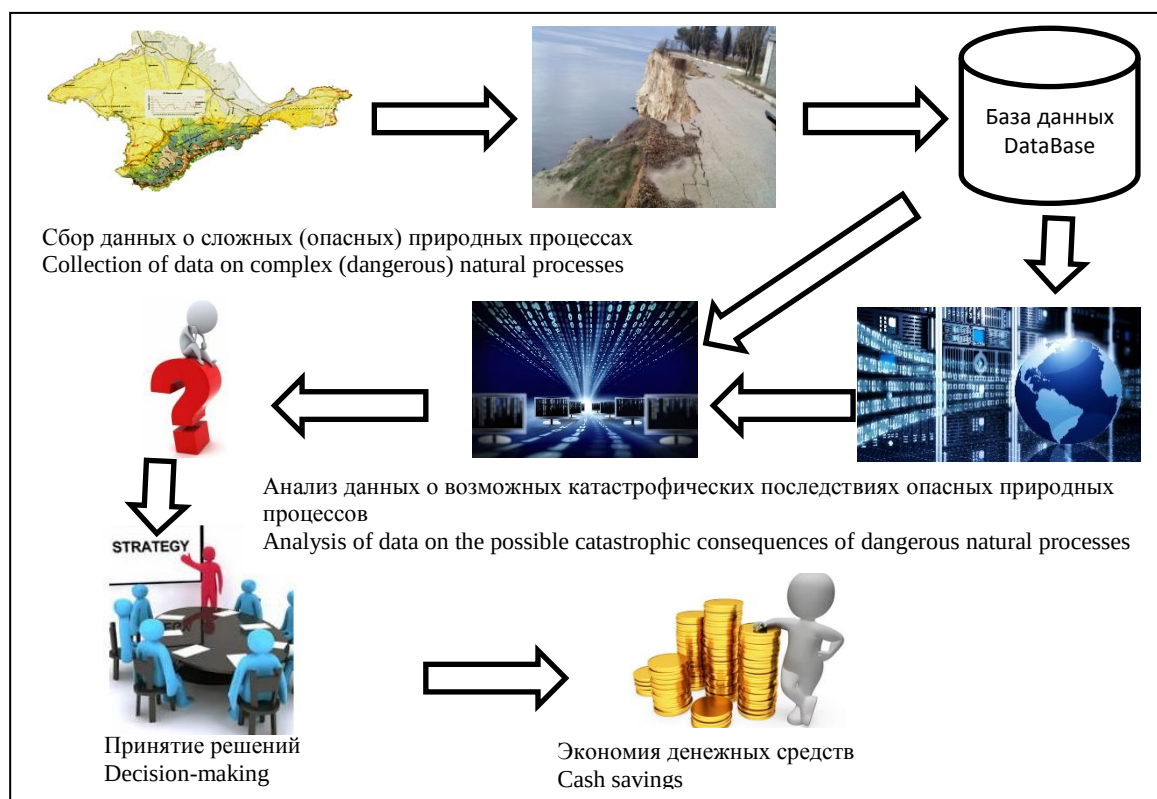
Taran Viktoriya N., Humanities and Education Science Academy (branch) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University in Yalta, 2-A Sevastopolskaya St., Yalta, 298600, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9124-0178>, e-mail: victoriya_yalta@ukr.net

The article analyzes the factors that have an impact on the activation of complex natural processes and their catastrophic consequences. Solar activity, precipitation and seismic activity have chosen as the most significant factors, a sharp increase in which leads to activation of natural processes such as landslides, mudflows, natural and forest fires, snow avalanches, hurricanes, tornados, squalls, volcanic eruptions, etc. Intermediate and resulting indicators have chosen to describe and evaluate the course of the processes under consideration: Natural Hazards, Time Frame and Cash. The construction of the Bayesian belief network for modeling of complex natural processes on the Northern Mountainous Coast of Black Sea, its structure and training by filling in probability tables are considered. Experts fill conditional probabilities for dependent or intermediate vertices. The values of unconditional probabilities have filled according to observation data for top-level vertices. The managing or controlling factor is determined as Funds Invested and its importance has discussed. Simulation of various scenarios of the course of natural processes has carried out, for which the probability of occurrence of certain states of the resulting outcome indicators is calculated

Keywords: modeling, forecasting, complex systems, catastrophic consequences of complex natural processes, landslide processes, Bayesian belief network

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Южный берег Крыма (ЮБК), имеющий уникальные особенности климата, исторические, природные и хозяйственные ресурсы, является регионом, часто страдающим от природных катаклизмов и экзогенных процессов. Кроме того, на этой узкой полосе побережья пролегает более 50 % всех дорог полуострова, а степень его урбанизации превосходит среднее значение по Крыму более чем в 2 раза [3]. Возможность предвидеть активизацию сложных (опасных) природных процессов на ЮБК, имеющих катастрофические последствия, позволяет свести их к минимуму за счет заблаговременного выполнения специальных защитных (профилактических) мер. Тем самым будут обеспечены необходимые условия безопасности жизнедеятельности граждан, работы организаций, включая транспортные. В свою очередь это позволит эффективно использовать уникальную территорию побережья для оздоровления и отдыха туристов [11], других целей.

Очевидно, что сложные (опасные) природные процессы, которые могут иметь катастрофические последствия, представляют значительную угрозу. Причина – полностью или частично могут разрушаться не только дороги, но и здания; также может наноситься большой вред их эксплуатации [5]. Несмотря на развитие методов моделирования и прогнозирования (в том числе в виде разработки имитационных компьютерных моделей), предсказание активизации опасных природных процессов, влекущих за собой катастрофические разрушительные последствия, пагубно влияющие на хозяйственную деятельность человека, продолжает оставаться одной из актуальных проблем научно-прикладного характера. Решение данной проблемы осложняется присутствием в рассматриваемых системах фактора риска в отношении непредвиденных ситуаций. Кроме того, рассматриваемая проблема относится к классу сложных задач анализа динамических процессов случайной природы [10].

В научных исследованиях, посвященных этой проблеме, основное внимание уделяется картированию территорий, геологическому и геоморфологическому исследованию склонов и участков. При этом в условиях неопределенности в эколого-экономической среде протекания этих процессов [6] использование современных информационных технологий и интеллектуальных систем поддержки принятия решений является достаточно ограниченным, а системный подход в полном объеме не используется [8, 9]. Таким образом, наблюдается сравнительно узкая тематическая направленность научных исследований, посвященных прогнозированию сложных природных процессов ЮБК – такие исследования ориентированы в основном на наблюдение, мониторинг, картографические исследования и экспертную оценку процессов со стороны специалистов. Отметим также использование геоинформационных технологий для накопления и обработки географической и природно-климатической информации, сведений о располо-

жении различных зданий и иных сооружений, транспортных магистралей, трубопроводов, а также представления некоторых результатов обработки накопленной информации в наглядной форме.

Моделирование и прогнозирование сложных (опасных) природных процессов классическими методами не дает достоверных данных, на которые можно было бы опираться при формировании возможных сценариев развития рассматриваемых процессов и принятия управленческих решений. Как показывают результаты экспериментальных исследований, ни один из известных применяемых методов и алгоритмов не может быть признан однозначно лучшим [2].

Целью данной статьи является анализ факторов, имеющих непосредственное влияние на активизацию сложных (опасных) природных процессов, моделирование этих процессов с помощью сети доверия Байеса, а также построение прогнозов.

Выделение факторов, связанных с развитием катастрофических природных процессов. Опасные природные процессы, протекающие на ЮБК и в других районах полуострова, носят сложный случайный характер, зависят от многих факторов, содержат большую долю неопределенности. Потому они плохо поддаются прогнозированию [8] с использованием существующих методов.

При изучении и анализе данных, связанных со сложными природными процессами ЮБК, оказалось, что факторы, которые при теоретических рассуждениях наиболее сильно влияют на активизацию сложных природных процессов, на самом деле количественно связаны очень слабо [10]. Наблюдение за метеорологическим, гидрогеологическими и климатическими данными ведутся различными научными учреждениями и содержат набор результатов наблюдений более чем за пятьдесят лет, а по некоторым параметрам превышают одно-два столетия. Однако эти организации фактически не связаны между собой, так как относятся к разным отраслям. Как следствие, отсутствует регулярный обмен данными между ними для установления определенных сценариев, предупреждающих активизацию сложных природных процессов [6].

Выделим следующие опасные природные процессы, приводящие к катастрофическим последствиям: наводнения, оползни, природные пожары, сели, переработка берегов морей и водохранилищ, гидрометеорологические опасности, маловодье, снежные лавины, землетрясения, цунами, ураганы, смерчи, шквалы, вулканические извержения, экстремальные температуры воздуха [4]. Также к опасным природным явлениям можно отнести активизацию карстовых явлений (развитие карста); суффuzionные процессы в водонасыщенных грунтах; увеличение сейсмической опасности для зданий и сооружений, размещенных на водонасыщенных грунтах (по нормам «сейсмичность» надо увеличивать на единицу и соответственно планировать усиление конструкций); размыв берегов моря при нарушении процессов выноса в моря обломочного материала реками или нарушения процессов распределения такого материала вдоль береговой линии (последнее происходит при строительстве молов в портах – они перекрывают распространение потоков обломочного материала вдоль береговых линий).

Выявлено, что протекание любых катастрофических природных явлений, включая оползневые процессы, напрямую зависит от солнечной активности и ее 11-летнего цикла. Таким образом, в качестве первого и главного фактора выберем солнечную активность [3, 8]. Обычно она оценивается на основе числа Вольфа.

Также большое влияние имеют осадки, которые на ЮБК могут быть двух типов:

- 1) летние ливни, в результате чего земля не промачивается, а большие потоки воды, несущиеся с гор, уносят в море верхний слой почвы, смывая его органическую составляющую и приводя к размыву оврагов;
- 2) зимние морозящие дожди, которые обильно увлажняют почву, глубоко её промачивая и наполняя подземные карстовые пустоты (естественные водные хранилища) запасами воды на лето. При этом создаются напряжения почвы, в результате чего происходят подвижки земли – весенние оползни, обвалы и сели. Отметим, что появление водонасыщенных участков грунтов провоцирует активизацию оползневых процессов, обвалов (особенно при сейсмических воздействиях, воздействиях вибраций от тяжелого транспорта и пр.).

Следующий фактор, который следует учесть, – это сейсмическая активность. Крымские горы – сравнительно молодые, поэтому они реагируют на подземные толчки. В данной статье учитывать мы будем только те землетрясения, эпицентры которых находятся не дальше 200 км от Крымского побережья и магнитуда в которых превышает 8,5 К, т.е. уровень выделившейся энергии в эпицентре соответствует 8,5 К.

В качестве фактора регулирования (или так называемого управления) рассмотрим вложение средств в укрепительные мероприятия и защитные сооружения.

Все перечисленные факторы отнесем к первичным или наиболее существенным, резкое изменение которых приводит к изменению протекания сложных природных процессов, в том числе их активизации.

Построение сети доверия Байеса. С точки зрения специалиста-эксперта при моделировании процесса размышлений (reasoning) особый интерес представляет логико-вероятностный подход. В нем моделью утверждения являются формулы, заданные над определенным алфавитом (пропозициональные), что традиционно для формальной логики, а степень доверия истине (или стохастическая неопределенность истинности) этих пропозициональных формул и сила связей между ними характеризуются с помощью оценок вероятностей: как скалярных (точечных), так и интервальных [13].

Сеть доверия Байеса или байесовская сеть (СДБ) представлена парой (G, P) , где $G = \langle X, E \rangle$ – ациклический направленный граф на конечном множестве X (вершинами которого являются перечисленные факторы, предполагаемые промежуточные и результирующие показатели), связанные между собой совокупностью ориентированных ребер E , а P – множество условных распределений вероятностей. Таким образом, байесовские сети представляют собой достаточно точный инструмент для описания весьма сложных процессов и событий с неопределенностями. Для описания сети доверия Байеса необходимо определить сначала структуру графа, а затем параметры каждого узла. Эта информация может быть получена непосредственно из данных или из экспертных оценок [14]. Граф записывается как набор условий независимости: каждая переменная независима от ее родителей G . Вторая компонента пары представляет собой набор параметров, который определяет сеть. С математической точки зрения СДБ – это модель для наглядной интерпретации вероятностных зависимостей, а также представления отсутствия этих зависимостей. При этом связь $A \rightarrow B$ является причиной, когда событие A является причиной возникновения B ; влияет на значение, принятое B . СДБ называют причинной (каузальной), когда все связи являются причинными [1].

Благодаря высокой прозрачности, способности сочетать эмпирические данные с экспертными знаниями и их очевидной релевантности для неопределенности. Байесовские сети доверия могут внести существенный вклад в изучение и моделирование сложных систем различной природы [16].

Модель, основанная на байесовской сети убеждений, позволяет комбинировать как статистические данные, так и экспертные предположения о природе поведения и отношениях между элементами [15, 16]. Байесовские сети являются одним из представлений баз знаний с неопределенностью [18]. В условиях неопределенности основой для принятия решений с помощью байесовской сети доверия является расчет вероятностей перехода стратегий из одного состояния системы в другое [6, 7].

Основой для принятия решений с помощью байесовской сети в условиях неопределенности является определение вероятностей стратегий перехода от одного состояния системы к другому. Раскрытие неопределенности в сетях доверия Байеса обычно выполняют с помощью определения вероятностей состояний вершин на основе имеющейся информации о значении других вершин сети. Благодаря этим сообщением, система осуществляет переход к следующему состоянию [12].

Граф сети доверия Байеса строим в виде «дерева». В нем на верхнем уровне расположены вершины-факторы с безусловными вероятностями, которые определяются в начале моделирования из экспериментов или результатов наблюдений. Это приведенные выше факторы: солнечная активность, сейсмическая активность, осадки, вложенные средства. Построение будем проводить в программе Netica, которая является условно бесплатной. На втором уровне расположим одну вершину: «природные риски», т.е. можно ли ожидать активизацию природных процессов и риск причинения катастрофических разрушений. Следующий уровень также будет состоять только из одной вершины: «время» – прогноз временного интервала, в течение которого проявятся катастрофические последствия протекания природных процессов (или не проявятся). И последний четвертый уровень – это результат моделирования, т.е. окончательный или итоговый объем средств, которые потребуются для устранения катастрофических последствий, включая и вложенные средства в укрепительные мероприятия для их предотвращения.

Каждая из перечисленных вершин, кроме «Вложенные средства» и «Временные сроки», будет иметь три уровня значений: «малый», «средний» и «катастрофический» («Small», «Average», «Catasrophic»). Вершина «Вложенные средства» будет принимать значения: «в полном объеме», «в среднем», «в малом» («In_Full», «Average», «Small»). Для вершины «Временные сроки» определим следующие возможные значения: «Два дня», «Неделя», «Месяц», «Не произойдет» («Two_Days», «Week», «Month», «Do_Not»). Сеть Байеса, с учетом всего вышеизложенного, представлена на рисунке 1.

Обучение байесовской сети проводится заполнением таблиц условных вероятностей для вершин среднего и нижнего уровня и безусловных вероятностей для вершин-факторов, лежащих на верхнем уровне (по результатам наблюдений). Заполняются таблицы с помощью экспертных оценок, выставяемых экспертами (рис. 2). При этом если вершина содержит три варианта значений, то таблица будет включать 3^{n+1} условных вероятности, для которых должно выполняться условие: сумма в строке равна 100 (100 %). Экспертами приглашены инженеры Ялтинской гидрогеологической партии, занимающиеся мониторингом и сбором данных по всем оползневым процессам Южного берега Крыма. Мнение экспертов получило расхождение 7–10 %, вследствие чего были приняты средние оценки.

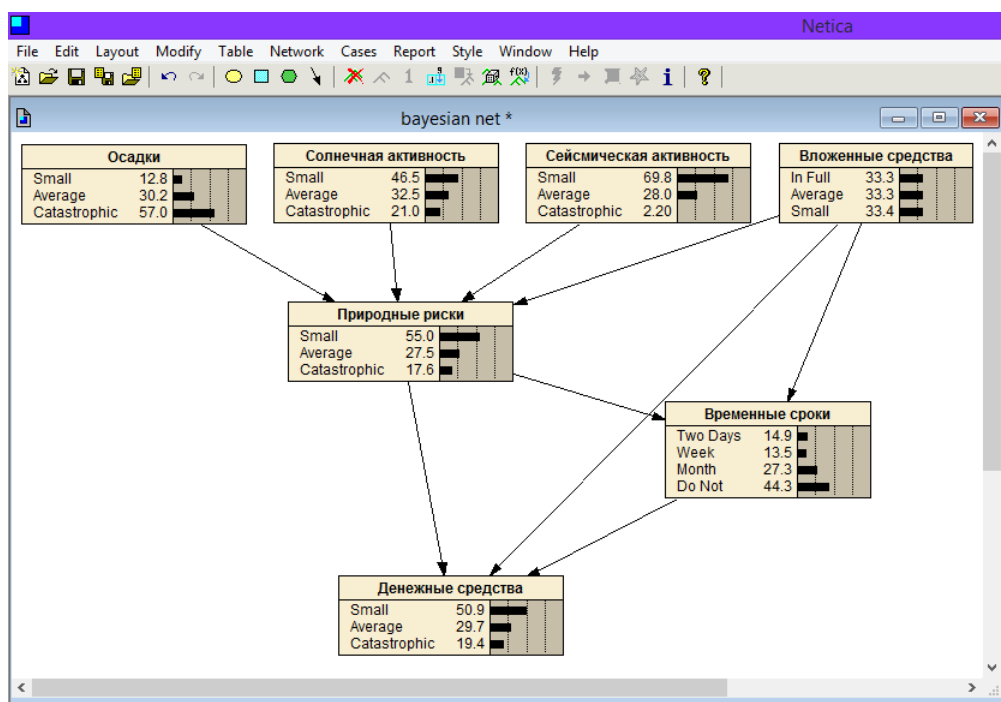


Рисунок 1 – Сеть доверия Байеса для моделирования сложных природных процессов

Natural_Risks Table (in Bayes net bayesian_net)

Node: Natural_Risks

Chance % Probability

Precipitation	Solar_Activity	Seismic_Activity	Invested_Funds	Small	Average	Catastrophic
Small	Small	Small	In Full	95	4	1
Small	Small	Small	Average	90	8	2
Small	Small	Small	Small	80	18	2
Small	Small	Average	In Full	85	12	3
Small	Small	Average	Average	75	20	5
Small	Small	Average	Small	65	28	7
Small	Small	Catastrophic	In Full	82	16	2
Small	Small	Catastrophic	Average	72	25	3
Small	Small	Catastrophic	Small	62	30	8
Small	Average	Small	In Full	83	15	2
Small	Average	Small	Average	73	22	5
Small	Average	Small	Small	63	30	7
Small	Average	Average	In Full	74	22	4
Small	Average	Average	Average	70	23	7
Small	Average	Average	Small	66	24	10
Small	Average	Catastrophic	In Full	72	22	6
Small	Average	Catastrophic	Average	70	24	6
Small	Average	Catastrophic	Small	68	24	8
Small	Catastrophic	Small	In Full	70	23	7
Small	Catastrophic	Small	Average	67	25	8
Small	Catastrophic	Small	Small	64	27	9
Small	Catastrophic	Average	In Full	67	28	5
Small	Catastrophic	Average	Average	63	30	7
Small	Catastrophic	Average	Small	60	31	9
Small	Catastrophic	Catastrophic	In Full	65	30	5

Рисунок 2 – Заполнение таблиц условных вероятностей сети доверия Байеса с помощью экспертных оценок

Моделирование опасных природных процессов с помощью сети доверия Байеса. Зададим начальные условия верхнего уровня для оперативного (краткосрочного) моделирования. Пусть, например, прошли сильные (катастрофические) осадки на фоне резко повысившейся солнечной активности. При этом сейсмическая активность средняя, а вложения были сделаны на низком уровне. Результат прогноза показывает, что активизация произойдет на катастрофическом уровне (81 %), причем ожидать ее следует в течение ближайших двух дней (60,1 %), а наибольшая вероятность разрушений, требующих дополнительных вложений, в больших масштабах (64,9 %) (рис. 3).

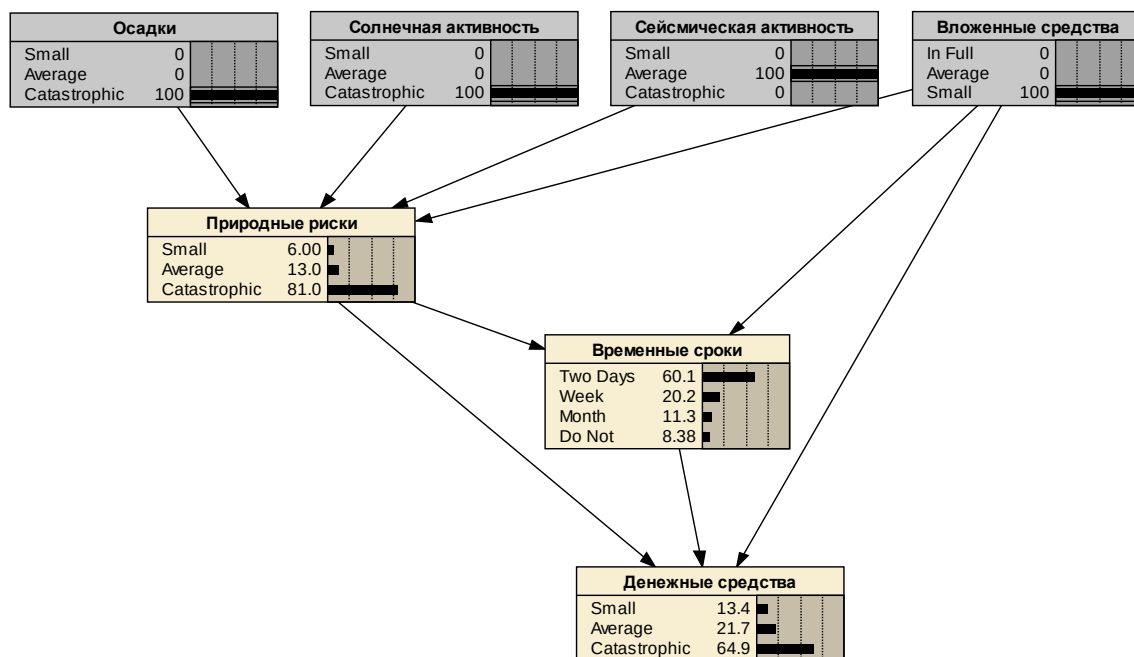


Рисунок 3 – Пример использования сети доверия Байеса для прогноза протекания сложных природных процессов и их последствий

Построим таблицу 1, в которой отражены значения управляющего фактора и его влияние на вершины нижних уровней.

Таблица 1 – Результаты прогноза при изменении управляющего фактора

Вложенные средства	Природные риски			Временные сроки				Денежные средства		
	Small	Average	Catastrophic	2 Days	Week	Month	DoNot	Small	Average	Catastrophic
Small (100 %)	6 %	13 %	81 %	60,1 %	20,2 %	11,3 %	8,4 %	13,4 %	21,7 %	64,9 %
Average (100 %)	8 %	17 %	75 %	40,2 %	25,7 %	15,8 %	18,3 %	22,6 %	34,4 %	43,0 %
In Full (100 %)	13 %	22 %	65 %	21,8 %	22,2 %	24,4 %	31,5 %	34,1 %	38,4 %	27,4 %

Данная таблица показывает, что сочетание осадков и солнечной активности обязательно приводит к активизации сложных природных процессов. Однако уровень разрушений и катастрофических последствий можно значительно уменьшить, если заблаговременно провести мероприятия по укреплению склонов и опасных участков, подверженных разрушению, т.е. вложить средства, укрепив наиболее опасные участки дорог, коммуникаций, подпорных стен, сооружений; предусмотреть создание систем сброса ливневых стоков с необходимыми пропускными способностями; построить дренажи для снижения уровня грунтовых вод, в том числе в районах откосов и т.п.

Разработка системы поддержки принятия решений для моделирования и прогнозирования сложных природных процессов. Актуальным направлением развития компьютерных систем является интеллектуализация процессов обработки данных. Сложность создания достоверной и адекватной модели для прогнозирования сложных природных процессов предполагает применение новых информационных технологий, позволяющих реализовать и внедрить систему предотвращения или минимизации ущерба от активизации экзогенных природных процессов на основе накопленного опыта экспертов, их интуиции, а также лица, принимающего решения.

Принятие решений является основной составляющей процессов управления. Предметом теории принятия решений является исследование законов преобразования качественной информации о состоянии процесса или явления в количественные составляющие этой информации. Систему поддержки принятия решений (СППР) можно определить как интерактивную компьютерную систему, предназначенную для поддержки различных видов деятельности при принятии решений по слабо структурированным и неструктурированным проблемам.

Процесс проектирования представлен в таблице 2. Средний столбец таблицы показывает, какие конкретные этапы или действия необходимо выполнить для того, чтобы спроектировать систему. Для выполнения конкретных этапов необходимо иметь в распоряжении специальный инструментарий,

т.е. набор технической и теоретической документации, техническое задание, а также описание результата выполнения каждого этапа. Виды инструментария и спецификации результатов приведены соответственно слева и справа от среднего столбца.

Таблица 2 – Когнитивный процесс проектирования СППР природных процессов Южного берега Крыма

Инструментарий	Этапы	Промежуточные результаты
	Определение необходимости создания системы поддержки принятия решений	
Протокол для сбора данных и декомпозиции задачи	Определение и декомпозиция задачи принятия решений	Сводная таблица требований к СППР
Множество общих ограничений на процесс принятия решений	Анализ и определение ограничений при принятии решений	Перечень трудностей, специфичных для задачи проектирования
Допустимые функции системы поддержки принятия решений	Определение функциональных возможностей СППР	Перечень желаемых функций СППР
Перечень методов и правил для выбора решения, определение критериев	Определение необходимых методов и способов принятия решений, выработка критериев и их количественных характеристик	Функциональная архитектура системы поддержки принятия решений, система оценок для выбранных критериев
Техническое проектирование диалоговых окон, структуры СППР и соответствующего программного обеспечения		
Создание СППР, ее тестирование и отладка		

Процесс проектирования начинается с того, что выбирается задача, для решения которой необходимо создать СППР, или определяется, что эта задача относится к лицу, принимающему решения (ЛПР), которое уже знакомо с данной проблемой принятия конкретных решений на основании собственного опыта. На первом этапе выполняется декомпозиция задачи на элементарные операции и описывается выполнение этого процесса ЛПР. Основная цель этого этапа заключается в следующем:

- определить препятствия («узкие места»), которые необходимо преодолеть с помощью проектируемой СППР при принятии решений;
- определить набор методов и алгоритмов, которые необходимо использовать для преодоления узких мест, связанных с оперативным принятием правильных (оптимальных) решений.

Для того чтобы правильно решить задачу проектирования СППР, необходимо максимально структурировать описание процесса принятия решения. Такая структура представляется подробным, но четко определенным протоколом. В нем указывается, какие данные необходимо собрать и описать все частичные (частные) решения, которые должны быть приняты при проектировании СППР. Результатом выполнения этого этапа является структурированная таблица, в которую сводятся все результаты, относящиеся к декомпозиции проблемы проектирования СППР.

На территории Большой Ялты (Южный берег Крыма) определенные организации имеют большую базу накопленных данных наблюдений за климатическими, сейсмическими, геологическими и солнечными процессами, происходившими на протяжении почти века или более полувека. Возникает задача: объединить эти данные, создав единую информационную систему принятия и поддержки решений (СППР), обучить эту СППР и с ее помощью моделировать опасные природные процессы и прогнозировать их последствия.

Таким образом, при использовании информационных технологий и интеллектуальных систем для прогнозирования сложных природных процессов Южного берега Крыма (ЮБК) целесообразно создать единый центр мониторинга и прогнозирования, использующий все накопленные и оперативно собираемые данные по ЮБК и применяющий систему сбора, обработки и передачи информации в виде некоторой СППР, которая на основе результатов моделирования предлагала варианты развития опасных природных процессов и рекомендации по применению мероприятий, сводящих ущерб от активизации этих процессов к минимуму.

На следующем этапе выбирается архитектура СППР, выполняется разработка ее функциональной структуры, согласуются функциональные требования с требованиями заказчика. Разрабатывается интерфейс системы на основе согласованных функциональных требований.

Структурная функциональная схема СППР изображена на рисунке 4.

Таким образом, разрабатывается система поддержки принятия решений, которая имеет два главных модуля расчета и формирования рекомендаций для долгосрочного прогноза на основе классических регрессионных моделей с дальнейшей оценкой полученного результата и модуль для краткосрочного прогноза на основе сетей доверия Байеса с использованием текущих или оперативных данных.

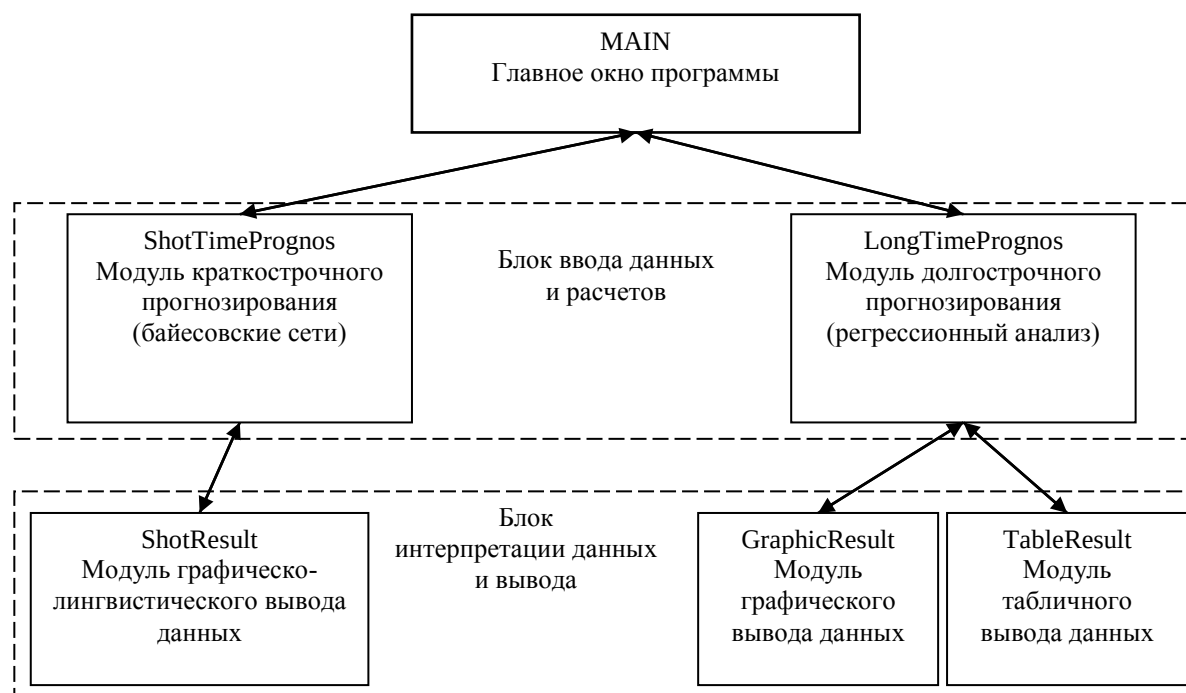


Рисунок 4 – Функциональная структура СППР

Приведем критерии оценки модели и оценки прогноза, используемые в блоке ввода данных и расчетов, а именно в модуле долгосрочного прогнозирования при использовании регрессионного анализа.

На первом этапе анализируется качество модели по следующей схеме:

- 1) проверка модели на корреляцию между входными и выходными факторами:

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{s_x s_y} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}}$$

- 2) вычисление среднего квадрата ошибки:

$$\bar{e}^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y - \bar{y})^2;$$

- 3) проверка адекватности модели с помощью F-критерия Фишера:

$$F = \frac{R^2(n-2)}{1-R^2};$$

- 4) проверка на статистическую значимость модели и ее параметров (t-статистика Стьюдента);

- 5) проверка на мультиколлинеарность;

- 6) проверка на автокорреляцию возмущений (критерий Дарбина – Уотсона):

$$DW = 2 - 2\rho,$$

где ρ – коэффициент корреляции ошибок модели между собой;

- 7) проверка моделей на гетероскедастичность (тест Голдфелда и Квондта).

По приведенным критериям выбираются лучшие модели-кандидаты.

На втором этапе оценивается прогноз с помощью следующих статистик:

- 1) средняя абсолютная ошибка MAE (mean absolute error):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \tilde{y}_i|,$$

где y_i – значения результирующего показателя (результат наблюдений), $\tilde{y}_i$ – расчетное значение результирующего показателя для наблюдения с номером $i=1,2,\dots,N$;

2) средняя абсолютная относительная (процентная) погрешность MAPE (mean absolute percentage error) – это среднее значение абсолютных значений погрешностей прогноза в процентах относительно фактического значения показателя:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - \tilde{y}_i|}{|y_i|} \cdot 100 \, \%.$$

Поскольку эта оценка характеризует относительную погрешность прогноза, то ее используют в основном для сравнения точности прогнозов разнородных объектов (процессов) прогнозирования. Однако она является полезной при выполнении сравнительного анализа точности прогноза одного и того же процесса различными методами, поскольку относительная мера является четкой и понятной для исследователя и пользователя-практика. Типичные значения MAPE и их предлагаемая интерпретация приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Интерпретация типовых значений критерия MAPE

MAPE, %	Интерпретация
< 10	Высокая точность
10–20	Хорошая точность
20–50	Удовлетворительная точность
> 50	Неудовлетворительная (неприемлемая) точность

3) среднеквадратичная ошибка RMSE (root mean squared error):

$$RMMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2}.$$

На последнем, третьем этапе проводится оценивание стойкости прогноза: значения всех факторов, кроме одного, фиксируются, а выбранный фактор изменяется на $\pm$ среднее квадратичное отклонение (при этом рассчитывается изменение результирующего показателя в процентах относительно его среднего значения).

Выводы. Таким образом, выделены факторы, которые оказывают наибольшее влияние на активизацию природных процессов, имеющих катастрофические последствия. Кроме того, построена байесовская сеть доверия для моделирования приведенных выше сложных природных процессов на Южном берегу Крыма. Для предложенной сети доверия Байеса построен граф, проведено обучение сети за счет заполнения таблиц безусловных и условных вероятностей, проведены расчеты соответствующих состояний сети, а также выполнен расчет управленческой стратегии за счет использования фактора «заранее вложенные средства на укрепление опасных участков».

Сеть доверия Байеса при поступлении новых данных наблюдений за сейсмическими, солнечными, гидрометеорологическими и оползневыми процессами на ЮБК дает возможность динамически обновлять стратегии принятия решений согласно выбранным критериям, а также оптимизировать затраты на предупреждение сложных природных процессов или борьбу с их последствиями [6].

Итак, использование сети доверия Байеса при моделировании в условиях неопределенности отвечает поставленным требованиям – это делает такие модели все более востребованными. Таким образом, целесообразно использовать сети Байеса при прогнозировании природных процессов различного происхождения, в том числе катастрофических природных процессов, что позволяет учитывать структурные и статистические неопределенности исследуемых процессов.

Метод построения сети доверия Байеса для научных разработок в этой области предложен впервые и является адекватным. При этом он дает возможность лицу, принимающему решения, использовать результаты расчетов по разработке и принятию управляющего решения [9].

Однако необходимо учитывать некоторые отклонения прогнозных или расчетных показателей от фактически наблюдаемых, в том числе низкую гибкость часто используемых пакетов программного обеспечения, сложность получения экспертных знаний (оценок) и невозможность моделирования циклов обратной связи [17].

Предложена структура СППР для обработки данных и построения краткосрочного и долгосрочного прогноза с использованием сетей доверия Байеса и классических регрессионных моделей. Таким образом, при использовании СППР и создании единого технического бюро обработки информации и прогнозирования можно предусматривать количество и характер (т.е. последствия) активизации сложных опасных природных процессов; время, в течение которого они могут произойти, а также оптимизировать затраты на внедрение мероприятий для преодоления катастрофических последствий экзогенных процессов, проходящих на ЮБК.

Библиографический список

1. Бидюк П. И. Построение и методы обучения байесовских сетей / П. И. Бидюк, А. Н. Терентьев // Таврический вестник информатики и математики. – 2004. – № 2. – Режим доступа: <http://tvim.info/files/2004-2-139.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Демидова Л. А. Гибридная интеллектуальная технология классификации данных / Л. А. Демидова, М. М. Егин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 56–68.
3. Круцик М. Д. Защита горных автомобильных дорог от оползней / М. Д. Круцик. – Коломия, 2003. – 425 с.

4. Пучков В. А. Катастрофы и устойчивое развитие в условиях глобализации : монография / В. А. Пучков, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – Москва, 2013. – 328 с.
5. Селин Ю. Н. Системный анализ экологических небезопасных процессов разной природы / Ю. Н. Селин // Системные исследования и информационные технологии. – 2007. – № 2. – С. 22–32.
6. Таран В. Н. Анализ сети Байеса при моделировании сложных природных процессов / В. Н. Таран // Дистанционные образовательные технологии : материалы I Всероссийской научно-практической интернет-конференции (г. Ялта, 19–23 сентября 2016 г.) / отв. ред. В. Н. Таран. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2016. – С. 196–200.
7. Таран В. Н. Байесовские сети при моделировании сложных систем / В. Н. Таран // II Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (CTS'2017). Материалы конференции. Санкт-Петербург, 25–27 октября 2017 г. – Санкт-Петербург : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. – С. 248–251.
8. Таран В. Н. Кластеризация данных для формирования вывода при прогнозировании оползневых процессов Южного берега Крыма / В. Н. Таран // Системы обработки информации. – 2010. – Вып. 6 (87). – С. 276–280.
9. Таран В. Н. Моделирование природных катастрофических процессов Южного берега Крыма с помощью сети Байеса / В. Н. Таран // Auditorium. – 2016. – № 3 (11). – С. 47–54.
10. Таран В. Н. Практическое внедрение разработанных методов прогнозирования оползневых процессов Южного берега Крыма / В. Н. Таран // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. – 2010. – № 21. – С. 162–172.
11. Таран В. Н. Сети доверия Байеса при моделировании сложных природных процессов Южного берега Крыма / В. Н. Таран // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2018. – Т. 1. – С. 188–191.
12. Терентьев А. Н. Метод вероятностного вывода в байесовских сетях по обучающим данным / А. Н. Терентьев, П. И. Бидюк // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 3. – С. 93–99.
13. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: логико-вероятностная графическая модель баз фрагментов знаний с неопределенностью : автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. 05.13.17 – Теоретические основы информатики. – Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, 2009. – 32 с.
14. Хлопотов М. В. Применение байесовской сети при построении моделей обучающихся для оценки уровня сформированности компетенций / М. В. Хлопотов // Науковедение : интернет-журнал. – Сентябрь – октябрь 2014. – Вып. 5 (24). – Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/20TVN514.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Goriainov S. V. Analysis of Bayesian Mathematical Systems for Pattern Recognition for Identifying Objects on Hyperspectral Images / S. V. Goriainov, A. Yu. Kuznetsov, E. V. Tushkanov, O. V. Kuznetsova, E. B. Romanova // XX International Conference on soft calculations and measurements (SCM'2017). St. Petersburg, 2017. – P. 69–72.
16. Kharitonov N. A. Software Implementation of Algorithms for Maintaining Consistency in Algebraic Bayesian Networks / N. A. Kharitonov, A. A. Zolotin, A. L. Tulupiyev // XX International Conference on Soft Computing and Measurement (SCM'2017). – St. Petersburg, 2017. – P. 19–22.
17. Landuyt D. A review of Bayesian belief networks in ecosystem service modeling / D. Landuyt, S. Broekx, R. D'hondt, G. Engelen, J. Aertsen, P. L. M. Goethals // Environmental Modelling and Software. – 2013. – № 46. – P. 1–11. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.03.011.
18. Zolotin A. A. Matrix-vector algorithms for global a posteriori output in algebraic Bayesian networks / A. A. Zolotin, A. L. Tulupiyev // XX International Conference on Soft Computing and Measurement (SCM'2017). – St. Petersburg, 2017. – P. 45–48.

References

1. Bidyuk P. I., Terentiev A. N. Postroenie i metody obucheniya bayesovskih setey [Construction and teaching methods of Bayesian networks]. *Tavrisheskiy vestnik informatiki i matematiki* [Tavr Bulletin of Computer Science and Mathematics], 2004, no. 2. Available at: <http://tvim.info/files/2004-2-139.pdf>
2. Demidova L. A., Yegin M. M. Gibridnaya intellektualnaya tekhnologiya klassifikatsii dannykh [Hybrid intelligent data classification technology]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 56–68.
3. Krucik M. D. *Zashchita gornyykh avtomobilnykh dorog ot opolzney* [Protection of mountain roads from landslides]. Kolomiya, 2003. 425 p.
4. Puchkov V. A., Akimov V. A., Sokolov Yu. I. *Katastrofy i ustoychivoe razvitie v usloviyakh globalizatsii : monografiya* [Disasters and sustainable development in a globalization : monograph]. Moscow, 2013. 328 p.
5. Selin Yu. N. Sistemnyy analiz ekologicheskikh nebezopasnykh protsessov raznoy prirody [System analysis of environmentally unsafe processes of different nature]. *Sistemnye issledovaniya i informatsionnye tekhnologii* [System research and information technologies], 2007, no. 2, pp. 22–32.
6. Taran V. N. Analiz seti Bayesa pri modelirovani slozhnykh prirodnykh protsessov [Analysis of the Bayesian network for modeling complex natural processes]. *Distantionnye obrazovatelnye tekhnologii : materialy I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii (g. Yalta, 19–23 sentyabrya 2016 g.)* [Remote educational technologies : materials of the 1-st All-Russian Scientific and Practical Internet Conference]. Simferopol, IT ARIAL Publ., 2016, pp. 196–200.
7. Taran V. N. Bayesovskie seti pri modelirovani slozhnykh sistem [Bayesian Networks for Complex Modeling]. *II Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya po problemam upravleniya v tekhnicheskikh sistemakh (STS'2017)* [II International Scientific Conference on Control Problems in Technical Systems (CTS'2017)]. St. Petersburg, LETI Publ., 2017, pp. 248–251.
8. Taran V. N. Klasterizatsiya dannykh dlya formirovaniya vyvoda pri prognozirovani opolznevyykh protsessov Yuzhnogo berega Kryma [Clustering of data for formation of output in forecasting landslide processes of the Southern coast of Crimea]. *Sistemy obrabotki informatsii* [Information Processing Systems], 2010, issue 6 (87), pp. 276–280.

9. Taran V. N. Modelirovanie prirodnykh katastroficheskikh protsessov Yuzhnogo berega Kryma s pomoshchyu seti Bayesa [Simulation of natural catastrophic processes of the Southern coast of Crimea using Bayesian network]. *Auditorium* [Auditorium], 2016, no. 3 (11), pp. 47–54.
10. Taran V. N. Prakticheskoe vnedrenie razrabotannykh metodov prognozirovaniya opolznevnykh protsessov Yuzhnogo berega Kryma [Practical introduction of developed methods for forecasting landslide processes of the Southern coast of Crimea]. *Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta Harkovskiy politekhnicheskiiy institut. Seriya: Informatika i modelirovanie* [The Bulletin of the National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute. Series: Information and Modeling], 2010, no. 21, pp. 162–172.
11. Taran V. N. Seti doveriya Bayesa pri modelirovanii slozhnykh prirodnykh protsessov Yuzhnogo berega Kryma [Bayesian belief networks in modeling of complex natural processes of the Southern coast of the Crimea]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam* [International Conference on Soft Computing and Measurements], 2018, vol. 1, pp. 188–191.
12. Terentev A. N., Bidyuk P. I. Metod veroyatnostnogo vyvoda v bayesovskikh setyakh po obuchayushchim dannym [Probabilistic inference method in Bayesian networks based on training data]. *Kibernetika i sistemnyy analiz* [Cybernetics and Systems Analysis], 2007, no. 3, pp. 93–99.
13. Tulupev A. L. *Algebraicheskie bayesovskie seti: logiko-veroyatnostnaya graficheskaya model baz fragmentov znaniy s neopredelennostyu* [Algebraic Bayesian Networks: A logical-probabilistic graphic model of knowledge fragments bases with uncertainty]. St. Petersburg, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009. 32 p.
14. Khlopotov M. V. Primenenie bayesovskoy seti pri postroenii modeley obuchayushchikhsya dlya otsenki urovnya sformirovannosti kompetentsiy [Application of the Bayesian network in constructing models of learners to assess the level of competence formation]. *Naukovedenie* [Science], September – October 2014, issue 5 (24). Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/20TVN514.pdf>
15. Goriainov S. V., Kuznetsov A. Yu., Tushkanov E. V., Kuznetsova O. V., Romanova E. B. Analysis of Bayesian Mathematical Systems for Pattern Recognition for Identifying Objects on Hyperspectral Images. *XX International Conference on soft calculations and measurements (SCM'2017)*. St. Petersburg, 2017, pp. 69–72.
16. Kharitonov N. A., Zolotin A. A., Tulupyev A. L. Software Implementation of Algorithms for Maintaining Consistency in Algebraic Bayesian Networks. *XX International Conference on Soft Computing and Measurement (SCM'2017)*, St. Petersburg, 2017, pp. 19–22.
17. Landuyt D., Broekx S., D'hondt R., Engelen G., Aertsen J., Goethals P. L. M. A review of Bayesian belief networks in ecosystem service modelling. *Environmental Modelling and Software*, 2013, no. 46, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.03.011.
18. Zolotin A. A., Tulupyev A. L. Matrix-vector algorithms for global a posteriori output in algebraic Bayesian networks. *XX International Conference on Soft Computing and Measurement (SCM'2017)*. St. Petersburg, 2017, pp. 45–48.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 004.4

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПОДБОРА АНТИДОТОВ К ЗАДАННОМУ ТОКСИКАНТУ

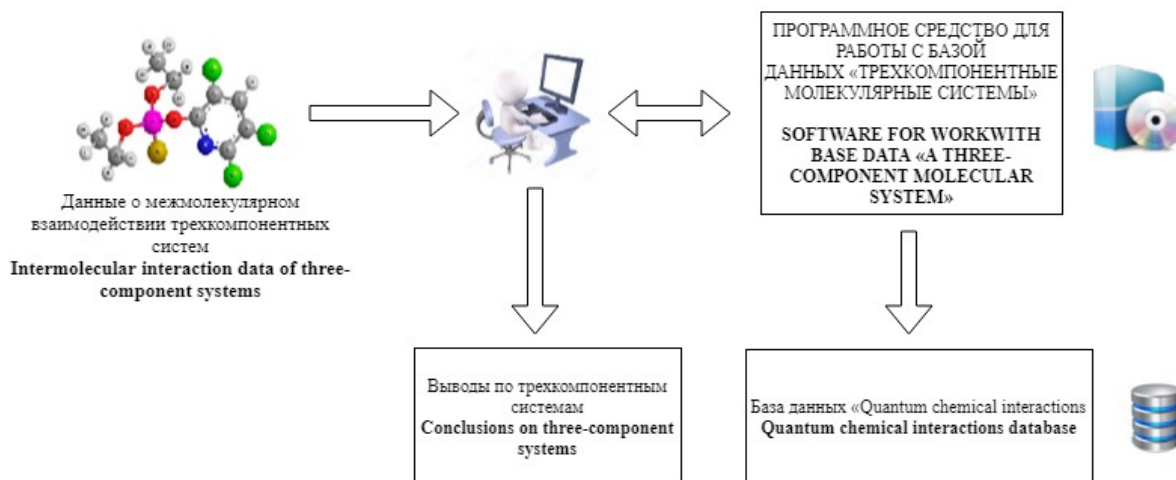
Статья поступила в редакцию 30.05.2019, в окончательной варианте – 05.06.2019.

Жарких Леся Ивановна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: lesy_g@mail.ru
Батыров Эльвард Даниярович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
магистрант, e-mail: elvard96@mail.ru

В работе предложено программное средство для обработки результатов квантово-химических расчетов межмолекулярного взаимодействия для трех молекул. Приведена архитектура программного обеспечения, алгоритм его работы, а также интерфейсы программы. Рассмотрены функции отдельных блоков программы. Программа разработана в Microsoft Visual Studio, а база данных спроектирована в СУБД MySQL. Программный код написан на объектно-ориентированном языке программирования C#. Применение программного обеспечения проиллюстрировано на примере системы «белок-метионин-сероводород». Полученные результаты позволяют повысить эффективность изучения межмолекулярных взаимодействий трех молекул.

Ключевые слова: межмолекулярное взаимодействие, алгоритм, программное обеспечение, база данных, квантово-химические расчеты, квантово-химический программный комплекс, двухкомпонентные системы, информационная система

Графическая аннотация (Graphical annotation)



DESIGN OF THE DATABASE STRUCTURE AND SOFTWARE, INTENDED FOR THE SELECTION OF ANTIDOTES TO THE GIVEN TOXICANT

The article was received by editorial board on 30.05.2019, in the final version – 05.06.2019.

Zharkikh Lesya I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: lesy_g@mail.ru

Batyrov Elvard D., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, undergraduate student, e-mail: lesy_g@mail.ru

The paper proposes a software tool for processing the results of quantum chemical calculations of intermolecular interaction for three molecules. The software architecture, the algorithm of its work, as well as the program interfaces are given. The functions of individual program blocks are considered. The program is developed in Microsoft Visual Studio, and the database is designed in MySQL DBMS. The program code is written in the object-oriented programming language C#. The use of software is illustrated by the example of a system "protein-methionine-hydrogen sulfide". The obtained results allow to increase the efficiency of studying intermolecular interactions of three molecules.

Keywords: intermolecular interaction, algorithm, software, database, quantum chemical calculations, quantum chemical software, two-component systems, information system

Введение. Прогнозирование свойств химико-биологических систем является весьма актуальной проблемой. При этом внедрение компьютерной техники и математического моделирования позволяет, во-первых, облегчить проведение исследований, во-вторых, при минимальном использовании экспериментальных данных получить достаточно надежные результаты, в-третьих, эффективно обрабатывать полученные результаты [1–3].

На сегодняшний день существует множество квантово-химических программ для построения моделей молекул и проведения расчетов по их взаимодействию. Эти программы позволяют получить необходимые экспериментальные данные путем проведения вычислительных экспериментов над моделями. При этом одним из наиболее актуальных направлений является изучение трехкомпонентных систем. Построение таких систем является трудоемкой задачей, для выполнения которой необходимо проводить множество квантово-химических расчетов. В свою очередь эти расчеты подразумевают получение больших массивов данных по взаимодействиям молекул. Существующие программные комплексы не подразумевают обработку полученных данных, они предназначены только для их получения [4–6].

Поэтому целью данной работы стала разработка программного обеспечения (ПО) для квантово-химического изучения межмолекулярного взаимодействия трехкомпонентных систем. Применение ПО позволит хранить в упорядоченном виде данные из экспериментов, а также работать с этими данными, тем самым обеспечивая более эффективное изучение взаимодействия молекулярных систем [7].

Анализ программных комплексов, приближенных к теме исследования. Среди программных средств прямых аналогов программного обеспечения для квантово-химического изучения трехкомпонентных систем нет. Существующие программные комплексы предназначены для квантово-химических расчетов, построения моделей молекул и их визуализации. Среди программ для визуализации и построения моделей молекул можно выделить следующие: ChemOffice и ChemCraft.

Интегрированный программный комплекс ChemOffice фирмы CambridgeSoftCorporation включает следующие четыре специализированных приложения:

- «химический редактор» CSChemDraw, являющийся традиционным средством редактирования химических формул;
- специализированный редактор баз данных CSChemFinder, предназначенный для создания, редактирования и управления базами данных химических соединений;
- программа CSChem3D, предназначенная для визуализации химических соединений, компьютерного моделирования и расчетов;
- редактор таблиц CSTableEditor, предназначенный для просмотра и редактирования табличных данных, используемых в пакете CSChem3D.

Chemcraft – графическая программа для работы с квантово-химическими расчетами, предоставляющая удобный интерфейс для просмотра и анализа расчетных файлов и различные утилиты для подготовки новых заданий. Программа написана в среде разработки Delphi [10–12].

Среди программ для расчетов можно выделить: Gaussian, GAMESS (US), Q-Chem, CP2K. Сравнительный анализ характеристик программных комплексов представлен в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что основные функциональные возможности программных продуктов в целом одинаковые, однако имеют и свои недостатки. Программные средства Q-Chem и Gaussian предоставляются только на коммерческой основе, цена на лицензию высокая. Программный комплекс GAMESS (US) предоставляется на академической основе, однако широкие функциональные возможности предоставляются на коммерческой основе. Программный комплекс CP2K предоставляется бесплатно, однако поддерживается только операционной системой Linux, то есть не является универсальной. Однако эти программные комплексы предназначены только для квантово-химических расчетов, у них нет возможности хранить данные из экспериментов и анализировать их [12–15].

Таблица 1 – Сравнительный анализ характеристик программных продуктов

Характеристика	Gaussian	GAMESS (US)	Q-Chem	CP2K
Лицензия	Коммерческая	Академическая	Коммерческая	Бесплатная
Язык программирования	Fortran	Fortran	Fortran, C++	Fortran 95
Основа ядра	GTO	GTO	GTO	GTO
Молекулярная механика	+	+	+	+
Полуэмпирический метод	+	+	+	+
Метод Хартри – Фока	+	+	+	+
Методы Пост – Хартри – Фока	+	+	+	+
Операционная система	Linux, Unix и аналогичные операционные системы, Microsoft Windows, Mac OS X	Linux, Unix и аналогичные операционные системы, Microsoft Windows, Mac OS X	Linux, Unix и аналогичные операционные системы, Microsoft Windows, Mac OS X	Linux
Методы Пост – Хартри – Фока	+	+	+	+
Функциональная теория плотности	+	+	+	+
Молекулярное моделирование на графических процессорах	+	+	+	+
Доступность	–	+	–	+

Архитектура программного обеспечения. В качестве инструмента для квантово-химического изучения межмолекулярных взаимодействий будет использоваться программный комплекс, который состоит из следующих компонентов:

- интерфейс пользователя;
- модуль обработки данных;
- база данных;
- модуль управления базой данных (БД).

Пользователь – человек, занимающийся квантово-химическим изучением межмолекулярных взаимодействий.

Данные о молекулярных взаимодействиях: названия и метки атомов, между которыми образуются водородные связи; величина расстояния между этими атомами в молекулах; изменение энергии при образовании молекулярного комплекса; величина изменения зарядов при взаимодействии.

Информационная система – система, позволяющая добавлять, редактировать и удалять данные в базе данных, а также предоставляющая возможность сравнивать межмолекулярные взаимодействия для трех пар молекул в трехкомпонентных системах.

База данных «Quantum chemical interactions» – БД, где хранятся данные, полученные из экспериментов по квантово-химическим расчетам трехкомпонентных систем [8].

На рисунке 1 представлена архитектура разработанного ПО.

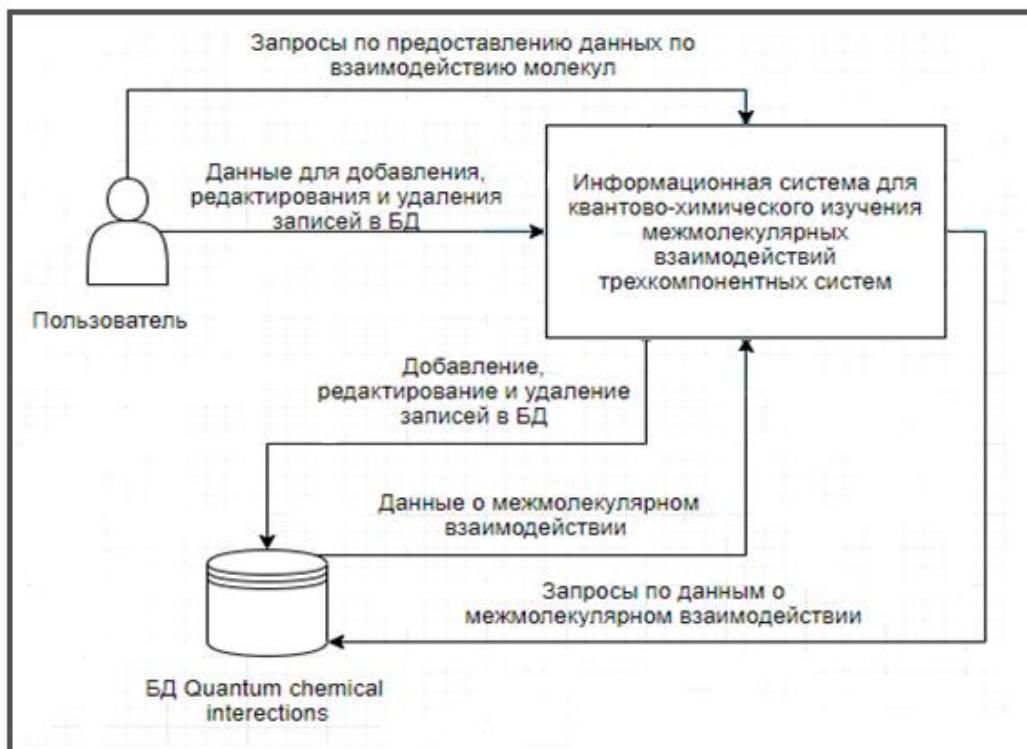


Рисунок 1 – Архитектура разработанного программного обеспечения

Алгоритм работы информационной системы и ее интерфейс. Рабочая программа выполнена в Microsoft Visual Studio, а база данных «Quantum chemical interactions» спроектирована в СУБД MySQL [8]. База данных состоит из двух таблиц, в первой таблице хранятся трехкомпонентные системы, она является родительской, а во второй таблице хранятся данные по трехкомпонентным системам, которые необходимы для изучения. Первая таблица «Three component systems» содержит два поля: шифр, название. Поле шифр является первичным ключом. Вторая таблица «Molecular interactions» содержит шесть полей: шифр системы, название, по связи, R, dq, dE. Поле шифр системы является внешним ключом.

На рисунке 2 представлена ER-диаграмма базы данных.

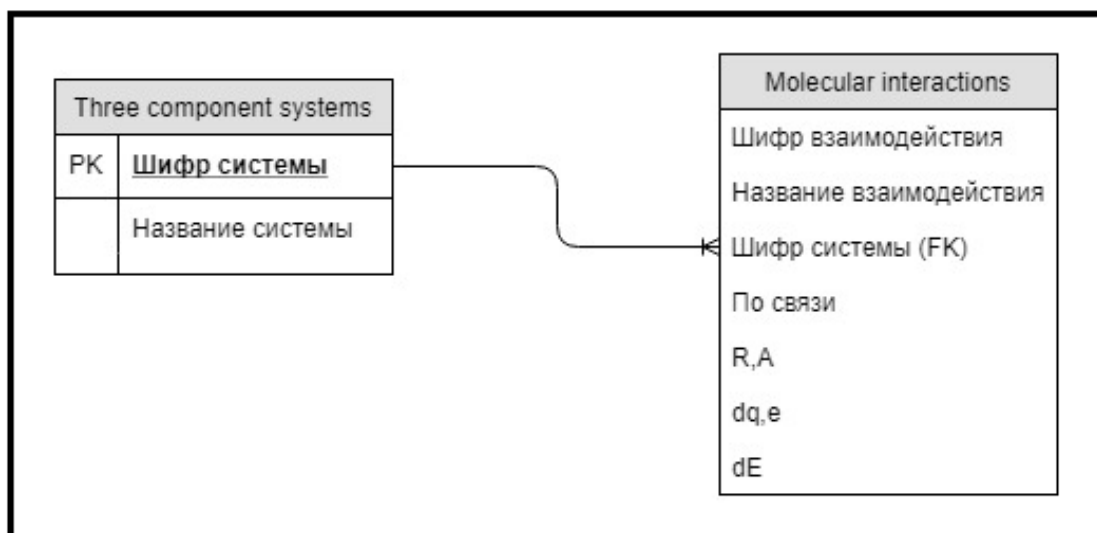


Рисунок 2 – ER-диаграмма базы данных

Данные по трехкомпонентным системам мы получаем из проведенных ранее экспериментальных исследований. Таблица «Molecular interactions» содержит всю информацию о взаимодействиях молекул в трехкомпонентной системе. Описание структуры «Molecular interactions» приводится в таблице 2.

Таблица 2 – Таблица «Molecular interactions»

Параметр	Тип	Размер	Диапазон значений
Шифр взаимодействия	int		Целочисленное
Название взаимодействия	varchar	90	
Шифр системы	int		Целочисленное
По связи	varchar	10	
R,A	float		
dq,e	float		
dE	float		
Шифр системы	int		Целочисленное
Название системы	varchar	90	

Таблица «Three component systems» содержит информацию о трехкомпонентных системах. Описание структуры «Three component systems» приводится в таблице 3.

Таблица 3 – Таблица «Molecular interactions»

Параметр	Тип	Размер	Диапазон значений
Шифр системы	int		Целочисленное
Название системы	varchar	90	

Для изучения трехкомпонентной системы мы рассматриваем три двухкомпонентные системы. Например, при изучении трехкомпонентной системы «белок – сероводород – метионин» у нас получается три двухкомпонентные системы: «белок – сероводород», «сероводород – метионин», «белок – метионин» [5–6].

На рисунке 4 представлена блок-схема алгоритма работы программного средства.

Из рисунка видно, что программа выполняет 6 основных функций с базой данных, а именно: поиск данных, добавление, удаление и редактирование данных, формирование запросов, аналитические функции.

Общий алгоритм работы программы можно описать следующим образом:

- если пользователь зарегистрирован, то он авторизуется в системе, вводя логин и пароль, а иначе проходит регистрацию в системе;
- пройдя авторизацию, пользователь переходит на главное меню программы;
- пользователь выбирает, какой функцией воспользоваться;
- пользователь выбирает функцию «Добавить», «Редактировать» или «Удалить», заполняет поля на форме, добавляет или редактирует данные в БД системы, либо удаляет данные из БД;
- пользователь выбирает функцию формирования запросов, заполняет поля, начинает поиск данных по БД системы;
- пользователь выбирает аналитические функции, заполняет поля, система ищет количество активных центров закрытых атомов системы, зараженных атомов системы, либо количество активных центров атомов организма конкурентных атомам токсиканта;
- пользователь ищет коэффициент эффективности антидота;
- пользователь продолжает работу с новой трехкомпонентной системой, либо выходит из системы.

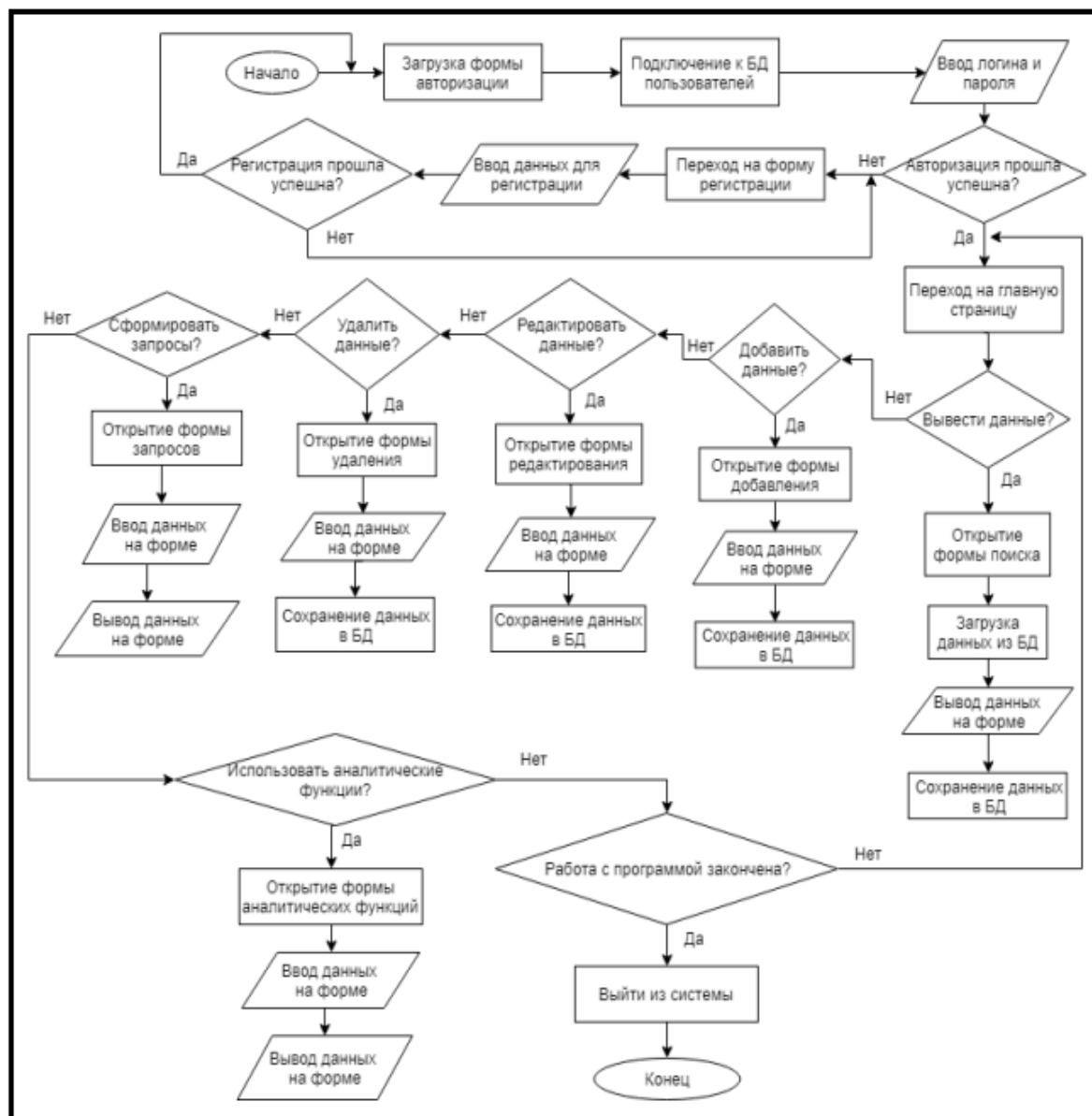


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма работы программы

Обработка и обобщение результатов работы программного обеспечения. Интерфейс программы включает в себя 5 форм: авторизация, регистрация, главное меню, запросы, аналитические функции. В момент, когда пользователь вводит свой логин и пароль, происходит проверка введённых данных. Если данные введены правильно, то пользователь перейдёт в меню системы. В противном случае будет выведено на экран сообщение о том, что логин или пароль введены неверно. На рисунке 5 представлен пример работы авторизации.

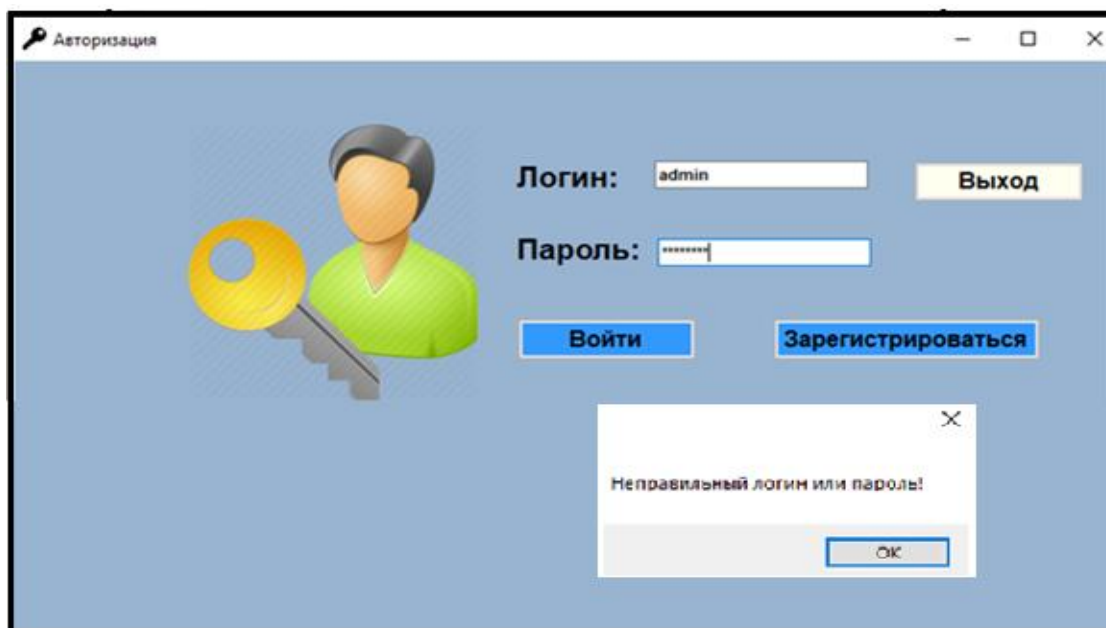


Рисунок 5 – Пример работы с формой авторизации

Регистрация пользователя в клиентском приложении. Если пользователь не зарегистрирован, то он вводит новый логин, пароль, фамилию, имя, отчество и название организации, затем нажимает кнопку зарегистрироваться, и его данные заносятся в базу данных, а затем уже он может пройти авторизацию, как зарегистрированный пользователь, используя только логин и пароль (рис. 6). В случае если какое-то поле или все поля не заполнены, то система выдает сообщение об ошибке.

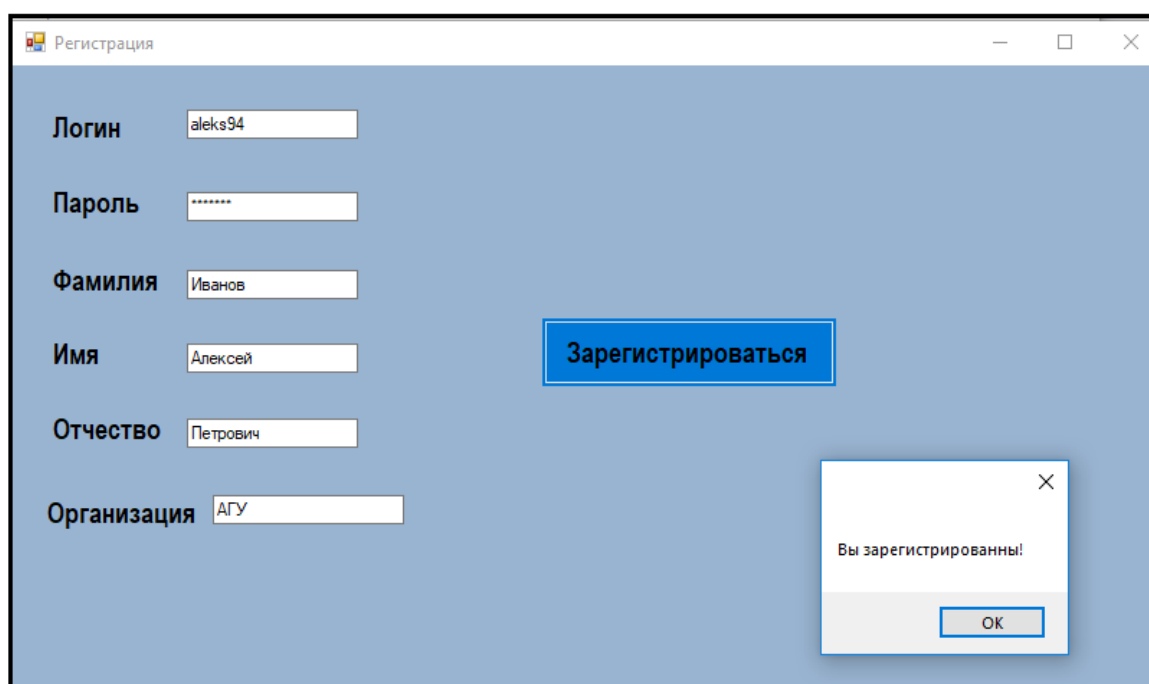


Рисунок 6 – Пример работы с формой регистрации

Главное меню программы имеет 4 вкладки, с помощью которых мы работаем с отдельными данными из базы данных. Для добавления новой записи необходимо заполнить все поля соответствующими данными. В случае несоответствия данных требованиям поля, пользователю сообщается об ошибке. В случае если все поля заполнены, необходимо подтвердить ввод нажатием на кнопку добавить. Если не все поля заполнены, то система выдает сообщение об ошибке. На рисунке 7 представлен пример добавления новой записи в базу данных.

Рисунок 7 – Пример добавления данных в систему

Для редактирования записей мы переходим в соответствующую вкладку в «ГЛАВНОМ МЕНЮ», где также необходимо заполнить все поля данными. Если такой записи не существует, то система выдаст сообщение об ошибке (рис. 8).

Рисунок 8 – Редактирование данных в системе

Для удаления записей необходимо перейти во вкладку «Удаление» «ГЛАВНОГО МЕНЮ». В ней нужно заполнить все поля соответствующими данными. Если все поля заполнены и такая запись имеется в базе данных, то запись удалится, в противном случае система сообщит о соответствующей ошибке (рис. 9).

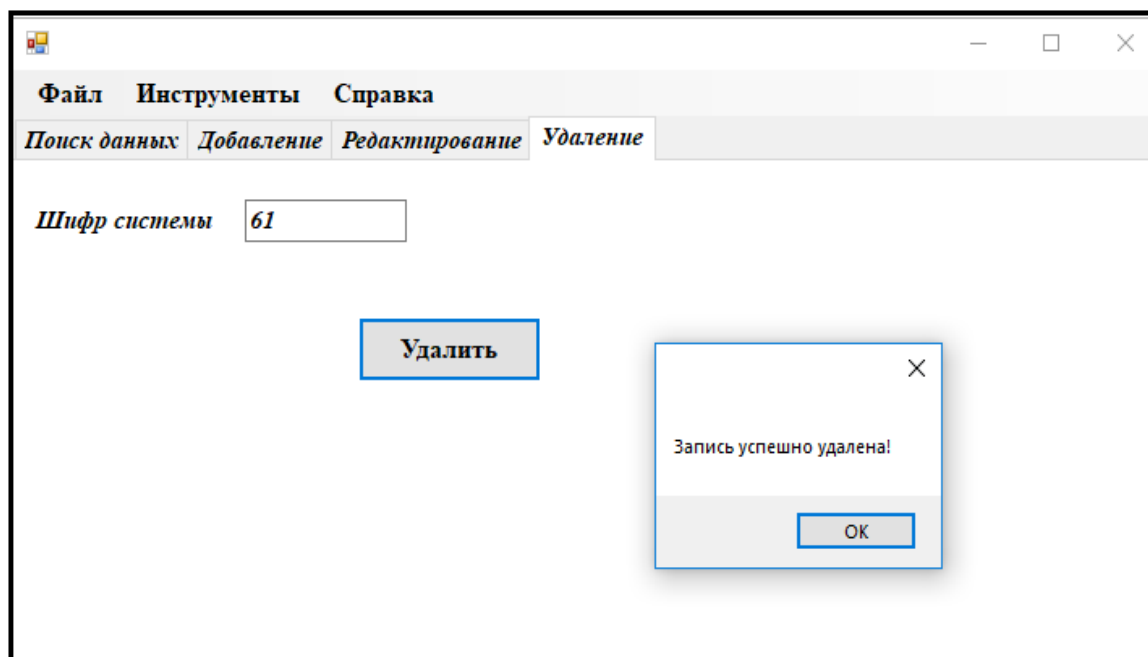


Рисунок 9 – Удаление данных из системы

Формирование запросов к базе данных по связи межмолекулярных взаимодействий в определенной трехкомпонентной системе для дальнейшего квантово-химического анализа мы можем выполнять, войдя во вкладку «Инструменты». Здесь мы переходим на форму «Запросов», где можем рассмотреть как целую трехкомпонентную систему, так и отдельные ее части. Для этого необходимо заполнить соответствующие поля на данной форме (рис. 10). Запросы можно выполнять по названию взаимодействия, либо по связи, а также можно делать общие запросы.

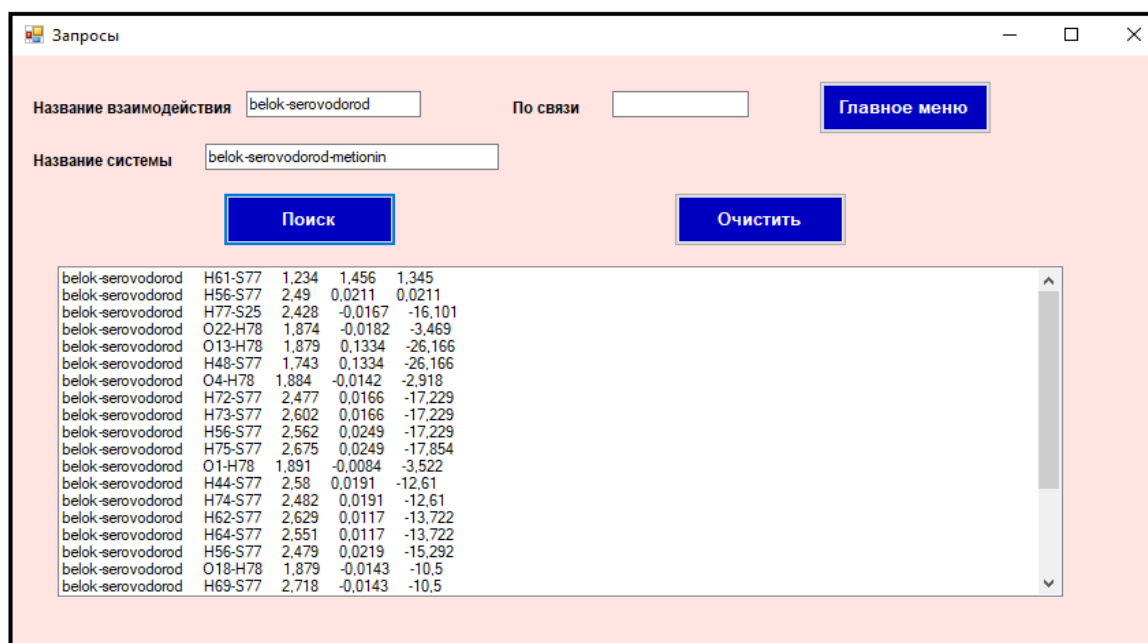


Рисунок 10 – Результат запроса к БД

Аналитические функции из вкладки «Инструменты» позволяют нам посчитать количество закрытых атомов системы, зараженных атомов системы, а также количество атомов антидота, конкурентных с токсикантом. На рисунке 11 представлен пример работы аналитических функций.

Рисунок 11 – Аналитические функции

Используя форму «Аналитические функции», мы можем подсчитать активные центры межмолекулярных взаимодействий двухкомпонентных систем, что входят в трехкомпонентную систему. В качестве примера на рисунке 11 рассматривалась трехкомпонентная система «белок – метионин – сероводород». Активные центры межмолекулярного взаимодействия системы «белок – метионин» обозначаются в программном обеспечении как закрытые атомы системы. А активные центры межмолекулярного взаимодействия системы «белок – сероводород» обозначаются в программном обеспечении как зараженные атомы системы. В свою очередь активные центры межмолекулярного взаимодействия системы «сероводород – метионин» обозначаются в программном обеспечении как атомы антидота, конкурентные с токсикантом. Эти данные необходимы для изучения трехкомпонентных систем. Зная количество активных центров по молекулярным взаимодействиям, можно анализировать трехкомпонентные системы, делать выводы по взаимодействиям [16–17].

Зная количество активных центров по каждой из систем, можно изучать трехкомпонентную систему, анализировать и делать выводы. Также можно оценить эффективность антидота в определенной трехкомпонентной системе. Для этого необходимо вычислить коэффициент эффективности антидота, который означает долю закрытых атомов в молекуле организма по отношению к данному токсиканту и обозначается как P . Коэффициент эффективности антидота P можно вычислить по формуле (1.6):

$$P = K_{12}/K_2, \quad (1.6)$$

где K_{12} – количество закрытых активных центров взаимодействия двухкомпонентной системы «организм – антидот» по отношению к данному токсиканту; K_2 – количество активных центров взаимодействия двухкомпонентной системы «организм – токсикант».

Если коэффициент эффективности антидота меньше 0,5, то антидот считается неэффективным, а если больше 0,5, то антидот эффективный. Зная коэффициенты эффективности антидотов, можно анализировать их эффективность, а также сравнивать их между собой. Такое сравнение позволит оценить, какой антидот более эффективен в трехкомпонентной системе при определенном токсиканте. На рисунке 12 представлен вывод по системе «белок – метионин – сероводород».

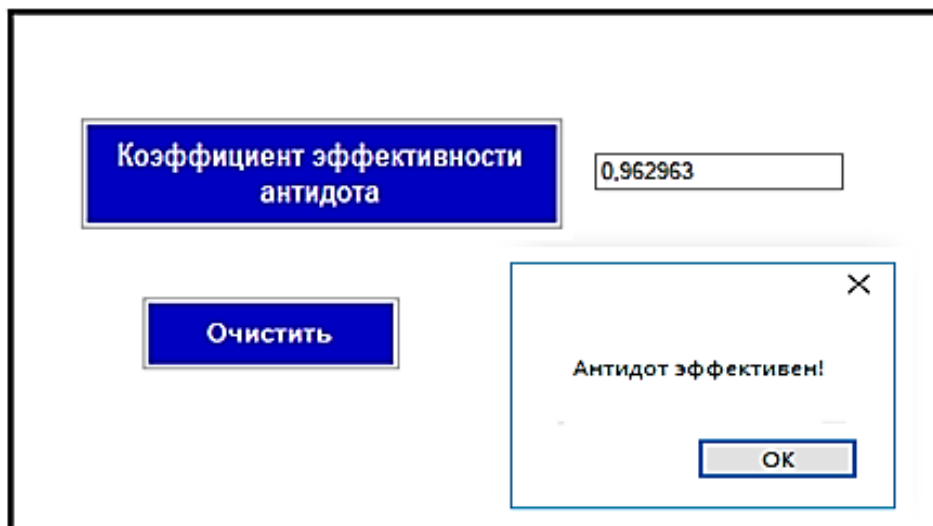


Рисунок 12 – Результат расчета коэффициента эффективности антидота

Высчитывая коэффициенты эффективности антидотов, можно анализировать их эффективность, а также сравнивать их между собой. Сравнение этих параметров дает нам возможность оценить полученные ранее эксперименты.

Выводы. Использование предложенного в работе ПО позволяет хранить и обрабатывать большие массивы данных, полученных при квантово-химических расчетах межмолекулярного взаимодействия трехкомпонентных систем. Также ПО позволяет облегчить решение задачи поиска веществ, с помощью которых при необходимости могут быть блокированы активные центры соответствующих молекул (например, молекул биологической клеточной мембраны при воздействии на них токсикантов) [7, 9].

Библиографический список

1. Абилова З. З. Математическое моделирование воздействия флуамида и левомецитина на фосфолипид / З. З. Абилова, К. И. Рамазанова, Л. И. Жарких, Н. М. Алыков // Экологические системы и приборы. – 2015. – № 5. – С. 21–27.
2. Алешин Л. И. Информационные технологии : учебное пособие / Л. И. Алешин. – Москва : Маркет ДС, 2011. – 384 с.
3. Барановский В. И. Квантовая механика и квантовая химия / В. И. Барановский. – Москва : Academia, 2008. – 384 с.
4. Ермаков А. И. Квантовая механика и квантовая химия : учебное пособие / А. И. Ермаков. – Москва : Юрайт, 2010. – 560 с.
5. Жарких Л. И. Математическое моделирование воздействия левомецитина на п-ацетилгалактозамин / Л. И. Жарких, З. З. Абилова, Н. М. Алыков // Экологические системы и приборы. – 2016. – № 1. – С. 32–37.
6. Жарких Л. И. Компьютерное структурно-адсорбционное моделирование взаимодействий клеточных мембран с сероводородом и диоксидом серы / Л. И. Жарких, Н. М. Алыков, Н. В. Золоторева, Ю. Е. Медовикова, Ю. А. Очередко // International Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol. 10, № 21, pp. 42731–42736.
7. Жарких Л. И. Автоматизация расчетов основных энергетических и зарядовых характеристик при моделировании межмолекулярных взаимодействий. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2011611798 от 28.02.2011 г. / Л. И. Жарких, Ю. А. Очередко, Н. М. Алыков, А. А. Малев.
8. Лаврищева Е. М. Концепция аналитической оценки характеристик качества программных компонентов / Е. М. Лаврищева, А. М. Рожнов. – 2014.
9. Сиротин А. Н. Математическое моделирование процессов воздействия молекул зарина, зомана и табуна на структурные компоненты клеточной мембраны / А. Н. Сиротин, Л. И. Жарких, Н. М. Алыков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 1 (21). – С. 71–77.
10. Соловьев М. Е. Компьютерная химия / М. Е. Соловьев, М. М. Соловьев. – Москва : СОЛОН – Пресс, 2005. – 536 с.
11. Элькин М. Д. Молекулярное моделирование: методические аспекты / М. Д. Элькин, Г. П. Стефанова, И. А. Крутова, В. И. Коломин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 4. – С. 103–112 ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4\(20\)/103-112.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4(20)/103-112.pdf)).
12. Bataev V. A., Dolgov E. K., Abramnikov A. V., Pupyshev V. I., Godunov I. A. // Intern.
13. Gauss J., Stanton J. F. // J. Phys. Chem. A. – 2013. – № 104. – P. 2865.
14. Режим доступа: <http://www.msg.ameslab.gov/games/index.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
15. Larry A. Curtiss. Gaussian and related methods for accurate thermochemistry / Larry A. Curtiss, Krishnan Raghavachari // Theor. Chem. Acc. – 2002. – Iss. 2. – P. 61–70.

16. Schmidt M. W., Boldridge K. K., Boatz J. A., Elbert S. T., Gordon M. S., Jensen J. H., Koseki S., Matsunaga N., Nguyen K. A., Su S. J., Windus T. L., Dupuis M., Montgomery J. A. // *J. Comput. Chem.*, 1993, № 14, p. 1347.
17. Zhang Y. Small molecules, big roles – the chemical manipulation of stem cell fate and somatic cell reprogramming / Y. Zhang, W. Li, T. Laurent, S. Ding // *J. Cell. Sci.* – 2012. – Vol. 125 (Pt 23). – P. 5609–20.

References

1. Abilova Z. Z., Ramazanov K. I., Zharkikh L. I., Alykov N. Matematicheskoe modelirovanie vozdeystviya flutamida i levomitsetina na fosfolipid [Mathematical modeling of the effect of flutamide and levomycetin on phospholipid]. *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2015, no. 5, pp. 21–27.
2. Aleshin L. I. *Informatsionnye tekhnologii : uchebnoe posobie* [Information technologies : textbook]. Moscow, Market DS Publ., 2011. 384 p.
3. Baranovskiy V. I. *Kvantovaya mekhanika i kvantovaya khimiya* [Quantum mechanics and quantum chemistry]. Moscow, Academy, 2008. 384 p.
4. Ermakov A. I. *Kvantovaya mekhanika i kvantovaya khimiya : uchebnoe posobie* [Quantum mechanics and quantum chemistry : textbook]. Moscow, Yurayt Publ., 2010. 560 p.
5. Zharkikh L. I., Abilov Z. Z., Alykov N. M. Matematicheskoe modelirovanie vozdeystviya levomitsetina na n-atsetilgalaktozamin [Mathematical modeling of the effects of chloramphenicol on the n-acetilgalaktozamin]. *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2016, no. 1, pp. 32–37.
6. Zharkikh L. I., Alykov N. M., Zolotareva N. In. Medovikov J. E., Ocheredko J. A. Kompyuternoe strukturno-adsorbtsionnoe modelirovanie vzaimodeystviy kletochnykh membran s serovodorodom i dioksidom sery [Computer structural-adsorption modeling of interactions of cell membranes with hydrogen sulphide and sulphur dioxide]. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol.10, no. 21, pp. 42731–42736.
7. Zharkikh L. I. Avtomatizatsiya raschetov osnovnykh energeticheskikh i zaryadovykh kharakteristik pri modelirovanii mezhmolekulyarnykh vzaimodeystviy. Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM № 2011611798 ot 28.02.2011 g. [Automation of calculations of the main energy and charge characteristics in the simulation of intermolecular interactions. The certificate of registration of program for computer № 2011611798 of 28.02.2011].
8. Lavrishcheva E. M., Rozhnov A. M. Kontseptsiya analiticheskoy otsenki kharakteristik kachestva programmnykh komponentov [The concept of an analytical assessment of the quality characteristics of software components], 2014.
9. Sirotnin A. N., Hot Li, Alykov N. M. Matematicheskoe modelirovanie protsessov vozdeystviya molekul zarina, zomana i tabuna na strukturnye komponenty kletochnoy membrany [Mathematical modeling of the processes of influence of sarin, zoman and Tabun molecules on the structural components of the cell membrane]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2013, no. 1 (21), pp. 71–77.
10. Solovov M. Ye., Soloviev M. M. *Kompyuternaya khimiya* [Computer chemistry]. Moscow, SOLON – Press Publ., 2005. 536 p.
11. Elkin M. D., Stefanova G. P., Krutova I. A., Kolomin V. I. Molekulyarnoe modelirovanie: metodicheskie aspekty [Molecular modeling: methodological aspects]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2012, no. 4, pp. 103–112 ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4\(20\)/103-112.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4(20)/103-112.pdf)).
12. Bataev V. A., Dolgov E. K., Abramnikov A. V., Pupyshev V. I., Godunov I. A. *Intern.*
13. Gauss J., Stanton J.F. *J. Phys. Chem. A*, 2013, no. 104, p. 2865.
14. Available at: <http://www.msg.ameslab.gov/games/index.html>
15. Larry A. Curtiss, Krishnan Raghavachari. Gaussian and related methods for accurate thermochemistry. *Theor. Chem. Acc.*, 2002, iss. 2, pp. 61–70.
16. Schmidt M. W., Boldridge K. K., Boatz J. A., Elbert S. T., Gordon M. S., Jensen J. H., Koseki S., Matsunaga N., Nguyen K. A., Su S. J., Windus T. L., Dupuis M., Montgomery J. A. *J. Comput. Chem.*, 1993, no. 14, p. 1347.
17. Zhang Y., Li W., Laurent T., Ding S. Small molecules, big roles – the chemical manipulation of stem cell fate and somatic cell reprogramming. *J. Cell. Sci.*, 2012, vol. 125 (Pt 23), pp. 5609–20.

УДК 004.051

**ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ВЫБОРА КОМПОНЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОЦЕНОК КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА¹***Статья поступила в редакцию 19.04.2019, в окончательном варианте – 10.05.2019.*

Гусев Александр Алексеевич, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, аспирант, <https://orcid.org/0000-0003-2437-8537>, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=835966, e-mail: alexandrgsv@gmail.com

Ильин Дмитрий Юрьевич, МИРЭА – Российский технологический университет, 119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, 78, аспирант, <http://orcid.org/0000-0002-0241-2733>, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=892115, e-mail: i@dmityilin.com

Никулчев Евгений Витальевич, МИРЭА – Российский технологический университет, 119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, 78, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления и моделирования систем, <http://orcid.org/0000-0003-1254-9132>, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=396636, e-mail: nikulchev@mail.ru

В статье представлена методика оценки эффективности набора компонентов программного обеспечения на основе вычислительных экспериментов, воспроизводимых под управлением генетического алгоритма. Для представления наборов компонентов в виде натуральных генотипов вводится отображение кодирования. Обратное отображение используется для дешифровки генотипа. На первом шаге методики генетический алгоритм создает начальную популяцию случайных генотипов, преобразуемых в оцениваемые наборы компонентов программного обеспечения. Затем происходит инициализация каждого набора и исполнение заданного перечня операций со снятием экспериментальных замеров для вычислительных экспериментов с информационной системой по 14 заданным частным критериям эффективности. На их основе, с учетом весовых коэффициентов, задающих цели в области управления качеством обслуживания, генетический алгоритм рассчитывает интегральный функционал качества для каждого исследуемого набора компонентов информационной системы. После этого выполняются генетические операторы, и происходит генерация нового (усовершенствованного) поколения генотипов с последующими экспериментальными измерениями для соответствующих наборов компонентов. Процедура повторяется вплоть до выполнения условий останова. В статье показано применение предлагаемой методики к оценке эффективности выбора компонентов Node.js. Для этой цели разработана MATLAB-программа генетического поиска и сценарий эксперимента для виртуальной машины, работающей под управлением операционной системы Ubuntu 16.04 LTS. Последняя развертывается с помощью средства конфигурирования виртуальной среды разработки Vagrant.

Ключевые слова: качество систем и программ, эффективность взаимодействия программ, генетический алгоритм, эволюционные вычисления, вычислительные эксперименты, информационная система

**GENETIC ALGORITHM OF SELECTING INFORMATION SYSTEMS COMPONENTS
BASED ON EXPERIMENTAL EVALUATIONS OF QUALITY CRITERIA***The article was received by editorial board on 19.04.2019, in the final version – 10.05.2019.*

Gusev Aleksandr A., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, post-graduate student, <https://orcid.org/0000-0003-2437-8537>, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=835966, e-mail: alexandrgsv@gmail.com

Ilin Dmitry Yu., MIREA – Russian Technological University, 78 Vernadskiy Ave., Moscow 119454, Russian Federation,

Post-graduate student, <http://orcid.org/0000-0002-0241-2733>, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=892115, e-mail: i@dmityilin.com

Nikulchev Evgeny V., MIREA – Russian Technological University, 78 Vernadskiy Ave., Moscow 119454, Russian Federation,

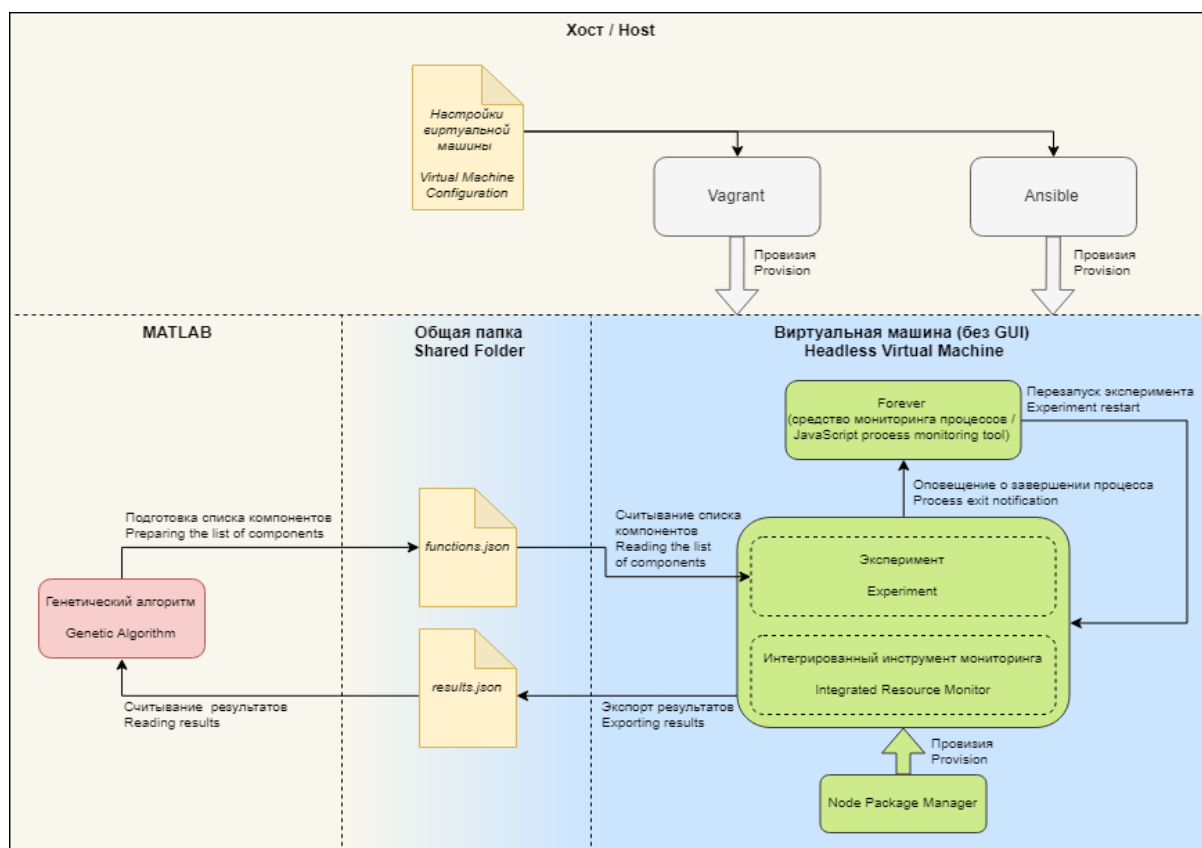
Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Chair of Systems Control and Modelling, <http://orcid.org/0000-0003-1254-9132>, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=396636, e-mail: nikulchev@mail.ru

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-29-02198 (офи_м) «Разработка открытой экспериментально-аналитической веб-платформы для сбора и интеллектуального анализа данных междисциплинарных исследований в области психического здоровья».

The article presents a methodology for assessing the effectiveness of a set of software components based on reproducible experiments under the control of a genetic algorithm. To represent the sets of components in the form of natural genotypes, an encoding mapping and reverse mapping is introduced to decipher the genotype. In the first step of the technique, the genetic algorithm creates an initial population of random genotypes, which are then converted into estimated sets of software components. Then, each set is initialized and a given list of operations is executed with experimental measurements taken according to 14 specified individual performance criteria. Based on experimental measurements, taking into account weighting factors that set goals in the field of Quality of Service, the genetic algorithm calculates the integral quality functional for each set of components of the information system under investigation, after which genetic operators are performed and the generation of improved genotypes is generated and experimental measurements are done for the corresponding sets, the procedure is repeated until the stop conditions are met. The article shows the application of the proposed methodology to evaluating the effectiveness of selecting Node.js components, for which a MATLAB genetic search program was developed as well as the experiment scenario for a virtual machine running the Ubuntu 16.04 LTS operating system. The virtual machine was deployed using the Vagrant virtual environment configuration tool.

Keywords: quality of systems and programs, the effectiveness of program interaction, genetic algorithm, evolutionary computation

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Эффективный выбор компонентов информационных систем (ИС) на основе оценок критериев [36] качества обслуживания становится все более актуальной проблемой в связи с развитием каркасного подхода [4] к проектированию и разработке ИС. В работе данная проблема рассматривается в контексте высоконагруженных распределенных клиент-серверных информационных систем, реализованных на языке JavaScript.

Фреймворк, или каркас [1, 10], – это шаблонное архитектурное решение. Оно позволяет унифицировать процесс разработки ИС на основе комбинирования постоянной части ИС (фреймворка), не меняющейся от конфигурации к конфигурации, и подключаемых компонентов, совместимых с постоянной частью. JavaScript фреймворк – это фреймворк, написанный на языке JavaScript, позволяющий программистам манипулировать набором совместимых компонентов (библиотек) для решения конкретной задачи. Отличие фреймворка от библиотеки JavaScript проявляется в потоке управления [31]: библиотека всегда вызывается своим родительским кодом, в то время как фреймворк определяет общую архитектуру ИС [19] и вызывает те или иные компоненты для реализации функциональности, определенной разработчиком.

Разнообразие задач, решаемых с помощью JavaScript, в последние годы привело к появлению сотен фреймворков. Их можно разделить на две группы: 1) универсальные (например, Node.js [2]). Они

позволяют использовать JavaScript при написании серверной части веб-приложения в качестве языка общего назначения с возможностью взаимодействия с устройствами ввода-вывода; 2) фреймворки для написания браузерных (front-end) приложений, выполняемых на стороне пользователя. Примерами являются Angular.js [27, 44]; Angular [46, 25] (написан на языке TypeScript [20], являющимся обратно-совместимой модификацией JavaScript); Vue.js [38, 24]; React.js [22, 43] и многих других [15].

Для поддержки оптимального выбора фреймворка при реализации задач разработки ИС с помощью JavaScript ранее были предложены методика SPEC (Speed, Productivity, Ecosystem, Compatibility) [26] и разнообразные бенчмарк-тесты. Они дают возможность измерить экономичность программного кода [32] и производительность [11, 33, 34] того или иного фреймворка с некоторым набором компонентов на типовых операциях. Указанные методики и тесты позволяют оценить соответствие фреймворка общим потребностям разработчика при заданном наборе компонентов. Однако актуальной задачей является создание для набора альтернативных технологий разработки специализированной методики для оценки обеспечения гарантированного качества обслуживания [7] (Quality of Service, QoS) и эффективности функционирования в заданных условиях. Под ними понимаются конкретное рабочее окружение, вычислительная инфраструктура, вычислительные нагрузки при нормальном и пиковом режиме функционирования и др.

Базовым элементом такой методики должна являться процедура проведения воспроизводимых вычислительных экспериментов [6] по оценке эффективности функционирования компонентов программного обеспечения. При автоматизации данной процедуры в общем случае необходимо решить задачу сокращения числа переборов компонентов программного обеспечения для получения оптимального набора. Решение может быть найдено за счет использования генетических алгоритмов. Они хорошо зарекомендовали себя в задачах многокритериальной оптимизации в области программных разработок: оптимизации усилий по разработке программного обеспечения [29, 30, 48]; оптимизации размещения вычислительных ресурсов [8, 17]; генерации оптимальных тестовых наборов данных [14, 39]; оценке [13] и повышении [23] надежности программного обеспечения; оптимизации разбиения программного обеспечения на модули [35]; при выборе приоритетов выпуска версий [28]; при разделении реализации функциональности выполняемых разработок на программную и аппаратную часть [45]; при рефакторинге программного обеспечения [41]; при решении задач управления проектами [12, 42] и человеческими ресурсами [49, 50]; в других задачах, в том числе связанных с разработкой сервисно-ориентированной архитектуры (SOA) web-сервисов с динамическим выбором компонентов с поддержкой QoS [21, 37, 47].

Целью данной работы является создание и экспериментальная апробация методики генетического поиска эффективного выбора компонентов ИС на основе экспериментальных оценок критериев качества.

Статья состоит из четырех разделов. В первом из них сформулирована постановка задачи. Во втором разделе приводится описание методики генетического поиска и конфигурации экспериментального стенда. В третьем разделе рассмотрены результаты генетического поиска эффективного выбора компонентов ИС на основе экспериментальных оценок. Четвертый раздел содержит обсуждение полученных результатов и завершает статью.

Постановка задачи. Пусть имеется набор $F = (f_1, \dots, f_n)$ требуемых функций ИС, каждую из которых можно реализовать с помощью альтернативных наборов компонентов фреймворка. Сопоставим каждой функции f_i набор альтернативных компонентов $d_i = q_1^i, \dots, q_{j-1}^i, q_j^i, q_{j+1}^i, \dots$, позволяющих реализовать данную функцию. Обозначим все такие наборы как $D = (d_1, \dots, d_n)$, а в виде Ω – множество всех возможных уникальных конфигураций фреймворка, соответствующих выбору по одной альтернативе q_j^i из каждого $d_i \in D$ для реализации каждой функции $f_i \in F$.

Обозначим как $\Psi \omega$, $\omega \in \Omega$ – экспериментально оцениваемый общий функционал, определяющий качество ИС:

$$\Psi \omega = \varepsilon \cdot \text{Round} \sum_{j=1}^{14} w_j R_j, \quad (1)$$

где частные критерии качества R_j для рассматриваемой задачи определены в таблице 1. Совокупность этих критериев, по мнению авторов, обладает свойством «необходимости и достаточности», позволяя эффективно различать получающиеся решения в процессе генетического поиска. Весовые коэффициенты w_j , задающие цели в области QoS, указаны в таблице 2. Величина ε – нормировочный множитель, в данном исследовании равный 0,1.

Таблица 1 – Критерии качества информационной системы

Обозначение	Критерий	Единица измерения
R_1	Время работы микропроцессора, затраченное на инициализацию эксперимента	мкс
R_2	Время работы микропроцессора, затраченное на исполнение системных функций в ходе инициализации эксперимента	мкс
R_3	Прирост утилизируемого объема оперативной памяти, отмечаемый по завершении инициализации эксперимента (включая heap, code, segment и stack)	байт
R_4	Прирост размера heap (кучи), отмечаемый по завершении инициализации эксперимента	байт
R_5	Прирост объема используемой heap (кучи), отмечаемый по завершении инициализации эксперимента	байт
R_6	Прирост объема памяти, используемой объектами C++, связанными с JavaScript объектами, отмечаемый по завершении инициализации эксперимента	байт
R_7	Реальное время, затраченное на инициализацию эксперимента	нс
R_8	Время работы микропроцессора, затраченное на эксперимент	мкс
R_9	Время работы микропроцессора, затраченное на исполнение системных функций в ходе эксперимента	мкс
R_{10}	Прирост утилизируемого объема оперативной памяти, отмечаемый по завершении эксперимента (включая heap, code, segment и stack)	байт
R_{11}	Прирост размера heap (кучи), отмечаемый по завершении эксперимента	байт
R_{12}	Прирост объема используемой heap (кучи), отмечаемый по завершении эксперимента	байт
R_{13}	Прирост объема памяти, используемой объектами C++, связанными с JavaScript объектами, отмечаемый по завершении эксперимента	байт
R_{14}	Реальное время, затраченное на эксперимент	нс

Таблица 2 – Весовые коэффициенты

Коэффициент	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
Значение	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-4}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-4}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-5}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-8}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-3}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-3}$
Коэффициент	w_{10}	w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{14}				
Значение	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-5}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-5}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-5}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-2}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$				

Необходимо определить эффективный набор компонентов ИС $\omega_{ef} \in \Omega$, решая задачу

$$\Psi \omega \rightarrow \min_{\omega \in \Omega}. \quad (2)$$

Методика экспериментальной оценки. Автоматизированная методика выбора эффективного набора компонентов ИС включает использование простого генетического алгоритма (ПГА) для генерации и экспериментальной оценки конфигураций.

Интеграция компонентов фреймворка реализована с помощью функционального подхода, что является наиболее удобным для комбинирования различных сочетаний. Каждая функция, используемая в ходе проводимого испытания, является своего рода программным интерфейсом, который реализуется с помощью одного из компонентов. Так как компоненты, как правило, предоставляют инструментарий, выходящий за рамки одной функции, то они могут использоваться для реализации нескольких функций. Применение одного компонента для выполнения целого ряда задач в общем случае является предпочтительным, так как это снижает объём необходимой оперативной памяти вычислительной системы. В таблице 3 показан набор используемых функций и компонентов, реализующих эти функции в вычислительном эксперименте.

На этапе инициализации производится вызов функций, задающих базовые настройки компонентов. Каждая из них формирует на выходе новую анонимную функцию [51, разд. 7.1.2], имеющую исключительный доступ к компоненту с заданными настройками. Далее анонимные функции помещаются в единое «пространство имён» с названиями, представленными в таблице 3. Для повышения надёжности получаемых результатов перед инициализацией производится очистка кэша компонентов Node.js.

Таблица 3 – Перечень используемых функций и компонентов

Функция	Компоненты, реализующие функцию	Описание
Filter	Lodash Underscore	Последовательно проверяет все элементы массива на предмет соответствия условию и возвращает массив, состоящий из элементов, для которых проверка дала значение «Истина»
First	Lodash Underscore	Возвращает первый элемент массива
FsRead	Fs-extra Fs	Считывает данные из файла
FsReaddir	Fs-extra	Считывает содержимое каталога, возвращая массив имен файлов и директорий в каталоге
FsReaddirRecursive	Recursive-readdir	Рекурсивно считывает содержимое каталога, возвращая массив имен файлов и директорий в каталоге
HashMD5	Hasha md5 Ts-md5	Вычисляет MD5-хеш от заданного набора данных
Map	Lodash Underscore Средства языка JavaScript	Применяет заданную функцию ко всем элементам массива, возвращая тем самым новый массив, состоящий из преобразованных элементов
PathResolve	Path	Формирует полный путь к файлу или директории на основе заданного массива элементов пути
StringReplace	Средства языка JavaScript	Находит и заменяет подстроку в переданной строке
ZipCompress	Adm-zip Jszip Zipit	Производит архивацию переданного массива файлов и возвращает сформированный Zip-архив

После инициализации начинается этап исполнения фрагмента кода. Для целей исследования используется следующий алгоритм.

1. Формируется путь к каталогу с набором вложенных папок.
2. Считывается список вложенных папок.
3. Исключаются скрытые папки (начинающиеся с символа «.»).
4. Для каждой папки формируется ее путь.
5. Для каждого пути выполняется следующее:
 - 5.1 Рекурсивно считывается весь список вложенных файлов.
 - 5.2 Все файлы считываются с диска и загружаются в оперативную память.
 - 5.3 Производится создание Zip-архива в оперативной памяти.
 - 5.4 Вычисляется MD5-хеш от созданного архива.

После процедур инициализации и исполнения фрагмента кода генерируется json-файл results.json. Он содержит исходные данные для расчета функционала (1). Получение этих данных осуществляется через интерфейс объекта process фреймворка Node.js.

Для численного представления конфигураций вводится отображение кодирования $G: \Omega \rightarrow \Lambda \subseteq \mathbb{N}^n$. Таким образом, каждой конфигурации $\omega \in \Omega$, называемой фенотипом, соответствует натуральный набор $\zeta = G(\omega)$, $\omega \in \Omega, \zeta \in \Lambda \subseteq \mathbb{N}^n$, называемый генотипом. В процессе работы ПГА генотипы представляются как

$$\zeta_p^k = \alpha_{1p}^k \dots \alpha_{n_p}^k, k = 1.. \Theta_p,$$

где каждая $\alpha_{i_p}^k$ принимает значения от 1 до d_i , соответствующие порядковому номеру выбранной альтернативы из d_i ; Θ_p – множество генотипов (популяция особей), принадлежащих p -му поколению. Вводится также обратное отображение $G^{-1}: \Lambda \rightarrow \Omega$, осуществляющее преобразование генотипа конфигурации в соответствующий ему фенотип. С учетом введенных обозначений $\Psi(\omega)$ можно рассматривать как функцию приспособленности ПГА, а исходная задача (2) сводится к задаче

$$\Psi(\omega) \rightarrow \min_{\omega \in \{G^{-1}(\zeta), \zeta \in \Theta_{term}\}}, \quad (3)$$

где Θ_{term} – последняя популяция решений перед остановкой ПГА.

Алгоритм генетического поиска при решении задачи (3) выглядит следующим образом.

1. *Создание начальной популяции*: присвоить $p = 1$; создать N случайных генотипов решений, составляющих начальную популяцию $\Theta_1 = \{\zeta_1^1, \zeta_1^2, \dots, \zeta_1^N\}$, для каждого ζ_1^j определить соответствующий выбор компонентов фреймворка $\omega_1^j = G^{-1}(\zeta_1^j)$, произвести вычислительный эксперимент и рассчитать

вектор значений функционала качества (1) для всех особей популяции $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)$, $\mu_i = \Psi(\omega_1^j)$; определить $\mu_{\min} = \min_{j=1,N} \mu_j$.

2. *Начало создания нового поколения*: присвоить $k = 1$.

3. *Селекция особи в новое поколение*: присвоить $p = p + 1$; заданным методом отбора выбрать решение ζ_p^k .

4. *Кроссинговер*: заданным методом отбора выбрать из популяции второе решение $\zeta_p^{''k}$. С вероятностью P_k скрестить особи ζ_p^k и $\zeta_p^{''k}$ оператором кроссинговера. Обозначить результат (потомок) ζ_p^k .

5. *Мутация*: с вероятностью P_M подействовать на особь ζ_p^k оператором мутации.

6. *Выбрать следующую особь*: присвоить $k = k + 1$; в случае $k = N$ – перейти к шагу 7, в противном случае – к шагу 3.

7. *Выбор элитарной особи*: из популяции Θ_p отбирается особь ζ_p^i с наименьшим значением функции функционала качества $\mu_i = \min_{j=1,N} \mu_j$

8. *Создание нового поколения*: из отобранных ранее особей создать популяцию $\Theta_{p+1} = \{\zeta_p^1, \zeta_p^2, \dots, \zeta_p^N\}$; для каждого ζ_p^j определить соответствующий выбор компонентов фреймворка $\omega_p^j = G^{-1} \zeta_p^j$, произвести эксперимент и рассчитать вектор значений функционала качества (1) популяции $\mu' = (\mu'_1, \mu'_2, \dots, \mu'_N)$, $\mu'_i = \Psi(\omega_p^j)$; определить $\mu_{\min} = \min_{j=1,N} \mu_j$.

9. *Проверка условия завершения алгоритма*: если условие завершения алгоритма не выполнено – переход к шагу 3, в противном случае выдать решение, соответствующее $\mu_{\min}$ в качестве ответа, и завершить работу алгоритма.

В качестве оператора отбора в общем случае может использоваться турнирная селекция, метод рулетки, метод ранжирования, равномерное ранжирование, сигма-отсечение и модификации этих методов [9].

При кроссинговере (скрещивании) создается новая особь путем обмена подмножествами параметров между двумя родительскими особями [3]. Оператор мутации изменяет генотип особи заранее определенным образом [5].

При решении задач с целочисленными ограничениями для получения целых значений генов используются специальные генетические операторы, рассмотренные подробно в [18].

Остановка алгоритма может осуществляться при достижении предельного количества поколений; при достижении предельного количества стагнирующих поколений (лучшее значение функционала качества в этих поколениях не меняется); при разности между средними по популяции значениями функционала качества двух последовательных поколений меньше установленного порога; при уменьшении выхода за пределы граничных условий до установленного минимального порога; по запросу пользователя; в других случаях, определяемых разработчиком.

Для реализации ПГА при решении задачи (3) используется компонент ga, входящий в состав пакета Global Optimization Toolbox системы MATLAB. Эксперимент осуществляется на виртуальной машине под управлением Ubuntu 16.04 LTS, в которой развернут фреймворк Node.js 10.15.3. Создание виртуальной машины осуществляется с помощью средства конфигурирования виртуальной среды разработки Vagrant. В качестве основной (Хост) операционной системы также используется Ubuntu 16.04 LTS, в которой установлена система MATLAB R2018a. Использование виртуальной машины помогает обеспечить воспроизводимость вычислительного эксперимента, избежать неучтенного изменения параметров, сократить влияние других случайных факторов на результаты эксперимента.

При запуске виртуальной машины осуществляется считывание json-файла functions.json, генерируемого MATLAB-программой, осуществляющей генетический поиск. Файл functions.json является json-представлением исследуемой конфигурации $\omega_i = G^{-1} \zeta_i$ и задает набор используемых альтернативных компонентов Node.js для проведения испытаний, состоящих из двух основных этапов: инициализации компонентов и исполнения заданного фрагмента кода.

Методика проведения экспериментального исследования представлена в виде схемы на рисунке 1. Конфигурация экспериментального стенда приведена в таблице 4.

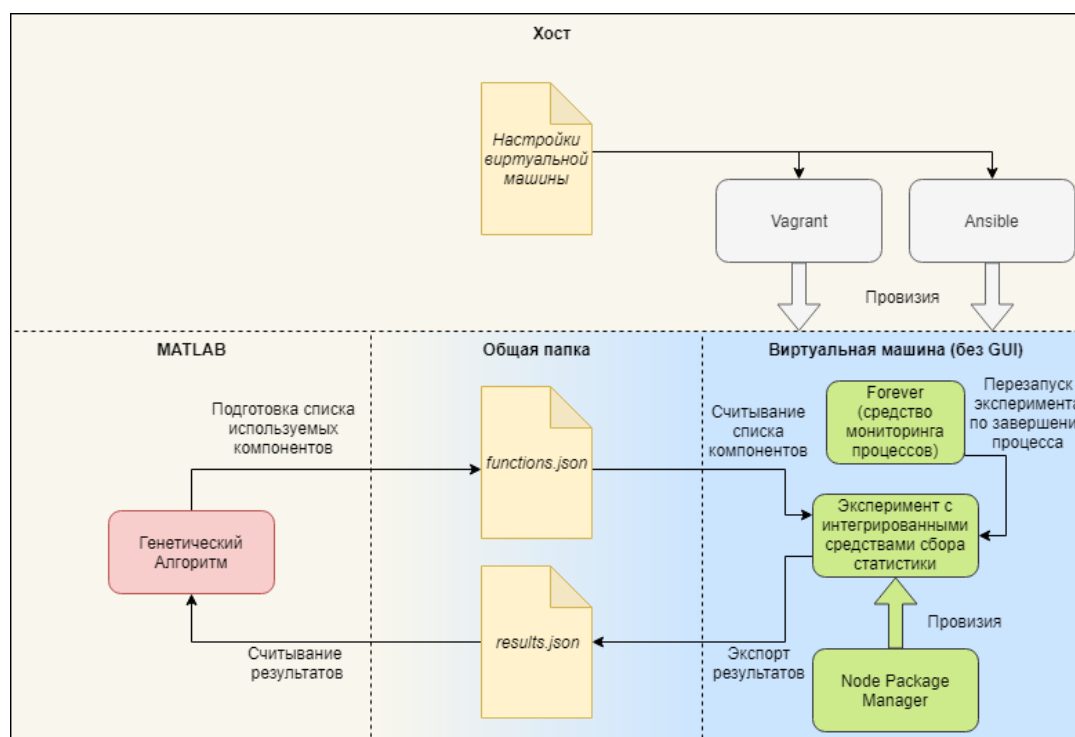


Рисунок 1 – Методика проведения экспериментального исследования

Таблица 4 – Конфигурация экспериментального стенда

Параметр	Значение
Микропроцессор	Intel® Core™ i7-7700
Количество ядер	4
Логических процессоров	8
Тактовая частота	3,60 ГГц
Оперативная память	12,0 ГБ
Операционная система (Хост)	Ubuntu 16.04 LTS
Версия MATLAB	R2018a
Версия Vagrant	2.2.4
Версия Node.js	10.15.3
Параметры виртуальной машины	2 ядра процессора 2,0 ГБ ОЗУ Ubuntu 16.04 LTS
Используемое средство провизии	Ansible
Используемые средства обмена файлами с виртуальной машиной	NFS-сервер + BindFS внутри виртуальной машины
Установленное дополнительное системное программное обеспечение	– git – make – htop – iotop – rsync – node-gyp

Целочисленные ограничения [40]	Все гены принимают целые значения
Оператор отбора особей генетического алгоритма	Турнирная селекция одного из двух потенциальных родителей [18]
Оператор мутации генетического алгоритма	Extended power mutation [18]
Оператор скрещивания генетического алгоритма	Laplace crossover [18]
Вероятность мутации P_M	0,01
Вероятность скрещивания P_K	0,8
Количество отбираемых элитных особей (EliteCount)	1
Размер популяции (PopulationSize, N)	20
Предельное количество поколений	100
Предельное количество stagnирующих поколений	10
Порог изменения среднего значения функционала качества (FunctionTolerance)	$1 \cdot 10^{-6}$
Порог нарушения граничных условий (ConstraintTolerance)	$1 \cdot 10^{-3}$

Результаты и обсуждение. В результате реализации 13 поколений генетического поиска было найдено решение задачи (3), соответствующее значению функционала качества 0,6. Среднее значение функционала качества в терминальном поколении составило 0,805. Генетический поиск занял 78 секунд и завершился по условию снижения среднего изменения функционала качества между поколениями ниже установленного порога (FunctionTolerance). Экспериментальные замеры для терминального поколения генетического поиска представлены в таблице 5, эффективное решение идентифицировано в таблице 6.

Таблица 5 – Взвешенные экспериментальные замеры и значение $\Psi \omega$ в терминальном поколении

№ особи, i	$w_1 R_1$	$w_2 R_2$	$w_3 R_3$	$w_4 R_4$	$w_5 R_5$	$w_6 R_6$	$w_7 R_7$	$w_8 R_8$
1	0,6667	0	0,2621	1,5729	0,192	0,2496	0,1633	1,3333
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0	0	0,5718	0,32	1,5696	0,7	
2	0,5333	0,2667	0,2594	1,5729	0,1869	0,2222	0,1444	1,3333
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,7919	0	0,5663	0,32	1,3938	0,8	
3	0,8	0	0,2567	1,7476	0,1779	0,2234	0,1481	0
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0	0	0,5587	0,32	1,3775	0,6	
4	0,8	0,2667	0,2567	1,7476	0,1864	0,2496	0,2468	1,3333
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	1,693	0	1,4314	0,32	2,2832	1,1	
5	0,5333	0,1333	0,3427	1,7476	0,2139	0,2467	0,142	1,3333
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0	0	0,5757	0,32	1,3925	0,7	
6	0,5333	0,1333	0,3168	1,7476	0,2244	0,2739	0,1439	1,3333
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,7919	0	0,5579	0,32	1,4382	0,8	
7	0,5333	0,2667	0,3441	2,0972	0,2251	0,2693	0,1868	1,3333
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0	0	0,5668	0,32	1,5438	0,8	
8	0,6667	0,1333	0,2567	1,7476	0,2193	0,2498	0,1582	1,3333
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Phi \zeta_i$	
	0	0,7919	0	0,5681	0,32	1,3952	0,8	
9	0,6667	0	0,2567	1,7476	0,1982	0,2231	0,1375	1,3333
	$w_9 R_9$	$w_{10} R_{10}$	$w_{11} R_{11}$	$w_{12} R_{12}$	$w_{13} R_{13}$	$w_{14} R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,7919	0	0,5709	0,32	1,5125	0,8	

10	0,4	0,2667	0,3386	2,2719	0,2448	0,2524	0,1661	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0	0	0,5713	0,32	1,6003	0,8	
11	0,6667	0,1333	0,4328	1,7476	0,2954	0,2483	0,1403	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0	0	0,5672	0,32	1,5009	0,7	
12	0,6667	0	0,2526	1,7476	0,2129	0,2696	0,1335	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,8329	0	0,5755	0,32	1,4342	0,8	
13	0,9333	0,1333	0,2649	1,9224	0,24	0,2773	0,6127	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,7782	0	0,5654	0,32	1,6094	0,9	
14	0,6667	0,1333	0,3427	1,3981	0,2127	0,25	0,1535	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0	0	0,5803	0,32	1,5205	0,7	
15	0,6667	0,1333	0,3509	1,5729	0,2207	0,2522	0,1335	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,8055	0	1,4403	0,32	2,1216	0,9	
16	0,6667	0	0,2567	1,3981	0,2045	0,248	0,1943	2,6667
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,8055	0	0,5747	0,32	2,2553	1	
17	0,8	0	0,3441	1,5729	0,2145	0,2517	0,1496	0
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	1,3333	0,7919	0	0,5797	0,32	1,5925	0,8	
18	0,6667	0	0,2553	1,7476	0,1877	0,2231	0,127	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,7919	0	0,5715	0,32	1,4226	0,8	
19	0,6667	0,1333	0,3536	1,9224	0,24	0,2505	0,1878	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,7509	0	0,5582	0,32	1,4831	0,8	
20	0,8	0	0,2553	1,7476	0,1929	0,2227	0,1326	1,3333
	w_9R_9	$w_{10}R_{10}$	$w_{11}R_{11}$	$w_{12}R_{12}$	$w_{13}R_{13}$	$w_{14}R_{14}$	$\Psi \omega$	
	0	0,7919	0	0,558	0,32	1,4395	0,8	

Таблица 6 – Найденное эффективное решение

Генотип	Фенотип	
	Функция	Компонент
[2 3 2 1 1 1 2 1 1 1]	Filter	Underscore
	Map	Underscore
	First	Underscore
	PathResolve	Средства языка JavaScript
	StringReplace	Средства языка JavaScript
	ZipCompress	Adm-zip
	HashMD5	Md5
	FsRead	Fs-extra
	FsReaddir	Fs-extra
	FsReaddirRecursive	Recursive-readdir

График эволюции решений, показывающий уменьшение «значения величины штрафа», представлен на рисунке 2.

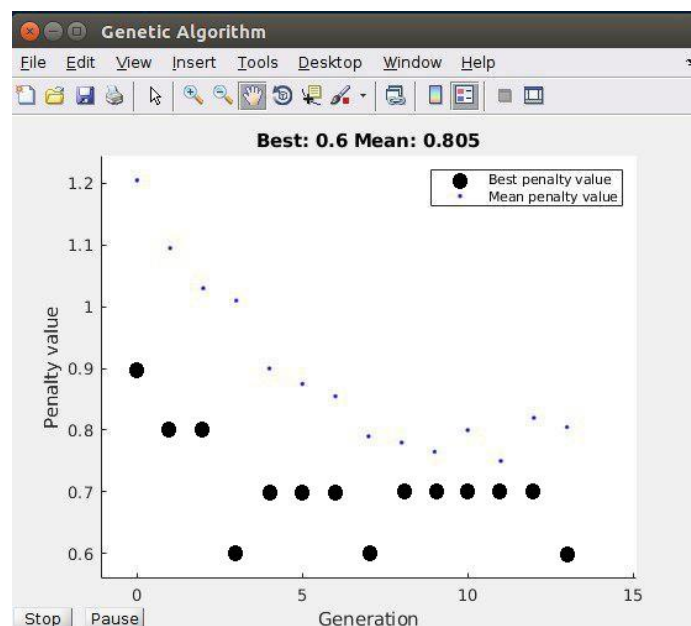


Рисунок 2 – График генетического поиска. Generation – номер поколения. Penalty value – значения функционала $\Psi \omega$. Best penalty value – минимальное значение $\Psi \omega$ в поколении. Mean penalty value – среднее значение $\Psi \omega$ в поколении

Необходимо отметить, что в процессе генетического поиска достаточно быстро появилась лучшая конфигурация с значением $\Psi \omega = 0,6$. Данная конфигурация выбиралась в следующее поколение как элитарная (см. шаг 7 Алгоритма генетического поиска, приведенного в разделе «Методика экспериментальной оценки»).

Однако при дальнейших прогонах значение $\Psi \omega = 0,6$ не удавалось получить вновь, что видно на графике (рис. 2). Данная «колебательность» объясняется неустраняемым шумом измерений, вызванным небольшими вариациями реального времени исполнения одного и того же процесса машиной, общие причины которых рассмотрены в [16]. Однако генотип лучшего решения из поколения в поколение начинает все больше преобладать (это видно по убыванию среднего значения функционала) и идентификация решения все равно происходит. Причина – увеличивается количество вычислительных экспериментов, приходящихся на лучший генотип, что нивелирует случайные факторы в оценке этого генотипа.

Заключение. Создана методика эффективного выбора компонентов ИС на основе экспериментальных оценок критериев и генетического алгоритма. Методика апробирована в задаче поиска эффективного выбора компонентов Node.js для реализации определенного набора функций в соответствии с заданным функционалом качества. Указаны конфигурация и параметры экспериментального стенда, параметры работы генетического алгоритма. Сформулирован функционал качества, позволяющий учесть вклад набора из 14-ти экспериментально оцениваемых критериев в общую оценку эффективности выбора компонентов информационной системы. Приведены экспериментальные оценки критериев эффективности для терминального поколения генетического поиска. Идентифицирован эффективный выбор компонентов рассматриваемой ИС.

Библиографический список

1. Ахтырченко К. В. Методы и технологии реинжиниринга ИС / К. В. Ахтырченко, Т. П. Сорокваша // Труды Института системного программирования РАН. – 2003. – Т. 4. – С. 141–162.
2. Браун И. Веб-разработка с применением Node и Express. Полноценное использование стека JavaScript / Итан Браун. – Санкт-Петербург, 2017. – 336 с.
3. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы : учебное пособие / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – 2-е изд. – Москва : Физматлит, 2006.
4. Горбунов-Посадов М. М. Расширяемые программы / М. М. Горбунов-Посадов. – Москва : Полиптих, 1999. – 336 с.
5. Емельянов В. В. Теория и практика эволюционного моделирования / В. В. Емельянов, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – Москва : Физматлит, 2003. – 432 с.
6. Ильин Д. Ю. Проведение воспроизводимых экспериментов по оценке эффективности работы компонентов программного обеспечения / Д. Ю. Ильин, А. А. Гусев // Прикладные исследования и технологии ART 2019 : сб. тр. регион. конф. – Москва : МТИ, 2019. – С. 54–56.

7. Ильин Д. Ю. Выбор технологических решений для разработки программного обеспечения распределенных информационных систем / Д. Ю. Ильин, Е. В. Никульчев, П. В. Колясников // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14, № 2. – С. 344–354.
8. Патент US5651099A США. Use of a genetic algorithm to optimize memory space / изобретатель Shane Konsella ; правообладатель Hewlett Packard Development Co LP. – 1995.
9. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – 2-е изд. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2008. – 452 с.
10. Фаронов В. В. Создание приложений с помощью C# / В. В. Фаронов. – Москва : Горячая линия – Телеком ЭКСМО, 2008. – 576 с.
11. A comparison of the performance of a few popular javascript frameworks. – Режим доступа: <https://github.com/krausest/js-framework-benchmark>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
12. Alba E. Software project management with GAs / Enrique Alba, J. Francisco Chicano // Information Science. – 2007. – Vol. 177, № 11. – P. 2380–2401.
13. Aljahdali S. H. Software reliability prediction using multi-objective genetic algorithm / Sultan H. Aljahdali, Mohammed E. El-Telbany // 2009 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications / IEEE. – Rabat, 2009. – P. 293–300.
14. Bouchachia A. An Immune Genetic Algorithm for Software Test Data Generation / Abdelhamid Bouchachia // 7th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS 2007). – Kaiserslautern, Germany : IEEE, 2007. – P. 84–89.
15. Collection: Front-end JavaScript frameworks. – Режим доступа: <https://github.com/collections/front-end-javascript-frameworks>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
16. CPU-Time Variation. – Режим доступа: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLTBW_2.3.0/com.ibm.zos.v2r3.ieag200/cputvari.htm, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
17. Dai Y. S. Optimal testing-resource allocation with genetic algorithm for modular software systems / Y. S. Dai, M. Xie, Poh K. L., Yang B. // Journal of Systems and Software. – 2003. – Vol. 66, № 1. – P. 47–55.
18. Deep K. A real coded genetic algorithm for solving integer and mixed integer optimization problems / Kusum Deep, Krishna Pratap Singh, M. L. Kansal, C. Mohan // Applied Mathematics and Computation. – 2009. – № 212. – P. 505–518.
19. Difference Between Library and Framework. – Режим доступа: <https://www.c-sharpcorner.com/UploadFile/a85b23/framework-vs-library/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
20. Documentation: TypeScript. – Режим доступа: <http://www.typescriptlang.org/docs/home.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
21. Fanjiang Y.-Y. Genetic algorithm for QoS-aware dynamic web services composition / Y.-Y. Fanjiang [и др.] // 2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Qingdao. – IEEE, 2010. – P. 3246–3251.
22. Fedosejev A. React.js essentials / A. Fedosejev. – Packt Publishing, 2015. – 208 p.
23. Feldt R. Generating diverse software versions with genetic programming: an experimental study / R. Feldt // IEEE Proceedings – Software. – 1998. – Vol. 145, № 6. – P. 228–236.
24. Filipova O. Learning Vue.js 2 Learn how to build amazing and complex reactive web applications easily with Vue.js / O. Filipova. – Packt Publishing Ltd, 2016. – 334 p.
25. Frisbie M. Angular 2 Cookbook / M. Frisbie. – Packt Publishing, 2017. – 464 p.
26. GrapeCity Wijmo | Take the SPEC Quiz. – Режим доступа: <https://www.grapacity.com/en/spec>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
27. Green B. AngularJS / B. Green, S. Seshadri – O'Reilly Media, 2013. – 196 p.
28. Greer D. Software release planning: an evolutionary and iterative approach / D. Greer, G. Ruhe // Information and Software Technology. – 2004. – Vol. 46, № 4. – P. 243–253.
29. Huang S.-J. Optimization of analogy weights by genetic algorithm for software effort estimation / S.-J. Huang, N.-H. Chiu // Information and Software Technology. – 2006. – Vol. 48, № 11. – P. 1034–1045.
30. Huang S.-J. Integration of the grey relational analysis with genetic algorithm for software effort estimation / S.-J. Huang, N.-H. Chiu, L.-W. Chen // European Journal of Operational Research. – 2008. – Vol. 188, № 3. – P. 898–909.
31. InversionOfControl. – Режим доступа: <https://martinfowler.com/bliki/InversionOfControl.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
32. Javascript Framework Comparison with Examples (React, Vue & Hyperapp). – Режим доступа: <https://hackernoon.com/javascript-framework-comparison-with-examples-react-vue-hyperapp-97f064fb468d>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
33. JavaScript Frameworks, Performance Comparison [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.codementor.io/aminmeyghani/javascript-frameworks-performance-comparison-ntkw9sn66>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 16.04.2019).
34. JS web frameworks benchmark – Round 7. – Режим доступа: <https://www.stefankrause.net/wp/?p=454>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
35. Kumari A. C. Software module clustering using a hyper-heuristic based multi-objective genetic algorithm / A. Charan Kumari, K. Srinivas, M. P. Gupta // 2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC). – IEEE, 2013. – P. 813–818.
36. Lun L. Coverage Criteria for Component Path-oriented in Software Architecture / Lijun Lun, Xin Chi, Hui Xu // Engineering Letters. – 2019. – Vol. 27, № 1. – P. 40–52.
37. Ma Y. Quick convergence of genetic algorithm for QoS-driven web service selection / Y. Ma, C. Zhang // Computer Networks. – 2008. – Vol. 52, № 5. – P. 1093–1104.

38. Macrae C. Vue.js: Up and Running / C. Macrae. – O'Reilly, 2017. – 219 p.
39. Michael C. C. Generating software test data by evolution / C. C. Michael, G.E. McGraw, M. A. Schatz // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2001. – Vol. 27, № 12. – P. 1085–1110.
40. Mixed Integer Optimization – MATLAB & Simulink. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/gads/mixed-integer-optimization.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.04.2019).
41. Ouni A. The use of development history in software refactoring using a multi-objective evolutionary algorithm / Ali Ouni, Marouane Kessentini, Houari Sahraoui, Mohamed Salah Hamdi // Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation (GECCO '13). Christian Blum (Ed.). – ACM, 2013. – P. 1461–1468
42. Reddy J. P. Application of Petri Nets and a Genetic Algorithm to Multi-Mode Multi-Resource Constrained Project Scheduling / J. Prashant Reddy, S. Kumanan, O.V. Krishnaiah Chetty // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2001. – Vol. 17, № 4. – P. 305–314.
43. Robbestad S. A. ReactJS blueprints / S. A. Robbestad. – Packt Publishing, 2016. – 422 p.
44. Ruebhelke L. AngularJS in Action / L. Ruebhelke, B. Ford. – Manning Publications, 2015. – 325 p.
45. Saha D. Hardware software partitioning using genetic algorithm / D. Saha, R. S. Mitra, A. Basu // Proceedings Tenth International Conference on VLSI Design. – IEEE, 1997. – P. 155–160.
46. Seshadri S. Angular: Up and running: Learning angular, step by step / S. Seshadri. – O'Reilly Media, 2018. – 312 p.
47. Shuang K. TTS-Coded Genetic Algorithm for QoS-driven web service selection / K. Shuang [и др.] // 2009 IEEE International Conference on Communications Technology and Applications. – IEEE, 2009. – P. 885–890.
48. Shukla K. K. Neuro-genetic prediction of software development effort / K. K. Shukla // Information and Software Technology. – 2000. – Vol. 42, № 10. – P. 701–713.
49. Stylianou C. A Multi-objective Genetic Algorithm for Software Development Team Staffing Based on Personality Types / Constantinos Stylianou, Andreas S. Andreou // Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology. – Springer, 2012. – Vol. 381. – P. 37–47.
50. Wena F. Multistage Human Resource Allocation for Software Development by Multiobjective Genetic Algorithm / F. Wena, C.-M. Lin // The Open Applied Mathematics Journal. – 2008. – Vol. 2. – P. 95–103.
51. Flanagan D. JavaScript: The Definitive Guide, 4th Edition / David Flanagan. – O'Reilly, 2001. – 936 p.

References

1. Aktyrchenko K.V., Sorokvasha T.P. Metody i tekhnologii reinzhiniringa IS [Methods and technologies of information system reengineering]. *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniia RAN* [Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS], 2003, vol. 4, pp. 141–162.
2. Brown E. *Veb-razrabotka s primeneniem Node i Express. Polnotsennoe ispolzovanie steka JavaScript* [Web Development with Node and Express. Leveraging the JavaScript Stack]. St. Petersburg, 2017. 336 p.
3. Gladkov L. A., Kureichik V. V., Kureichik V. M. *Geneticheskie algoritmy : uchebnoe posobie* [Genetic algorithms : tutorial]. 2-nd ed. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 320 p.
4. Gorbunov-Posadov M. M. *Rasshiriaemye programmy* [Expandable programs]. Moscow, Poliptikh Publ., 1999. 336 p.
5. Emelianov V. V., Kureichik V. V., Kureichik V. M. *Teoriia i praktika evoliutsionnogo modelirovaniia* [Theory and practice of evolutionary modelling]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 432 p.
6. Ilin D. Iu., Gusev A. A. Provedenie vosproizvodimyykh eksperimentov po otsenke effektivnosti raboty komponentov programmnoho obespecheniia [Conducting reproducible experiments to assess the effectiveness of operation of software components]. *Prikladnye issledovaniia i tekhnologii ART 2019 : sbornik trudov regional'noy konferentsii* [Applied research and technologies ART 2019 : Proceedings of the Regional Conference]. Moscow, MTI Publ., 2019, pp. 54–56.
7. Ilin D. Iu., Nikulchev E. V., Koliashnikov P. V. Vybor tekhnologicheskikh reshenii dlya razrabotki programmnoho obespecheniia raspredelennykh informatsionnykh sistem [Choice of technological solutions for developing distributed information systems software]. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie* [Modern Information Technologies and IT-Education], 2018, vol. 14, no. 2, pp. 344–354.
8. Patent US5651099A USA. Use of a genetic algorithm to optimize memory space. Inventor Shane Konsella; declarer HP Inc; current assignee Hewlett Packard Development Co LP, 1995.
9. Rutkovskaya D., Pilinskiy M., Rutkovskiy L. *Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. 2nd ed., Moscow, Goriachaia liniya – Telekom Publ., 2008. 452 p.
10. Faronov V. V. *Sozdanie prilozheniy s pomoshchiyu C#* [Building applications with C#]. Moscow, EKSMO Publ., 2008. 576 p.
11. *A comparison of the performance of a few popular javascript frameworks*. Available at: <https://github.com/krausest/js-framework-benchmark> (accessed 16.04.2019).
12. Alba E., Chicano J. F. Software project management with GAs. *Information Science*, 2007, vol. 177, issue 11, pp. 2380–2401.
13. Aljahdali S. H., El-Telbany M. E. Software reliability prediction using multi-objective genetic algorithm. *IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications*. Rabat, IEEE, 2009, pp. 293–300.
14. Bouchachia A. An Immune Genetic Algorithm for Software Test Data Generation. *7th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS 2007)*. Kaiserlautern, Germany, IEEE, 2007, pp. 84–89.
15. *Collection: Front-end JavaScript frameworks*. Available at: <https://github.com/collections/front-end-javascript-frameworks> (accessed 16.04.2019).
16. *CPU-Time Variation*. Available at: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLTBW_2.3.0/com.ibm.zos.v2r3.ieag200/cputvari.htm (accessed 16.04.2019).
17. Dai Y. S., Xie M., Poh K. L., Yang B. Optimal testing-resource allocation with genetic algorithm for modular software systems. *Journal of Systems and Software*, 2003, vol. 66, no. 1, pp. 47–55.

18. Deep K. et al. A real coded genetic algorithm for solving integer and mixed integer optimization problems. *Applied Mathematics and Computation*, 2009, no. 212, pp. 505–518.
19. *Difference Between Library and Framework*. Available at: <https://www.c-sharpcorner.com/UploadFile/a85b23/framework-vs-library/> (accessed 16.04.2019).
20. *Documentation : TypeScript*. Available at: <http://www.typescriptlang.org/docs/home.html> (accessed 16.04.2019).
21. Fanjiang Y.-Y. et al. Genetic algorithm for QoS-aware dynamic web services composition. *2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Qingdao, IEEE, 2010, pp. 3246–3251.
22. Fedosejev A. *React.js essentials*. Packt Publishing, 2015. 208 p.
23. Feldt R. Generating diverse software versions with genetic programming: an experimental study. *IEEE Proceedings – Software*, 1998, vol. 145, no. 6, pp. 228–236.
24. Filipova O. *Learning Vue.js 2 Learn how to build amazing and complex reactive web applications easily with Vue.js*. Packt Publishing Ltd, 2016. 334 p.
25. Frisbie M. *Angular 2 Cookbook*. Packt Publishing, 2017. 464 p.
26. *GrapeCity Wijmo | Take the SPEC Quiz*. Available at: <https://www.grapecity.com/en/spec> (accessed 16.04.2019).
27. Green B., Seshadri S. *AngularJS*. O'Reilly Media, 2013. 196 p.
28. Greer D., Ruhe G. Software release planning: an evolutionary and iterative approach. *Information and Software Technology*, 2004, vol. 46, no. 4, pp. 243–253.
29. Huang S.-J., Chiu N.-H. Optimization of analogy weights by genetic algorithm for software effort estimation. *Information and Software Technology*, 2006, vol. 48, issue 11, pp. 1034–1045.
30. Huang S.-J., Chiu N.-H., Chen L.-W. Integration of the grey relational analysis with genetic algorithm for software effort estimation. *European Journal of Operational Research*, 2008, vol. 188, no. 3, pp. 898–909.
31. *InversionOfControl*. Available at: <https://martinfowler.com/bliki/InversionOfControl.html> (accessed 16.04.2019).
32. *Javascript Framework Comparison with Examples (React, Vue & Hyperapp)*. Available at: <https://hackernoon.com/javascript-framework-comparison-with-examples-react-vue-hyperapp-97f064fb468d> (accessed 16.04.2019).
33. *JavaScript Frameworks, Performance Comparison*. Available at: <https://www.codementor.io/aminmeyghani/javascript-frameworks-performance-comparison-ntkw9sn66> (accessed 16.04.2019).
34. *JS web frameworks benchmark – Round 7*. Available at: <https://www.stefankrause.net/wp/?p=454> (accessed 16.04.2019).
35. Kumari A. C., Srinivas K., Gupta M. P. Software module clustering using a hyper-heuristic based multi-objective genetic algorithm. *2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*. Ghaziabad, IEEE, 2013, pp. 813–818.
36. Lun L. et al. Coverage Criteria for Component Path-oriented in Software Architecture. *Engineering Letters*, 2019, vol. 27, no. 1, pp. 40–52.
37. Ma Y., Zhang C. Quick convergence of genetic algorithm for QoS-driven web service selection. *Computer Networks*, 2008, vol. 52, no. 5, pp. 1093–1104.
38. Macrae C. *Vue.js: Up and Running*. O'Reilly, 2017. 219 p.
39. Michael C. C., McGraw G. E., Schatz M. A. Generating software test data by evolution. *Software Engineering IEEE Transactions on*, 2001, vol. 27, no. 12, pp. 1085–1110.
40. *Mixed Integer Optimization – MATLAB & Simulink*. Available at: <https://www.mathworks.com/help/gads/mixed-integer-optimization.html> (accessed 16.04.2019).
41. Ouni A., Kessentini M., Sahraoui H., Hamdi M. S. The use of development history in software refactoring using a multi-objective evolutionary algorithm. *Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation (GECCO '13)*, Christian Blum (Ed.). New York, ACM, 2013, pp. 1461–1468.
42. Reddy J. P., Kumanan S., Chetty O. V. K. Application of Petri Nets and a Genetic Algorithm to Multi-Mode Multi-Resource Constrained Project Scheduling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2001, vol. 17, no. 4, pp. 305–314.
43. Robbestad S. A. *ReactJS blueprints*. Packt Publishing, 2016. 422 p.
44. Ruebberke L., Ford B. *AngularJS in Action*. Manning Publications, 2015. 325 p.
45. Saha D., Mitra R. S., Basu A. Hardware software partitioning using genetic algorithm. *Proceedings Tenth International Conference on VLSI Design*. Hyderabad, India, IEEE, 1997.
46. Seshadri S. *Angular: Up and running: Learning angular, step by step*. O'Reilly Media, 2018. 312 p.
47. Shuang K. et al. TTS-Coded Genetic Algorithm for QoS-driven web service selection. *2009 IEEE International Conference on Communications Technology and Applications*. IEEE, 2009, pp. 885–890.
48. Shukla K. K. Neuro-genetic prediction of software development effort. *Information and Software Technology*, 2000, vol. 42, no. 10, pp. 701–713.
49. Stylianou C., Andreou A. S. A Multi-objective Genetic Algorithm for Software Development Team Staffing Based on Personality Types. *Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2012, vol. 381, pp. 37–47.
50. Wena F., Lin C.-M. Multistage Human Resource Allocation for Software Development by Multiobjective Genetic Algorithm. *The Open Applied Mathematics Journal*, 2008, vol. 2, pp. 95–103.
51. Flanagan D. *JavaScript: The Definitive Guide*. 4th ed. O'Reilly, 2001. 936 p.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.056.52

АНАЛИЗ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СХЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕКРЕТА ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ХРАНЕНИЯ КЛЮЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Статья поступила в редакцию 31.03.2019, в окончательной варианте – 17.04.2019.

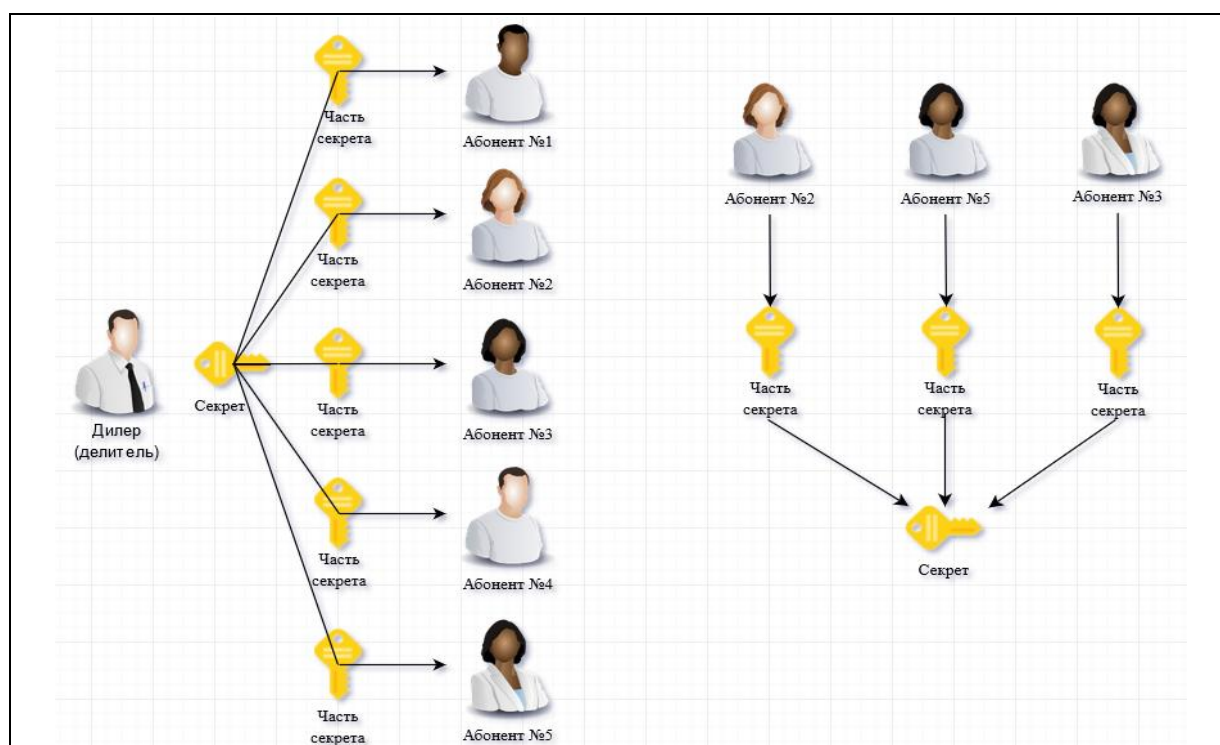
Носиров Зафаржон Амрулович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
магистрант, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6858-1241>, https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=964195, e-mail: nosirovzafar@outlook.com

Щербинина Оксана Владимировна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
кандидат технических наук, доцент, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=159547, e-mail: oksana@asu.edu.ru

В современных информационных системах организаций хранится и обрабатывается большой объем данных, защита которых предусматривает использование ключевой информации. В большинстве случаев в роли ключевой информации выступают различные пароли административного доступа, пин-коды и т.д. В случае их потери доступ к информационным системам может быть утрачен. Поэтому задачи безопасного хранения/восстановления ключевой информации являются актуальными. В статье рассмотрены основные способы решения проблем, связанных с утратой ключевой информации и ее восстановлением: резервное копирование и хранение копий в различных местах; доверительное хранение ключевой информации несколькими абонентами; использование протоколов криптографического разделения секрета. Выявлено, что наиболее эффективным решением рассматриваемой проблемы является применение протоколов криптографического разделения секрета. Рассмотрены современные виды компьютерных атак на данные протоколы. Также проанализированы пороговые схемы разделения секрета, которые являются основой протоколов криптографического разделения секрета. Анализ пороговых схем проведен на основе таких параметров: совершенность, идеальность, ресурсоемкость, оценка сложности вычисления алгоритма. Выявлено, что пороговая схема Шамира является совершенной, идеальной и менее ресурсоемкой по сравнению с другими вариантами. Поэтому она может быть рекомендована как предпочтительный вариант решения задач хранения и восстановления ключевой информации.

Ключевые слова: схемы разделения секрета, разделение ключей, пороговые схемы разделения секрета, ключевая информация, восстановление ключевой информации, схема Шамира

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ANALYSIS OF CRYPTOGRAPHIC SECRET SHARING SCHEMES
FOR BACKING UP KEY INFORMATION

The article was received by editorial board on 31.03.2019, in the final version – 17.04.2019.

Nosirov Zafarzhon A., Astrakhan State University, 20a Tatishev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, undergraduate student, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6858-1241>, https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=964195, e-mail: nosirovzafar@outlook.com

Shcherbinina Oksana V., Astrakhan State University, 20a Tatishev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=159547, e-mail: oksana@asu.edu.ru

Modern information systems of organizations store and process a large amount of data, which protection involves the used key information. In most cases, different passwords, PIN codes, etc., are used as key information. If they are lost, access to information systems may be lost. Therefore, the tasks of safe storage/recovery are relevant. The article describes the main ways to solve problems related to the loss key information: backup and storage copies in various places; confidential storage of key information by several subscribers; use cryptographic secret sharing protocols. It was revealed that the most effective solution to the problem under consideration is the use of cryptographic secret sharing protocols. Considered modern types of computer attacks on these protocols. Also analyzed threshold secret sharing schemes, which are the basis of cryptographic secret sharing protocols. The analysis of threshold schemes was carried out on the basis parameters as: perfect, ideal, resource-intensive, and an estimate of the complexity algorithm. It is revealed that the threshold scheme of Shamir is perfect, ideal and less resource-intensive in comparison with other options.

Keywords: secret sharing schemes, keys sharing, threshold secret sharing schemes, key information, backing up key information, Shamir's scheme

Введение. Современный этап развития общества характеризуется возрастающей ролью информационной сферы. Она является системообразующим фактором жизни, активно влияющим на состояние безопасности различных направлений деятельности организаций и физических лиц. Национальная безопасность Российской Федерации существенным образом зависит от обеспечения информационной безопасности (ИБ), и в дальнейшем эта зависимость будет только возрастать [10]. Поэтому вопросы, связанные с методами (технологиями) защиты информации, являются чрезвычайно важными для обеспечения безопасного цифрового пространства. Зачастую такие вопросы приводят к сложным задачам разграничения коллективного доступа к информационным ресурсам.

Практически во всех современных информационных системах организаций хранится и обрабатывается большой объем данных, защита которых предусматривает использование ключевой информации (КИ). Чаще всего ключевой информацией являются секретные ключи для административного доступа, пароли, кодовые слова, секрет и т.д. При этом КИ обеспечивает конфиденциальность данных, и в случае ее утраты доступ к информационным системам может быть утрачен. Исходя из этого, возникает необходимость в обеспечении одного из основных сервисов ИБ – «доступности» – при утере КИ. Поэтому основной целью данной статьи является комплексный анализ вопросов, связанных с обеспечением безопасного хранения КИ и ее восстановления при необходимости.

Общая характеристика предметной области. Существуют различные способы решения рассматриваемой в статье проблемы (обеспечения возможностей восстановления КИ с соблюдением необходимых норм ИБ): резервное копирование ключевой информации и хранение копий в различных местах; доверительная передача КИ несколькими абонентами; использование протоколов криптографического разделения секрета (ПКРС). Однако каждый из этих способов имеет определенные недостатки. В работе [25] было проведено их сравнение, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ способов резервного хранения КИ

Параметр	Использование резервного копирования	Доверие ключевой информации нескольким абонентам	Использование протоколов криптографического разделения секрета
Простота	+	+	–
Надёжность	+	–	+
Безотказность	–	–	+
Секретность	–	–	+

На основе анализа данных из таблицы 1 видно, что наиболее эффективным способом обеспечения доступности и конфиденциальности информации в случае утраты КИ является использование ПКРС, которые применяются для распределенного хранения данных.

Для понимания принципа работы ПКРС рассмотрим демонстрационный пример использования протоколов разделения секрета. Допустим, администратору ИБ какой-либо информационной системы (ИС) необходимо разделить КИ, состоящую из двенадцати символов, между четырьмя сотрудниками. Это необходимо для того, чтобы в случае отсутствия администратора ИБ по тем или иным причинам, сотрудники смогли оперативно получить доступ к ИС и провести необходимые неотложные операции. В данном случае администратор ИБ является диллером (делителем), а сотрудники – хранителями. Для того чтобы раздать каждому хранителю часть КИ, диллер делит КИ на количество хранителей. В нашем случае каждый сотрудник получит по четыре символа из КИ и номер позиции (группы символов), где должна располагаться эта часть. Зная номера позиций для частей КИ и содержания «фрагментов КИ», хранители, собравшись вместе, смогут полностью восстановить секрет при отсутствии дилера.

Представим числовой пример для описанной технологии (подхода). Пусть секретом является последовательность символов `z@far2190429`. Разделение секрета: 1-му сотруднику символы «429» и позиция № 4; 2-му сотруднику символы «ar2» и вторую позицию для группы символов; 3-му сотруднику символы «z@f» и позиция № 1; 4-му сотруднику символы «190» и позиция № 3.

Существенным недостатком данного подхода является то, что части секрета хранятся сотрудниками в открытом виде. Данный факт существенно влияет на уровень конфиденциальности информации.

В связи с этим недостатком рассмотренная технология разделения секрета практически не применяется для «рабочих» целей. Ее усовершенствование в принципе возможно, например, путем использования криптографических преобразований. Такая технология получила название ПКРС.

Однако в связи с бурным развитием информационных технологий ПКРС стали менее безопасными, так как появились новые виды компьютерных атак, направленных на взлом указанных протоколов [1]. В частности, это связано с тем, что, согласно результатам анализа, проведенного компанией Positive Technologies, при хранении паролей в информационных системах в большинстве случаев не используются защитные механизмы для их локального хранения/восстановления [25]. Поэтому можно утверждать, что анализ ПКРС с целью их совершенствования является весьма актуальной задачей.

Сравнительный анализ пороговых схем разделения секрета. В основе любого криптографического протокола лежит набор определенных правил, регламентирующих использование криптографического преобразования и алгоритмов в информационных процессах. В основе ПКРС может лежать алгоритм пороговой схемы разделения секрета (CPC).

Для использования пороговых CPC формируются группы участников, которые используются для хранения «частей» секрета. Пороговые CPC позволяют распределить секрет между абонентами (участниками) групп таким образом, чтобы легитимные абоненты могли однозначно восстановить секрет, а нелегитимные – не получали никакой дополнительной (по отношению к уже имеющейся) априорной информации о возможном содержании секрета [9].

В типичных случаях ПКРС включают в себя две основные фазы [12].

1. Разделение секрета – фаза раздачи, в рамках которой дилер (делитель), знающий секрет M , генерирует n долей $c_1, c_2, \dots, c_n$ секрета и выдает каждому участнику его долю по защищенному каналу связи. Раздача организовывается таким образом, чтобы легитимные абоненты только при совместных действиях могли восстановить секрет, а нелегитимные – не могли.

2. Восстановление секрета – фаза, при которой легитимные абоненты могут объединить свои доли секретов и получить секрет. В большинстве рассматриваемых далее алгоритмов требуется обязательное участие в восстановлении всех легитимных абонентов, между которыми была распределена «секретная» информация.

На рисунке приведена пороговая схема разделения секрета.

В ходе исследования были рассмотрены следующие пороговые CPC:

- CPC Шамира [26];
- CPC Блэкли [19];
- CPC, основанная на эллиптической кривой [7];
- CPC Карнина – Грина – Хеллмана [23];
- CPC Асмута – Блума [22].

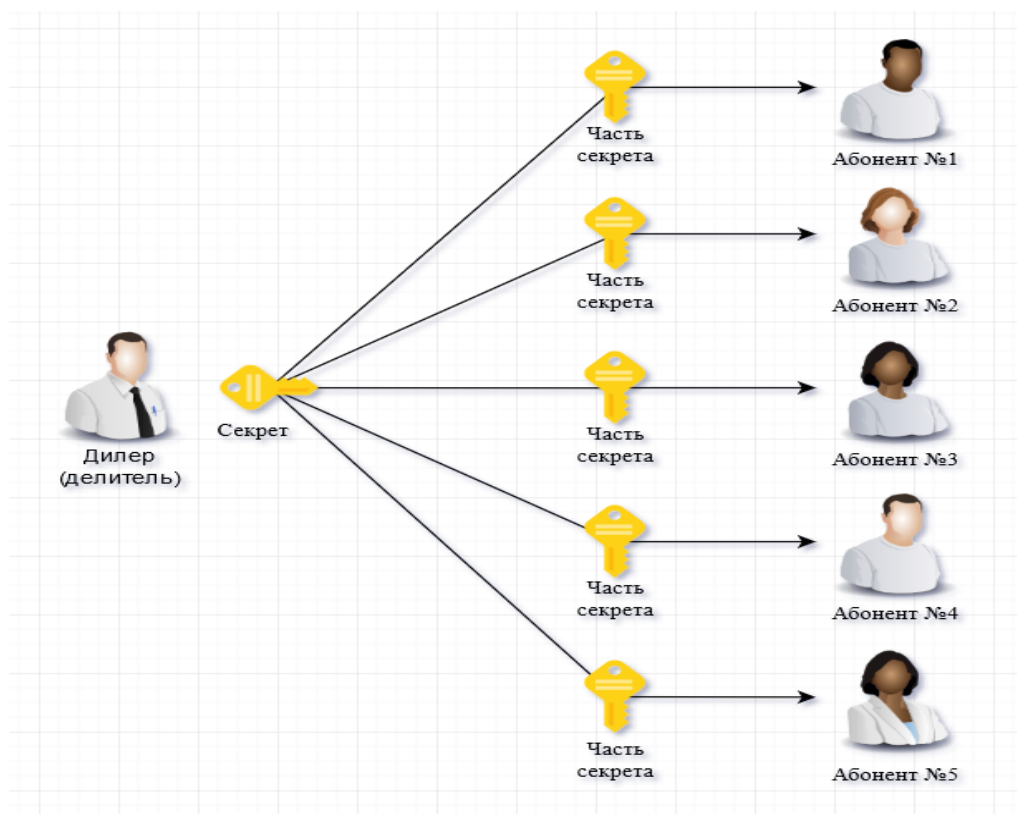


Рисунок – Схема классического протокола разделения секрета

С целью выявления наиболее эффективного ПКРС было решено провести их сравнительный анализ по следующим основным параметрам, влияющим на уровень безопасности использования алгоритмов:

- 1) сложность вычислений. Оценка сложности алгоритма складывается из оценок, получаемых на фазе разделения и восстановления секрета;
- 2) ресурсоемкость вычислений (количество памяти, используемой на этапах разделения и восстановления секрета);
- 3) совершенность (СРС является совершенной, если любое количество нелегитимных пользователей не может извлечь никакой информации о секрете) [14];
- 4) идеальность (СРС является идеальной, если размер доли секрета равен размеру самого секрета) [16].

В настоящей работе используются следующие обозначения:

- k – минимальное количество легитимных абонентов, необходимых для восстановления секрета;
- n – число долей, на которое делится секрет;
- p – большое простое число;
- Z_p – размерность простого модуля кольца целых чисел;
- M – секрет (ключевая информация).

Схема разделения секрета Шамира. Пороговая схема Шамира (k, n) построена вокруг концепции полиномиальной интерполяции [15]. Если необходимо разделить секрет таким образом, чтобы восстановить его могли только k абонентов, то нужно «спрятать» его в формулу многочлена степени $(k-1)$. Восстанавливается этот многочлен по k точкам [3]. Проведем анализ сложности вычислений.

Фаза разделения секрета.

Шаг 1. На данном шаге выбирается случайное простое число p . Проверка числа на простоту является ресурсоемким процессом и существенно влияет на общую оценку сложности алгоритма. Оценка данного шага зависит от используемого алгоритма проверки числа на простоту. Для проверки простоты случайно выбранного числа использовался вероятностный тест Бейли – Померанца – Селфриджа – Уогстаффа [6]. Сложность этого шага равна $O(1)$ – усредненному значению взятому из работы [7].

Шаг 2. На данном шаге алгоритма для построения полинома над полем Z_p выбирается $(k-1)$ коэффициентов. Оценка сложности шага равна $O(k)$.

Шаг 3. Количество итераций для вычисления теней равно n , каждая итерация включает вложенный цикл, проходящий по $(k-1)$ координатам. Общая оценка данного шага равна $O(k \cdot n)$ [17].

Шаг 4. Сложность данного шага зависит от количества участников, в нашем случае она равна n . За время $O(n)$ участникам раздаются доли секрета.

Так как $k < n < k$, то оценка сложности вычислений для разделения секрета составит $O(k \cdot n)$.

Фаза восстановления секрета. Процесс восстановления секрета осуществляется путем построения интерполяционного полинома Лагранжа. Общая оценка сложности алгоритма составляет $O(k \cdot n) + O(k^2)$ [4].

Анализ ресурсоемкости вычислений. Необходимое количество памяти оперативного запоминающего устройства для хранения долей секрета равно величине $n \cdot |m| + O(|m|)$, где $|m|$ – максимальная длина секрета M . Для разделения/восстановления секрета, при $n = k = 64$ понадобится около 8192 байт оперативной памяти.

Совершенство/идеальность. Схема Шамира является совершенной и идеальной. Идеальность следует из того, что размер секрета равен размеру p , как и размер доли секрета, полагающейся каждому участнику. Предположим, что секрет в схеме Шамира восстанавливается путем решения системы линейных уравнений. Нелегитимные абоненты должны составить систему из менее чем k уравнений с k неизвестными. Решением такой системы является множество точек, лежащих на гиперплоскости в k -мерном пространстве, а значит, никакое значение секрета не может быть отвергнуто как невозможное [5]. Следовательно, схема Шамира является совершенной.

Схема разделения секрета Блэкли. Схема Блэкли или векторная СРС основана на использовании точек многомерного пространства [20]. Любые две или более некомпланарных плоскостей пересекаются в пространстве и одна из координат точки пересечения является секретом. Если секрет закодировать как несколько координат точки, то уже по одной гиперплоскости можно будет получить какую-то информацию о секрете, то есть о взаимозависимости координат точки пересечения [18]. Проведем анализ сложности вычислений.

Фаза разделения секрета.

Шаг 1. Как и в схеме Шамира, оценка сложности данного шага зависит от алгоритма проверки простоты числа и составит $O(1)$.

Шаг 2. Сложность данного шага при выборе $(k-1)$ чисел составит $O(k)$.

Шаг 3. Для каждого из n участников определяется коэффициент d_i , и на каждой итерации необходим набор из k случайно сгенерированных чисел. Оценка вычислительной сложности шага составит $O(k \cdot n)$.

Шаг 4. Как и в схеме Шамира, для разделения долей секрета n участникам потребуется n итераций. За время $O(n)$ участникам раздаются доли секрета.

Фаза восстановления. Задача восстановления секрета реализуется путем решения систем линейных уравнений. Эффективным вариантом такого решения является использование метода Крамера, так как секретом является первая координата точки, полученная в результате решения [11].

Для восстановления секрета необходимо вычислить два определителя матриц с размерностью $k \times k$. Определители матриц определяются на основе метода Гаусса, и оценка сложности составляет $O(k^3)$ [4].

Общая оценка вычислительной сложности схемы Блэкли составляет $O(k \cdot n) + O(k^3)$.

Анализ ресурсоемкости вычислений. Число байт оперативной памяти, необходимой для разделения секрета на доли, оценивается величиной $n \times k \times |m|$. Для операций разделения/восстановления секрета при $n = k = 64$ понадобится около 266 Кбайт оперативной памяти.

Совершенство/идеальность. Так как размер каждой доли секрета в k раз превосходит размер секрета, то схема Блэкли не может быть идеальной. Однако она является совершенной, поскольку решением системы $(k-1)$ линейных сравнений с k неизвестными является множество решений, лежащих на гиперплоскости в k -мерном пространстве. Это означает, что секрет M может принимать любое значение из множества возможных секретов.

Схема разделения секрета, основанная на эллиптической кривой. Разделение секрета на эллиптической кривой происходит по алгоритму из [13], описанному ниже. Выполним анализ сложности вычислений.

Фаза разделения.

Шаг 1. Дилер выбирает эллиптическую кривую EC с необходимым количеством точек (не менее n). Каждому из участников СРС (в том числе хранителю секрета) ставится в соответствие точка на эллиптической кривой, включая «бесконечно удаленную».

Шаг 2. На этом шаге дилер выбирает многочлен степени n на этой кривой. Коэффициенты данного многочлена известны только ему. Точка на эллиптической кривой, которая обозначает участника – хранителя секрета, известна всем.

Шаг 3. Дилер подставляет координаты этой точки в выбранный им многочлен, вычисляет значение секрета.

Шаг 4. Для того чтобы каждому участнику раздать свою долю секрета, дилер подставляет координаты точки участника в многочлен, получая долю секрета для него. В итоге участник имеет точку на эллиптической кривой (ID) и долю секрета ($Secret$).

Общая оценка вычислительной сложности фазы разделения секрета в схемах, основанных на эллиптических кривых, составляет $O(k \cdot n)$.

Фаза восстановления. Для восстановления секрета несколькими участниками необходимо объединиться, чтобы восстановить коэффициенты выбранного дилером многочлена. Математически это сводится к решению некоторой системы уравнений. Участники, составляющие разрешенную коалицию, получают искомым многочлен. В него они подставляют координаты точки, обозначающей секрет. В итоге они получают секрет, который сформировал дилер. Оценка сложности вычислений фазы восстановления секрета в данной схеме равна $O(k^2)$.

Анализ ресурсоемкости вычислений. Так как объем оперативной памяти точки на эллиптической кривой не превышает объем, необходимый для хранения самого секрета, то схема наследует ресурсоемкость схемы Шамира [8]. Для восстановления секрета понадобится около 25 Кбайт памяти.

Совершенство/идеальность. Схемы, основанные на эллиптических кривых, являются совершенными, так как в предъявляемых нелегитимными пользователями долях секрета не может содержаться в совокупности никакой информации о секрете. Однако они не являются идеальными, так как размер каждой доли секрета в k раз превосходит размер секрета.

Схема разделения секрета Карнина – Грина – Хеллмана. Данная схема основана на решении систем алгебраических уравнений [20]. Проведем анализ сложности вычислений.

Фаза разделения. Для разделения секрета между n различными сторонами (участниками группы) так, чтобы минимум k сторон могли его восстановить, выбирается $(n+1)$ векторов V_i размерности k , также необходимо, чтобы ранг любой матрицы, составленной из k данных векторов, был равен k . Вектор V_0 известен всем участникам [11]. Секретом является скалярное произведение (u, V_0) , где u – это набор векторов, а долями являются скалярные произведения (u, V_i) . Сложность этапа разделения секрета на n частей равна $O(n)$.

Фаза восстановления. Для восстановления секрета по известным долям решается система из k уравнений для нахождения вектора u . Сложность данного этапа будет равна $O(k^3)$.

Анализ ресурсоемкости вычислений. Так как секрет представляется в виде матричного произведения 2-х векторов, то объем оперативной памяти для хранения координат векторов равен 64 байта. Для разделения секрета на доли при $n = 64$ понадобится $(2 \times n + 1) \cdot 64 = 8256$ байт оперативной памяти.

Для восстановления секрета необходимо решить систему линейных алгебраических уравнений. Наилучшим вариантом для целочисленной арифметики является метод Крамера. Для вычисления значения необходимо вывить $(k+1)$ определителей матриц с размерностью $k \times k$. В итоге для восстановления секрета понадобится 8320 байт оперативной памяти.

Совершенство/идеальность. Схема Карнина – Грина – Хеллмана является совершенной, так как секрет M может принимать любое значение из множества возможных секретов. Однако она, так же как и схема, основанная на эллиптических кривых, не является идеальной, так как размер каждой доли секрета в k раз превосходит размер самого секрета.

Схема разделения секрета Асмута – Блума. Схема Асмута – Блума – пороговая схема разделения секрета, построенная с использованием простых чисел [16]. Позволяет разделить секрет между n сторонами таким образом, что его смогут восстановить любые k участников. Выполним анализ сложности вычислений.

Фаза разделения.

Шаг 1. Для (k, n) пороговой схемы выбирается простое число p .

Шаг 2. Затем выбираются числа, меньшие $p - d_1, d_2, \dots, d_n$, для которых выполняются условия Асмута – Блума.

Оценка сложности вычислений фазы разделения секрета равна $O(n)$.

Фаза восстановления. Восстановить секрет возможно, объединив любые k теней (долей секрета), используя китайскую теорему об остатках, но это невозможно с помощью любых $(k-1)$ теней [21]. Оценка сложности вычислений фазы восстановления секрета равна $O(k^2)$.

Анализ ресурсоемкости вычислений. Каждое простое число d_i занимает объем оперативной памяти, равный 100 байт. Затем для проверки условий нахождения d_i потребуется $2 \times k \times |d_i|$ памяти, т.е. примерно 12,8 Кбайт. Для хранения в памяти одной доли секрета при $p = 28$ байт, $k = 64$ байт потребуется $|p| + |d_i| + |k_i|$ – это приблизительно 192 байта. В итоге для разделения секрета понадобится 57 кбайт оперативной памяти. Для восстановления секрета понадобится около 320 байт.

Совершенство/идеальность. Схема Асмута – Блума является совершенной потому, что секрет M может принимать любое значение из множества возможных секретов. Но она также не является идеальной, поскольку размер каждой доли секрета в k раз превосходит размер самого секрета.

До этого момента в статье были проанализированы пороговые СРС с точки зрения ресурсоемкости и сложности вычислений. Также важно рассмотреть виды атак на данные схемы, так как в связи с научно-техническим прогрессом нарушители изобретают (применяют) все более изощренные виды атак.

Виды атак на пороговые схемы разделения секрета. Компьютерная атака на пороговые СРС возможна, если в число k участников разделения секрета проник нарушитель.

У нарушителя имеется масса потенциальных возможностей обойти пороговую схему. Отметим, в частности, следующее [17].

1. Нарушитель может использовать неверную часть секрета (например, произвольное число) специально – тогда группа не сможет восстановить секрет. Однако установить, кто именно предъявил неверную часть, будет невозможно.

2. Нарушитель может спровоцировать начало процедуры разделения секрета, если ему удастся сойти за «своего». Тогда он сможет получить доли секрета остальных участников.

3) В $(k; n)$ пороговой схеме нарушитель может притвориться $(k+1)$ участником. Так как k участников будет достаточно для восстановления секрета, то нарушитель может предъявить в качестве своей доли секрета произвольную последовательность символов.

При этом нарушитель сможет узнать части секрета остальных легитимных абонентов, а затем воссоздать секрет полностью. Это является следствием неидеальности некоторых СРС.

Также существуют угрозы компьютерных атак на СРС по внешним каналам, когда нарушитель пытается извлечь полезную информацию из времени выполнения, кэширования, из сбоев приложения и т.д. Возможность проведения таких атак обычно связана с ошибками, допущенными при разработке программного обеспечения [2].

Обсуждение результатов. Результаты проведенного исследования показали, что применение ПКРС является наиболее эффективным способом хранения/восстановления ключевой информации. Также выявлено, что ПКРС подвержены современным видам компьютерных атак, которые значительно влияют на уровень информационной безопасности.

В таблице 2 показана сводка результатов сравнительного анализа пороговых схем разделения секрета.

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализа пороговых СРС

Пороговая схема	Совершенство	Идеальность	Ресурсоемкость (Кбайт)	Оценка сложности
Схема Шамира	+	+	8	$O(n \cdot k) + O(k^2)$
Схема Блэкли	+	–	266	$O(n \cdot k) + O(k^3)$
Схема, основанная на эллиптической кривой	+	–	25	$O(n \cdot k) + O(k^2)$
Схема Карнина – Грина – Хеллмана	+	–	8,1	$O(n) + O(k^3)$
Схема Асмута – Блума	+	–	57	$O(n) + O(k^2)$

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что схема Шамира обладает свойствами совершенности и идеальности, она также является менее ресурсоемкой по сравнению с другими схемами. По сложности вычислений схема Шамира уступает схеме Асмута – Блума. Однако преимущество по другим параметрам в данном случае является решающим.

Вывод. Результаты сравнительного анализа пороговых СРС свидетельствуют о том, что по комплексу показателей СРС Шамира является наиболее эффективной по сравнению с остальными. Поэтому данную схему целесообразно использовать как основу для последующей разработки защищенного ПКРС.

Библиографический список

1. Алферов А. П. Основы криптографии : учебное пособие / А. П. Алферов и др. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Гелиос АРВ, 2005. – 480 с.
2. Аббасов А. Э. Оценка качества программного обеспечения для современных систем обработки информации / А. Э. Аббасов, Т. Э. Аббасов // Информационно-технологический вестник. – 2015. – Т. 5, № 3. – С. 15–27.
3. Алексейчук А. Н. Совершенные схемы разделения секрета и конечные универсальные алгебры / А. Н. Алексейчук // Анализ и обработка данных. – 2005.
4. Ващенко Г. В. Вычислительная математика. Основы алгебраической и тригонометрической интерполяции / Г. В. Ващенко // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 1. – С. 54–55.
5. Лавриненко А. Н. Некоторые элементы концепции активной безопасности в современной криптографии / А. Н. Лавриненко, Н. И. Червяков // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2014. – Т. 30, № 8-1 (179).
6. Мельман В. С. Методы анализа тестов простоты числа / В. С. Мельман, Ю. В. Шабли, Д. В. Кручинин // Электронные средства и системы управления. – 2016. – № 1-2. – С. 54–55.

7. Медведев Н. В. Почти пороговые схемы разделения секрета на эллиптических кривых / Н. В. Медведев, С. С. Титов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 1 (23). – С. 91–95.
8. Молдовян А. А. Протоколы с нулевым разглашением секрета и обоснование безопасности схем цифровой подписи / А. А. Молдовян и др. // Вопросы защиты информации. – 2011. – № 4. – С. 6–11.
9. Могилевская Н. С. Пороговое разделение файлов на основе битовых масок: идея и возможное применение / Н. С. Могилевская, Р. В. Кульбикаян, Л. А. Журавлёв // Вестник Донского государственного технического университета. – 2011. – Т. 11, № 10. – С. 1749–1754.
10. Президент РФ. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. – Москва : Проспект, 2016. – 120 с.
11. Пьянов С. М. Сравнительный анализ стойкости некоторых классов схем разделения секрета / С. М. Пьянов // Магистерская диссертация по программе «Математическое и программное обеспечение защиты информации». – Москва : МГУ им. Ломоносова, 2013. – 67 с.
12. Петров А. Компьютерная безопасность. Криптографические методы защиты / А. Петров. – Москва : Litres, 2017. – 140 с.
13. Пискова А. В. Разработка алгоритма электронной цифровой подписи, основанного на задачах факторизации и дискретного логарифмирования на эллиптических кривых / А. В. Пискова, А. Г. Коробейников // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – С. 322–326.
14. Парватов Н. Г. Совершенные схемы разделения секрета / Н. Г. Парватов // Прикладная дискретная математика. – 2008. – № 2 (2). – С. 41–47.
15. Червяков Н. И. Новый метод порогового разделения секрета, основанный на системе остаточных классов / Н. И. Червяков, М. А. Дерябин // Информационные технологии. – 2016. – Т. 22, № 3. – С. 211–219.
16. Шенец Н. Н. Об идеальных модулярных схемах разделения секрета в кольцах многочленов от нескольких переменных / Н. Н. Шенец. – 2011. – Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/9565>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).
17. Шнайер Б. Практическая криптография / Б. Шнайер, Н. Фергюсон – Москва : Диалектика, 2005. – 480 с.
18. Шарый С. П. Курс вычислительных методов / С. П. Шарый. – Новосибирск : Новосиб. гос. ун-т, 2012. – 420 с.
19. Bozkurt I. N. Threshold cryptography based on blakely secret sharing / I. N. Bozkurt , G. Selcuk // Information Sciences. – 2008. – P. 1–4.
20. Blakley G. R. Safeguarding cryptographic keys / G. R. Blakley et al. // Proceedings of the national computer conference. – 1979. – Vol. 48. – P. 313–317.
21. Dingyi P. Chinese remainder theorem: applications in computing, coding, cryptography / P. Dingyi, S. Arto, D. Cunsheng. – World Scientific, 1996.
22. Ito M. Secret sharing scheme realizing general access structure / M. Ito , A. Saito , T. Nishizeki // Electronics and Communications in Japan (Part III: Fundamental Electronic Science). – 1989. – Vol. 72, № 9. – P. 56–64.
23. Karnin E. On secret sharing systems / E. Karnin, J. Greene, M. Hellman // IEEE Transactions on Information Theory. – 1983. – T. 29, № 1. – P. 35–41.
24. Kiparisova A. I. Providing access to information systems of higher education in the case of loss of key information / A. I. Kiparisova , I. M. Azhmuamedov // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 2-2 (44).
25. Positive Research. Актуальные киберугрозы: II квартал 2018 года // Positive Research Center. – 10.09.2018. – Режим доступа: <http://blog.ptsecurity.ru/2018/09/cyberthreats-II-quarter-2018.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.03.2019).
26. Stadler M. Publicly verifiable secret sharing / M. Stadler // International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1996. – P. 190–199.

References

1. Alferov A. P. et al. *Osnovy kriptografii : uchebnoe posobie* [Basics of cryptography : Tutorial]. 3-rd ed., rev. and add. Moscow, Gelios ARV Publ., 2005. 480 p.
2. Abbasov A. E., Abbasov T. E. Otsenka kachestva programmnogo obespecheniya dlya sovremennykh sistem obrabotki informatsii [Evaluation of software quality for modern information processing systems]. *Informatsionno-tehnologicheskii vestnik* [Information Technology Bulletin], 2015, vol. 5, no. 3, pp. 15–27.
3. Alekseychuk A. N. Sovershennyye skhemy razdeleniya sekreta i konechnyye universalnye algebrы [Perfect secret separation schemes and finite universal algebras]. *Analiz i obrabotka dannykh* [Data Analysis and Processing], 2005.
4. Vashchenko G. V. Vychislitel'naya matematika. Osnovy algebraicheskoy i trigonometricheskoy interpolatsii [Computational Mathematics. Basics of algebraic and trigonometric interpolation]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of Science and Education], 2009, no. 1, pp. 54–55.
5. Lavrinenko A. N., Chervyakov N. I. Nekotorye elementy kontseptsii aktivnoy bezopasnosti v sovremennoy kriptografii [Some elements of the concept of active security in modern cryptography]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika* [Scientific News of Belgorod State University. Series: Economy. Computer science], 2014, vol. 30, no. 8-1 (179).
6. Melman V. S., Shablya Yu. V., Kruchinin D. V. Metody analiza testov prostoty chisla [Methods for analyzing simplicity test numbers]. *Elektronnyye sredstva i sistemy upravleniya* [Electronic Tools and Control Systems], 2016, no. 1-2, pp. 54–55.

7. Medvedev N. V., Titov S. S. Pochti porogovye skhemy razdeleniya sekreta na ellipticheskikh krivyykh [Almost threshold secret separation schemes on elliptic curves]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2011, no. 1 (23).
8. Moldovyan A. A. et al. Protokoly s nulevym razglasheniem sekreta i obosnovanie bezopasnosti skhem tsifrovoy podpisi [Protocols with zero disclosure of the secret and the justification of the security of digital signature schemes]. *Voprosy zashchity informatsii* [Information Security Issues], 2011, no. 4, pp. 6–11.
9. Mogilevskaya N. S., Kulbikayan R. V., Zhuravlev L. A. Porogovoe razdelenie faylov na osnove bitovykh masok: ideya i vozmozhnoe primenenie [Threshold file sharing based on bit-masks: idea and possible use]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Don State Technical University], 2011, vol. 11, no. 10.
10. Prezident RF. *Strategiya natsionalnoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii* [President of the Russian Federation. National Security Strategy of the Russian Federation]. Moscow, Prospekt Publ., 2016.
11. Pyanov S. M. Sravnitelnyy analiz stoykosti nekotorykh klassov skhem razdeleniya sekreta [Comparative analysis of the resistance of some classes of secret separation schemes]. *Magisterskaya dissertatsiya po programme «Matematicheskoe i programmnoe obespechenie zashchity informatsii»* [Master's thesis in the program «Mathematical and software information protection»], 2013. 67 p.
12. Petrov A. *Kompyuternaya bezopasnost. Kriptograficheskie metody zashchity* [Computer security. Cryptographic methods of protection]. Moscow, Litres Publ., 2017. 114 p.
13. Piskova A. V., Korobeynikov A. G. Razrabotka algoritma elektronnoy tsifrovoy podpisi, osnovannogo na zadachakh faktorizatsii i diskretnogo logarifmirovaniya na ellipticheskikh krivyykh [Development of an electronic digital signature algorithm based on the problems of factorization and discrete logarithmization on elliptic curves]. *Sbornik trudov IV Vserossiyskogo kongressa molodykh uchennykh* [Proceedings of the IV All-Russian Congress of Young Scientists]. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2015, pp. 322–326.
14. Parvatov N. G. Sovershennyye skhemy razdeleniya sekreta [Perfect secret sharing schemes]. *Prikladnaya diskretnaya matematika* [Applied Discrete Mathematics], 2008, no. 2 (2), pp. 41–47.
15. Chervyakov N. I., Deryabin M. A. Novyy metod porogovogo razdeleniya sekreta, osnovanny na sisteme ostat-ochnykh klassov [New method of threshold secret separation, based on the system of residual classes]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2016, vol. 22, no. 3, pp. 211–219.
16. Shenets N. N. Ob idealnykh modulyarnykh skhemakh razdeleniya sekreta v koltsakh mnogochlenov ot neskol-kikh peremennykh [On the ideal modular secret separation schemes in polynomial rings of several variables], 2011. Available at: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/9565> (accessed 20.03.2019).
17. Shnayer B., Fergysun N. *Prakticheskaya kriptografiya* [Practical cryptography]. Moscow, Dialektika, 2005. 480 p.
18. Sharyy S. P. *Kurs vychislitelnykh metodov* [The course of computational methods]. Novosibirsk, Novosibirsk State University Publ., 2012.
19. Bozkurt I. N., Selcuk G. Threshold cryptography based on blakely secret sharing. *Information Sciences*, 2008, pp. 1–4.
20. Blakley G. R. et al. Safeguarding cryptographic keys. *Proceedings of the national computer conference*, 1979, vol. 48, pp. 313–317.
21. Dingyi P., Arto S., Cunsheng D. *Chinese remainder theorem: applications in computing, coding, cryptography*. World Scientific, 1996.
22. Ito M., Saito A., Nishizeki T. Secret sharing scheme realizing general access structure. *Electronics and Communications in Japan (Part III: Fundamental Electronic Science)*, 1989, vol. 72, no. 9, pp. 56–64.
23. Karnin E., Greene J., Hellman M. On secret sharing systems. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1983, vol. 29, no. 1, pp. 35–41.
24. Kiparisova A. I., Azhmuhamedov I. M. Providing access to information systems of higher education in the case of loss of key information. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2016, no. 2-2 (44).
25. Positive Research. Aktualnye kiberugrozy: II kvartal 2018 goda [Current cyber threats: II quarter of 2018]. *Positive Research Center*. 10.09.2018. Available at: <http://blog.ptsecurity.ru/2018/09/cyberthreats-II-quarter-2018.html> (accessed 20.03.2019).
26. Stadler M. Publicly verifiable secret sharing. *International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1996, pp. 190–199.

УДК 004.056.53

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УСТРАНЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ ХОСТОВ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ UNIX-ПОДОБНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Статья поступила в редакцию 20.04.2019, в окончательном варианте – 12.05.2019.

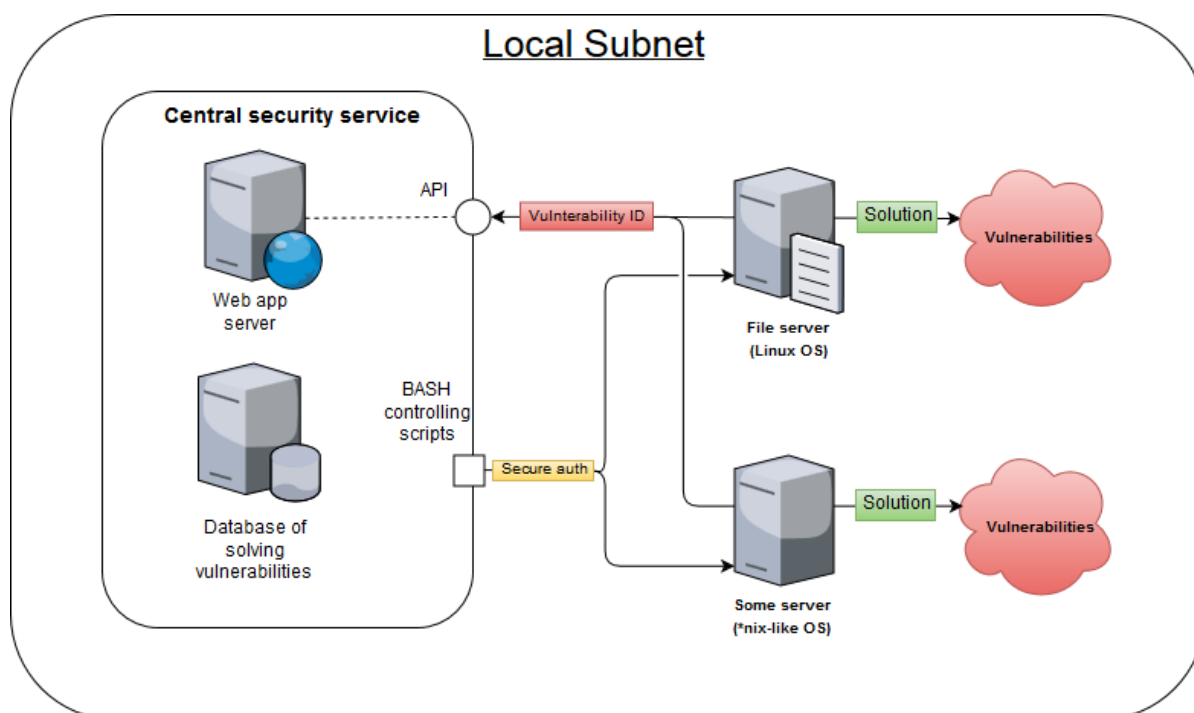
Горкавенко Владимир Сергеевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
магистрант, e-mail: slipmetal@mail.ru

Ажмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности, e-mail: iskander_agm@mail.ru

Рассмотрено одно из возможных решений задачи защиты от несанкционированного доступа рабочих станций под управлением Unix-подобных операционных систем, находящихся в одной подсети, посредством разработки централизованной системы устранения уязвимостей, позволяющей повысить уровень защищенности. Описано разработанное программное обеспечение для централизованного устранения уязвимостей хостов под управлением unix-подобных операционных систем. Составлена и описана структурная схема централизованной системы устранения уязвимостей. Перечислены основные средства программирования, использованные для реализации задачи разработки: язык программирования, фреймворки, СУБД. Описан алгоритм функции анализа и отправки данных, а также структура таблиц базы данных. Представлено описание основных интерфейсов для взаимодействия специалиста информационной безопасности и системного администратора с централизованной системой устранения уязвимостей. Составлена диаграмма последовательности действий акторов.

Ключевые слова: разработка системы защиты, системный администратор, информационная безопасность, защита информации, централизованная защита, Unix, linux, Ubuntu

Графическая аннотация (Graphical annotation)



DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CENTRALIZED ELIMINATION OF HOST VULNERABILITIES UNDER THE MANAGEMENT OF UNIX-LIKE OPERATIONAL SYSTEMS

The article was received by editorial board on 20.04.2019, in the final version – 12.05.2019.

Gorkavenko Vladimir S., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

undergraduate student, e-mail: slipmetal@mail.ru

Azhmukhamedov Iskandar M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Information Security, e-mail: iskander_agm@mail.ru

We consider one of the possible solutions to the problem of protecting unauthorized access of workstations running unix-like operating systems located on the same subnet through the development of a centralized vulnerability mitigation system that allows to increase the level of security. The developed software for centrally addressing host vulnerabilities under unix-like operating systems is described. A block diagram of a centralized system for eliminating vulnerabilities has been compiled and described. The main programming tools used to accomplish the development task are listed: programming language, frameworks, DBMS. The algorithm for analyzing and sending data is described, as well as the structure of database tables. A description of the main interfaces for the information security specialist and the system administrator with a centralized vulnerability management system is presented. A diagram of the sequence of actions of actors.

Keywords: protection system development, system administrator, information security, information protection, centralized protection, unix, linux, Ubuntu

Введение. В условиях интенсивно развивающейся отрасли информационных технологий необходимо развигать средства повышения уровня защиты информации [6, 7].

На текущий момент существует множество программных решений для устранения уязвимостей операционных систем (ОС) [9], но они имеют высокую стоимость для развертывания их в малых и средних коммерческих организациях [3]. Также ни одно из таких программных решений не имеет функциональной возможности централизованного устранения уязвимостей в подсети хостов под управлением Unix-подобных ОС.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что разработка централизованной системы устранения уязвимостей (ЦСУУ) подсети хостов под управлением Unix-подобных ОС является весьма актуальной задачей.

Ранее в работе [2] была приведена формализация задачи, предложено реализовать пять основных этапов, которые будет включать в себя алгоритм поиска и применения решения для устранения диагностированных уязвимостей на рабочих станциях. Это позволило разработать логическую структуру, построить проектные диаграммы, описать взаимодействия основных модулей и сервисов [2]. Предлагаемая в работе структура ЦСУУ позволила перейти к программной реализации, поэтому *целью данной статьи* является описание основных интерфейсов и соответствующих им модулей разработанного программного обеспечения (ПО) ЦСУУ.

Описание разработанного программного обеспечения. Для описания разработанного ПО необходимо составить структурную схему ЦСУУ (рис. 1).

В качестве сервиса установки защищенного соединения между центральным сервером и хостами-клиентами используется протокол SSH [2]. Использование данного протокола возможно только с помощью консольного интерпретатора команд ОС. Для совместимости командных интерпретаторов центрального сервера и хоста-клиента необходимо, чтобы сервер работал под управлением Unix-подобной операционной системы [14]. В качестве одного из возможных вариантов такой ОС может быть использована Ubuntu [1, 11].

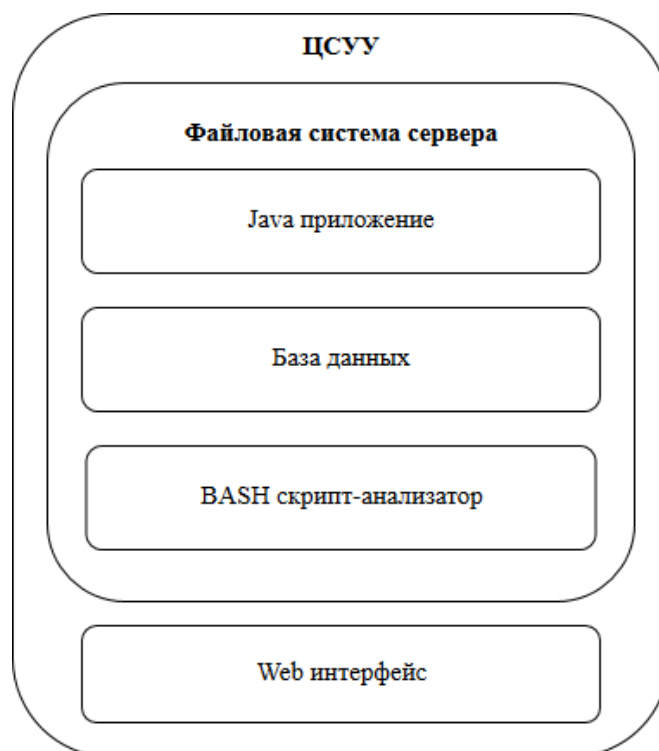


Рисунок 1 – Структурная схема ЦСУУ

Функции анализа и отправки данных в ЦСУУ о диагностированных уязвимостях хоста выполняет BASH скрипт-анализатор [5]. С помощью разработанного скрипта по протоколу SSH [2] ЦСУУ удаленно выполняет следующую последовательность действий:

- устанавливает утилиту для реализации http(s) подключения;
- устанавливает анализатор Lynis или обновляет его до последней версии, если он был установлен ранее;
- удаляет неактуальные логи работы Lynis, если они есть в файловой системе;
- запускает анализ ОС с помощью Lynis;
- обрабатывает информацию об уязвимостях ОС из логов работы Lynis;
- преобразовывает информацию об уязвимостях в base64;
- отправляет Base64 на сервер и получает информацию об устранении найденных уязвимостей;
- записывает все выполняемые скриптом действия в лог-файл.

Результатом выполнения этих действий является сгенерированный скрипт, который содержит в себе решение для устранения уязвимостей, найденных на анализируемом хосте. Этот скрипт запускается после выполнения всех этапов алгоритма, описанного выше.

Для выполнения автоматического запуска командного интерпретатора ОС и реализации алгоритма [13], описанного ранее в [2], было разработано серверное Java-приложение с использованием фреймворка Spring.

Разработанное Java-приложение использует ресурсы nosql базы данных MongoDB [4, 8], в которой содержится информация о хостах, находящихся в анализируемой подсети, а также база знаний с информацией по методам устранения обнаруженных на анализируемых хостах уязвимостях. Базу данных можно представить в виде двух таблиц.

1. Таблица «Информация о хостах в подсети» со следующими полями:

- IP;
- статус верификации;
- статус подключения к сети;
- статус авторизации по ключу;
- дата последнего проведения анализа.

2. Таблица «Информация для устранения обнаруженных уязвимостей» со следующими полями:

- информация об уязвимости;
- информация о методе устранения уязвимости.

Web-интерфейс приложения реализован с помощью фреймворка Thymeleaf и генерируется серверным Java-приложением. Разработанный интерфейс состоит из нескольких HTML-шаблонов, которые заполняются информацией из базы данных. Пользовательский интерфейс представлен на последующих рисунках.

На рисунке 2 приведена стартовая страница выполненной программной разработки.

Редактирование базы знаний

Получить хосты из базы данных

Обновить список хостов из подсети База данных дополняется новыми актуальными хостами из подсети

IP хоста	Онлайн	Доступ по ключу	Верифицирован	В файле протокола	Последний запуск
Active host IP	☐	☐	☐	☐	Last datetime run

Изменить

В протокол запуска будут записаны только верифицированные хосты, к которым есть доступ по ключу!

Настроить доступ по ключу
 Создать протокол запуска
 Запустить протокол безопасности

Рисунок 2 – Основной интерфейс серверного приложения ЦСУУ

С помощью инструментов, представленных на этой форме, специалист по информационной безопасности (ИБ) может произвести следующие действия:

- произвести загрузку информации о хостах из базы данных;
- инициировать запуск процедуры анализа подсети с целью получения актуальной информации о хостах, находящихся в данный момент в подсети;
- просмотреть отраженную в таблице актуальную информацию о хостах: IP, статус подключения к сети, статус настроенного защищенного соединения между центральным сервером и хостом-клиентом, статус верификации, находится ли хост в запускаемом файле протокола анализа защищенности хостов подсети, дату и время последнего запуска анализа и устранения уязвимостей на этом хосте;
- инициировать запуск автоматической настройки защищенного соединения между центральным сервером и хостами, для которых такое соединение не настроено;
- выбрать хосты и создать протокол запуска анализа защищенности и устранения уязвимостей на них;
- инициировать запуск протокола анализа и устранения уязвимостей на выбранных хостах;
- верифицировать хост и подтвердить это действие с помощью диалогового окна (рис. 3).

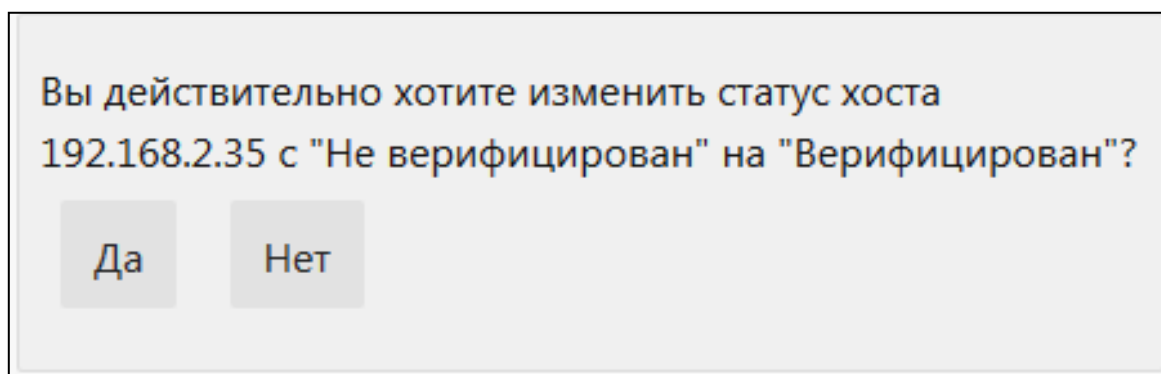


Рисунок 3 – Интерфейс диалогового окна подтверждения верификации хоста

В процессе анализа защищенности и устранения найденных уязвимостей хостов специалист по ИБ может просматривать информацию об успешности или неуспешности завершения процесса устранения уязвимостей на выбранных ранее хостах (рис. 4).

IP хоста	Информация
192.168.2.33	Уязвимости успешно устранены.
192.168.2.34	Не удалось получить доступ к хосту.
192.168.2.35	Соединение прервано во время выполнения.
192.168.2.35	Не удалось устранить уязвимости: №11, №33.

Подробнее

Рисунок 4 – Интерфейс просмотра информации о статусе устранения уязвимостей на хостах

Также доступен просмотр текстового лог-файла, который содержит подробную информацию о процессе устранения уязвимостей на анализируемых хостах.

Для заполнения и редактирования базы знаний, содержащей информацию по методам (средствам) устранения найденных уязвимостей хоста, системный администратор может использовать интерфейс, представленный на рисунке 5.

№	Информация об уязвимости	Информация для устранения уязвимости
1	Version of Lynis is very old and should be updated	<pre>sudo wget -O - http://packages.cisofy.com/keys/cisofy-software-public.key sudo apt-key add - > /dev/null\nsudo echo \"deb [arch=amd64] https://packages.cisofy.com/community/lynis/deb/trusty main\" sudo tee -a /etc/apt/sources.list.d/cisofy-lynis.list\nsudo apt-get install apt-transport-https\nsudo apt-get</pre>

Сохранить изменения
Импорт из CSV
Экспорт в CSV

Рисунок 5 – Интерфейс заполнения и редактирования базы знаний

Также администратор может импортировать базу знаний из CSV-файла или экспортировать базу знаний в CSV-файл.

Для описания входных и выходных данных, отправляемых и принимаемых акторами, а также отражения их основных операций (прецедентов) [2], была составлена диаграмма последовательности действий ПО для централизованного устранения уязвимостей (рис. 6).

Составленная диаграмма последовательности действий отражает взаимодействие между акторами при помощи стрелок, передающих управление от отправителя к получателю [10]. Стрелки демонстрируют ход сценария и те события, которые происходят во время анализируемых операций (прецедентов) [2].

Диаграмма последовательностей действий является одним из основных артефактов, необходимых для производства приемных испытаний. Причина состоит в том, что эта диаграмма является основой при составлении документации для тестирования ЦСУУ.

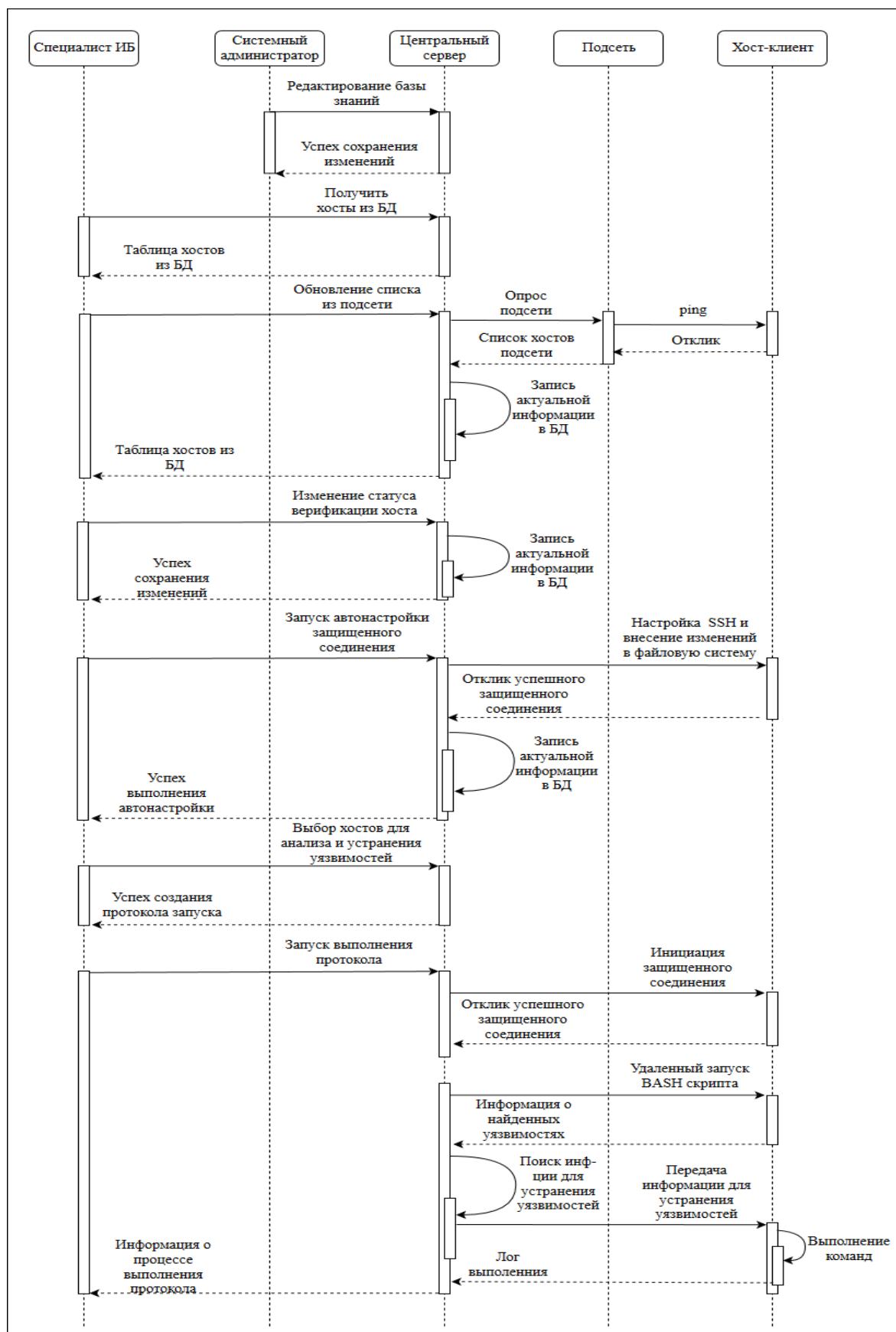


Рисунок 6 – Диаграмма последовательности действий

Выводы. Представлено описание разработанного ПО, в котором отражена структурная схема ЦСУУ, которая включает в себя описание серверного приложения, базы данных, скрипта-анализатора и интерфейса для взаимодействия специалиста по ИБ и системного администратора с ЦСУУ:

- основной интерфейс, в котором отражен список хостов подсети и их статусы;
- интерфейс просмотра информации о статусе устранения уязвимостей на анализируемых хостах;
- интерфейс заполнения и редактирования базы знаний.

Составлена диаграмма последовательности действий акторов.

Разработанное ПО ЦСУУ позволяет устанавливать его в любой коммерческой организации, в которой используются локальные сети с хостами под управлением Unix-подобных систем; проводить централизованный анализ защищенности хостов с целью дальнейшего устранения диагностированных уязвимостей, тем самым повышая уровень их защищенности.

Описанное в данной статье ПО для централизованного устранения уязвимостей успешно прошло приемные испытания в ЗАО «БАККА СОФТ» (филиал в г. Астрахани) и введено в опытную эксплуатацию.

В процессе приемочных испытаний была произведена оценка скорости работы функции анализа и устранения найденных уязвимостей на хосте: среднее время при типовом наборе уязвимостей «чистой» операционной системы – 180 секунд.

Дальнейшее развитие ПО может включать в себя улучшение алгоритма, выполняющего поиск и применение решений для устранения уязвимостей, с целью повышения его эффективности. Например, решение для устранения какой-либо уязвимости может «закрывать» один из сетевых портов, что может повлиять на работу электронной почты. В этом случае предполагаемый для дальнейшего развития ПО алгоритм поможет предусмотреть возможные последствия применения решений, направленных на устранение уязвимостей, и учесть эти последствия на этапе формирования базы знаний.

Библиографический список

1. Белонежко П. П. Свободные облачные аппаратно-программные платформы. Аналитический обзор / П. П. Белонежко, В. В. Белоус, Н. А. Куцевич, Д. А. Храмов // *Наукоедение*. – 2016. – С. 1–24.
2. Горкавенко В. С. Модель и проектные диаграммы системы централизованной защиты подсети хостов под управлением Unix-подобных операционных систем / В. С. Горкавенко, И. М. Ажмухамедов // *Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии*. – 2019. – № 1.
3. Дагаев А. Ф. Обеспечение информационной безопасности в вычислительной сети предприятия / А. Ф. Дагаев, А. Н. Самойлов, Е. А. Борисова // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2018. – С. 1–4.
4. Достова А. А. Анализ нововведений в объектно-ориентированном языке программирования Java / А. А. Достова, В. В. Тынченко // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. – 2018. – С. 10–23.
5. Исаков С. Ю. Разработка структуры системы управления сетью / С. Ю. Исаков, А. А. Шелупанов // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. – 2011. – С. 259–262.
6. Коджешау М. А. Технологии и алгоритмы информационной безопасности / М. А. Коджешау // *Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки*. – 2017. – С. 129–132.
7. Медведев Н. В. Модели управления доступом в распределенных информационных системах / Н. В. Медведев, Г. А. Гришин // *Машиностроение и компьютерные технологии*. – 2011. – С. 1–19.
8. Настеренко Д. Ю. Объектно-ориентированное программирование на примере языка Java / Д. Ю. Настеренко // *Научный журнал*. – 2016. – С. 17–30.
9. Оладько А. Ю. Подсистема мониторинга и аудита информационной безопасности в операционной системе Linux / А. Ю. Оладько // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. – 2012. – С. 22–28.
10. Рогачев А. Ф. Использование UML-моделей для исследования и обеспечения информационной безопасности сложных технических систем / А. Ф. Рогачев, Я. В. Федорова // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2014. – С. 1–6.
11. Рукасуева С. Ю. Windows и альтернативные ей операционные системы / С. Ю. Рукасуева, А. П. Багаева // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. – 2011. – С. 459–460.
12. Шубин А. Н. Оценка свойств информационных систем в стандартах по информационной безопасности / А. Н. Шубин // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2013. – С. 336–345.
13. George K. Thiruvathukal. What's in an Algorithm? / George K. Thiruvathukal // *Computing in Science & Engineering* – 2013. – № 15. – P. 15–27.
14. Johanson A. Software Engineering for Computational Science: Past, Present, Future / Arne Johanson, Wilhelm Hasselbring // *Computing in Science & Engineering* 20. – 2018. – С. 90–112.

References

1. Belonezhko P. P., Belous V. V., Kutsevich N. A., Khramov D. A. Svobodnye oblachnye apparatno-programmnye platformy. Analiticheskiy obzor [Free cloud hardware and software platforms. Analytical review]. *Naukovedenie* [Internet Journal Science], 2016, pp. 1–24.
2. Gorkavenko V. S., Azhmukhamedov I. M. Model i proektnye diagrammy sistemy tsentralizovannoy zashchity podseti khostov pod upravleniem Unix-podobnykh operatsionnykh sistem [Model and design diagrams of a centralized protection system for a subnet of hosts running UNIX-like operating systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and high technologies], 2019, № 1, pp. 147–150.
3. Dagayev A. F., Samoilov A. N., Borisova E. A. Obespechenie informatsionnoy bezopasnosti v vychislitelnoy seti predpriyatiya [Ensuring information security in the enterprise network]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy*

zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2018, pp. 1–4.

4. Dostova A. A., Tynchenko V. V. Analiz novovvedeniy v obektno-orientirovannom yazyke programmirovaniya Java [Analysis of innovations in the object-oriented programming language Java]. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Actual problems of aviation and astronautics], 2018, pp. 10–23.

5. Iskhakov S. Yu., Shelupanov A. A. Razrabotka struktury sistemy upravleniya setyu [Development of the network management system structure]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2011, pp. 259–262.

6. Kodzheshau M. A. Tekhnologii i algoritmy informatsionnoy bezopasnosti [Information Security Technologies and Algorithms]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Yestestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Adygea State University. Series 4: Natural Mathematical and Technical Sciences], 2017, pp. 129–132.

7. Medvedev N. V., Grishin G. A. Modeli upravleniya dostupom v raspredelennykh informatsionnykh sistemakh [Models of access control in distributed information systems]. *Mashinostroyeniye i kompyuternyye tekhnologii* [Mechanical Engineering and Computer Technologies], 2011, pp. 1–19.

8. Nasterenko D. Yu. Obektno-orientirovannoe programmirovaniye na primere yazyka Java [Object-oriented programming on the example of the Java language]. *Nauchnyy zhurnal* [Initial log], 2016, pp. 17–30.

9. Oladko A. Yu. Podsystema monitoringa i audita informatsionnoy bezopasnosti v operatsionnoy sisteme Linux [The subsystem for monitoring and auditing information security in the Linux operating system]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Southern Federal University. Technical science], 2012, pp. 22–28.

10. Rogachev A. F., Fedorova Ya. V. Ispolzovaniye UML-modeley dlya issledovaniya i obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Using UML-models for research and ensuring information security of complex technical systems]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversi-tetskogo kompleksa: nauka i vysshee profes-sionalnoe obrazovanie* [News of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: science and higher vocational education], 2014, pp. 1–6.

11. Rukasueva S. Yu., Bagaeva A. P. Windows i alternativnye ey operatsionnye sistemy [Windows and alternative operating systems to it]. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Actual problems of aviation and astronautics], 2011, pp. 459–460.

12. Shubin A. N. Otsenka svoystv informatsionnykh sistem v standartakh po informatsionnoy bezopasnosti [Assessment of the properties of information systems in standards for information security]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Tula State University. Technical science], 2013, pp. 336–345.

13. George K. Thiruvathukal. What's in an Algorithm? *Computing in Science & Engineering*, 2013, no. 15, pp. 15–27.

14. Johanson A., Hasselbring W. Software Engineering for Computational Science: Past, Present, Future. *Computing in Science & Engineering*, 2018, no. 20, pp. 90–112.

УДК 004.62

О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ПРОВЕРКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ¹

Статья поступила в редакцию 14.04.2019, в окончательном варианте – 14.05.2019.

Багдасарян Рафаэль Хачикович, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
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

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

Синица Сергей Геннадьевич, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
кандидат технических наук, e-mail: podrugomu@gmail.com

Жук Арсений Сергеевич, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
аспирант, e-mail: arseniyzhuck@mail.ru

Литвинов Кирилл Игоревич, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
аспирант, e-mail: lyrik-1994@yandex.ru

Предлагается метод проверки достоверности данных при передаче закрытой информации по открытым каналам связи между узлами сети. Приводятся требования к системам, внутри которых совершается передача данных. Описываются технические аспекты предлагаемого метода, совместно использующего мультиграф, шифрование и биометрическую идентификацию для проверки достоверности передаваемых данных. В схеме, соответствующей данному

¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 19-01-00596.

методу, используется гибридное шифрование с распределенной передачей информации. Это обеспечивает эффективные возможности проверки достоверности передаваемых данных в отношении отсутствия фактов внедрения злоумышленников. Симметричный метод шифрования применяется для шифрования данных, в то время как асимметричный ключ зашифровывает сам симметричный ключ. Таким образом, в предлагаемом методе высокая производительность симметричных криптосистем сочетается с преимуществами асимметричных методов в отношении уровней защиты.

Ключевые слова: достоверность данных, аутентикация, передача информации, шифрование, дешифрование, защита данных, гибридное шифрование, безопасность передачи информации, биометрическая идентификация, мультиграф, сетевые атаки

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ON THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF CHECKING THE DATA RELIABILITY IN THE TRANSMISSION OF INFORMATION

The article was received by editorial board on 14.04.2019, in the final version – 14.05.2019.

Bagdasaryan Rafael Kh., Kuban State University, 149 Stavropolskaya 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

Lukashchik Elena P., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, e-mail: lep_9091@mail.ru

Sinita Sergey G., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), e-mail: podrugomu@gmail.com

Zhuk Arseniy S., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, post-graduate student, e-mail: arseniyzhuck@mail.ru

Litvinov Kirill I., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, post-graduate student, e-mail: lyrik-1994@yandex.ru

A method is proposed for verifying the accuracy of data when transmitting sensitive information on open communication channels between network nodes. The requirements for the systems within which the data is transmitted are given. Describes the technical aspects of the proposed method, sharing multigraph, encryption and biometric identification to verify the reliability of the transmitted data. The scheme corresponding to this method uses hybrid encryption with distributed information transfer. This provides effective means of verifying the reliability of the transmitted data in the absence of evidence of intruders. The symmetric encryption method is used to encrypt data, while the asymmetric key encrypts the symmet-

ric key itself. Thus, in the proposed method, the high performance of symmetric cryptosystems is combined with the advantages of asymmetric methods in terms of levels of protection.

Keywords: data accuracy, authentication, information transfer, encryption, decryption, data protection, hybrid encryption, information transfer security, biometric identification, multigraph, network attacks

Введение. Одним из важнейших качеств любой информационной системы (ИС) является безопасность ее использования. Это связано с возросшим количеством атак злоумышленников на сетевые ресурсы во всём мире [8]. Любая ИС, позволяющая проводить обмен данными, должна гарантировать, что отправленная информация не будет перехвачена или подделана. Для проверки достоверности получаемой информации узлом (т.е. отсутствия каких-либо ее корректировок в процессе передачи) необходимо рассмотреть меры по обеспечению безопасного обмена данными. Под безопасным обменом подразумевается невозможность повлиять на процесс передачи данных со стороны третьих лиц. В связи с этим должны быть изучены все возможные варианты действия потенциальных взломщиков – нарушителей информационной безопасности. Поэтому есть необходимость рассмотреть слабости проектируемой ИС по отношению к максимально возможному разнообразию сетевых атак – изнутри и извне локальной вычислительной сети.

Для участников обмена сообщениями необходимо создать среду, в которой соблюдаются следующие правила.

1. Между участниками процесса обмена информацией не должно быть нежелательных посредников.
2. Не допускается возможность для злоумышленника выдать себя за доверенное лицо, т.е. идентифицировать себя в качестве истинного пользователя.
3. Среда, в которой происходит обмен, должна быть изолирована при открытости сети. Иными словами, эта среда должна иметь внутреннюю защиту данных (брандмауэр, антивирус и т.д.).

С учетом существующих проблем, угроз и недостатков при передаче любой информации по сети, есть большая вероятность возникновения несанкционированной расшифровки и захвата данных злоумышленниками с дальнейшим искажением достоверности информации [14, 16]. Поэтому целесообразна разработка метода проверки достоверности данных при передаче информации с использованием гибридного шифрования, в частности совместного применения асинхронных и синхронных ключей, биометрии и мультиграфов.

Шифрование канала обмена данными. Прежде всего рассмотрим решение проблемы «прослушиваемости» сети, в которой происходит обмен информацией. Именно криптографические методы шифрования помогут нам обеспечить защиту от прослушивания канала передачи данных со стороны. С их помощью мы сможем преобразовывать транспортируемую информацию так, чтобы лица без авторизации для работы в ИС не имели к ней доступа.

Предлагаемый метод защиты канала от внедрения злоумышленников подразумевает использование гибридного шифрования, при этом передача информации будет являться распределённой. Симметричный метод шифрования будет использоваться для шифрования данных, в то время как ассиметричный ключ зашифрует сам симметричный ключ. В таком случае производительность симметричных криптосистем будет сочетаться с преимуществами ассиметричных методов. Процесс обмена должен начинаться с аутентикации клиента [6, 9, 12, 18].

Рассмотрим на примере схемы по рисунку 1 состав участников сети. Клиент непосредственно связан с сервером аутентикации, сервером приёма сообщений и распределёнными серверами [1], которые связаны с базой данных (БД) ИС.

На рисунке 2 схематически показаны действия по обеспечению передачи закрытой информации в сети.

Сначала клиент должен сгенерировать открытый ($PublicKey_A$) и закрытый ($PrivateKey_A$) ключи. На следующем шаге необходимо передать сообщение серверу аутентикации (B) с идентификатором (ID_A) и открытым ключом:

$$S_1 = PublicKey_A + ID_A.$$

Сервер аутентикации создаст запись в базе данных с открытым ключом клиента и сгенерирует собственный закрытый ($PrivateKey_B$) и открытый ключи ($PublicKey_B$), а после отправит клиенту сообщение, содержащее открытый ключ сервера.

$$S_2 = PublicKey_A.$$

Далее клиенту необходимо сгенерировать транзакционный ключ ($TransactKey_A$), зашифровать симметричным методом пароль клиента ($Password_A$). Далее транзакционный ключ должен быть зашифрован ассиметрично открытым ключом сервера. После проделанных операций ассиметрично зашифрованный транзакционный ключ отправляется принимающей стороне.

$$S_3 = PublicKey_B | TransactKey_A | Password_A ||.$$

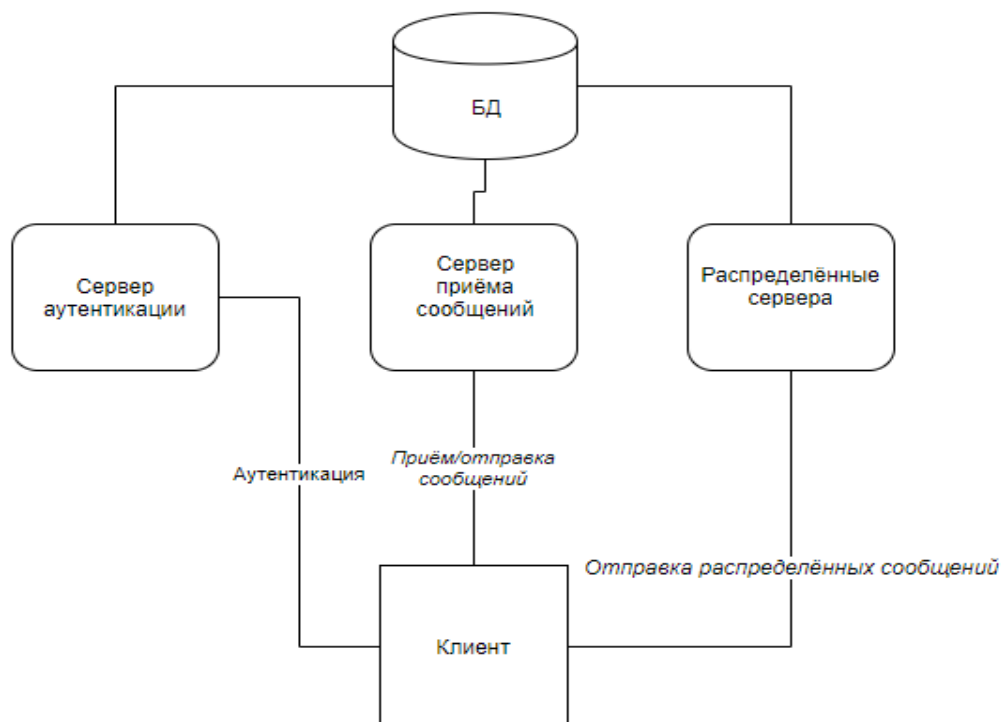


Рисунок 1 – Схема взаимосвязи в ИС между клиентом и сервером

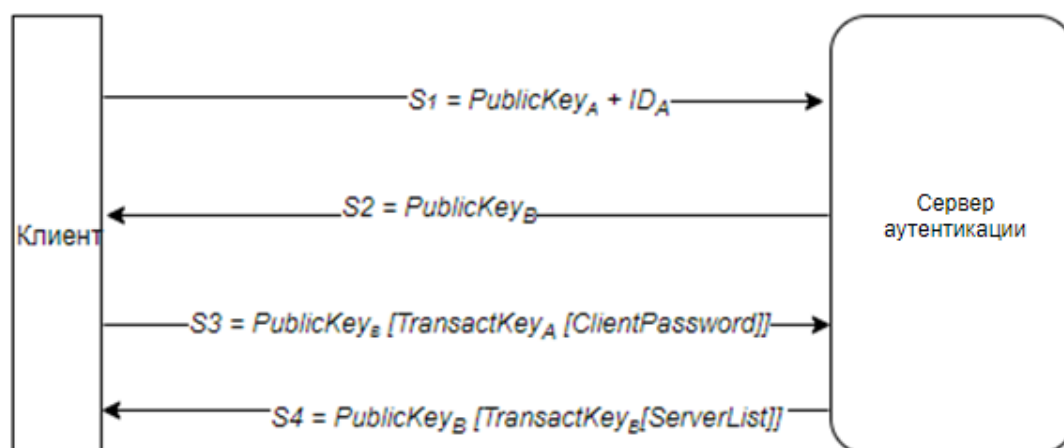


Рисунок 2 – Схема передачи данных по открытым сетям в процессе аутентикации

Принимающая сторона «В» расшифровывает транзакционный ключ ассиметрично, используя собственный закрытый ключ. На следующем шаге принимающей стороной расшифровывается пароль клиента симметричным методом с использованием транзакционного ключа клиента. Сервер проверяет идентификатор отправителя, пароль клиента и сообщает об ошибке, если обнаруживается несоответствие.

Если идентификатор клиента и пароль верны, то сторона «В» должна сгенерировать транзакционный ключ и в итоге, зашифровать им список серверов (*ServerList*), которые принимают данные, зашифрованные открытым ключом. Зашифрованный список отправляется клиенту.

$$S_4 = OK_A | TK_B | LS |$$

Если ID_A и $Password_A$ неверны, то в таком случае S_4 является сообщением об ошибке. Клиенту необходимо расшифровать транзакционный ключ сервера с помощью собственного приватного ключа ассиметрично. Под приватным ключом понимается сохраняемый в тайне компонент ключевой пары, применяющейся в ассиметричных шифрах, т.е. таких шифрах, в которых для прямого и обратного преобразований используются разные ключи. После этого клиент должен применить симметричный метод для расшифровки списка серверов при помощи транзакционного ключа. В итоге сервер может идентифицировать сторону «А» по паре логин/пароль. В случае успешной проверки данной пары клиенту отправляется сводка

серверов для дальнейшей отправки распределённых данных. Отметим, что транзакционный ключ необходимо генерировать при каждой передаче, а срок действия такого ключа составляет один час [2].

Использование биометрических показателей для подтверждения личности. Второй способ ограничить канал связи от доступа нежелательных лиц заключается в идентификации участников сети по их биометрическим показателям. В таком случае можно определить, что пользователь действительно является тем человеком, за которого себя выдаёт. Отметим, что используемые биометрические показатели должны быть уникальны и неповторимы. Это могут быть, например, показатели, относящиеся к сетчатке глаза или отпечаткам пальцев. Такой способ идентификации нередко применяется в биллинговых системах и для подтверждения личности в банковской сфере. Идентификация пользователя по отпечатку пальца – надёжный способ исключить возможность взломщиков выдать себя за пользователя. Проверку по таким биометрическим параметрам, как отпечатки пальцев, удобно встраивать в мобильные устройства и терминалы оплаты [4, 5, 20]. Отметим также, что уже появились смартфоны, которые могут идентифицировать владельца не только по отпечаткам пальцев и лицу, но и по характеристикам радужной оболочки глаза.

Далее рассмотрим технологию распознавания по отпечатку пальцев. Одним из способов распознавания отпечатков является метод нахождения количества пересечений папиллярных линий (CN). В таком методе анализируются папиллярные линии, разбитые на мелкие квадратные фрагменты. В дальнейшем происходит вычисление количества пересечений папиллярных линий на пальце человека [13, 15].

Найдём число пересечений CN по следующей формуле:

$$CN = 0.5 * \sum_{i=1}^8 R_i - R_{i+1}, \quad R_9 = R_1,$$

где R_i – это значение в окрестности точки R . Это восемь значений, которые проверяются в порядке «против часовой стрелки» (рис. 3).

R_4	R_3	R_2
R_5	R	R_1
R_6	R_7	R_8

Рисунок 3 – Значения соседних точек относительно R

На основании полученных данных классифицируем квадратную часть в соответствии со следующими правилами категорий папиллярных линий:

- значение «0» присваивается для изолированной точки;
- значение «1» присваивается конечной точке папиллярной линии;
- неконечной точке папиллярной линии соответствует «2»;
- точке раздвоения присваивается «3»;
- значение «4» применяется к точке пересечения.

В дальнейшем тексте используется термин «минуция», соответствующий пересечению папиллярных линий. Совокупность минуций характеризует уникальные для каждого отпечатка пальца признаки, определяющие особенности структуры папиллярных линий, их ориентацию, координаты и углы связанных папиллярных линий.

Зная количество пересечений папиллярных линий, определим для каждой минуции следующую информацию:

- координаты x и y ;
- угол связанной папиллярной линии;
- тип минуции.

Далее показаны окончание папиллярной линии и разветвление (рис. 4).

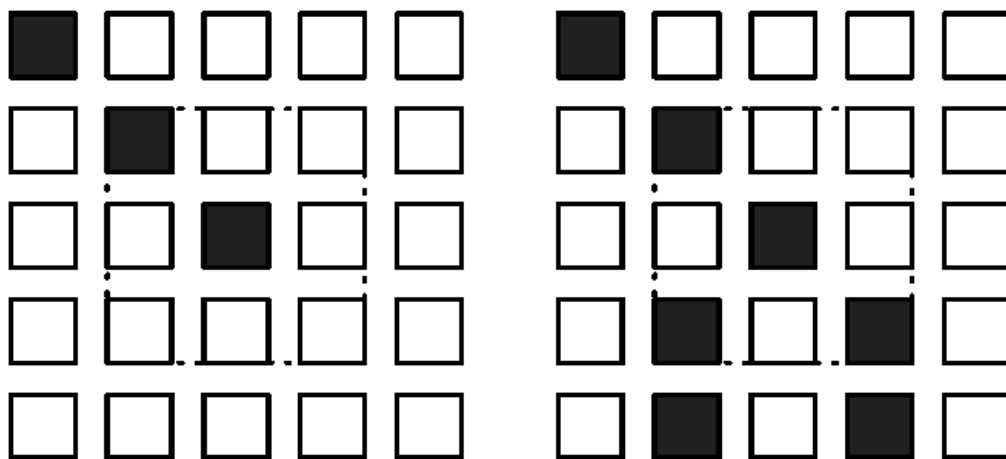


Рисунок 4 – Окончание и разветвление папиллярных линий

Для построения матрицы отпечатка пальца необходимо выделить квадратную часть отпечатка, в центре которой будет папиллярный узор [19, 20]. В процессе построения матрицы отпечатка пальца выделим квадратный участок с папиллярным узором, который будет находиться в центре квадратной части отпечатка (рис. 5).



Рисунок 5 – Отпечаток пальца и его выделенная квадратная часть

Переводя папиллярную линию в квадратную матрицу, будем следовать следующему алгоритму:

- для пустых квадратных частей записывается «1»;
- окончаниям приписываются значения «2»;
- для разветвлений записывается «4»;
- для остальных случаев присваивается «3».

После этого необходимо выделить квадратную область центра отпечатка пальца (рис. 6).

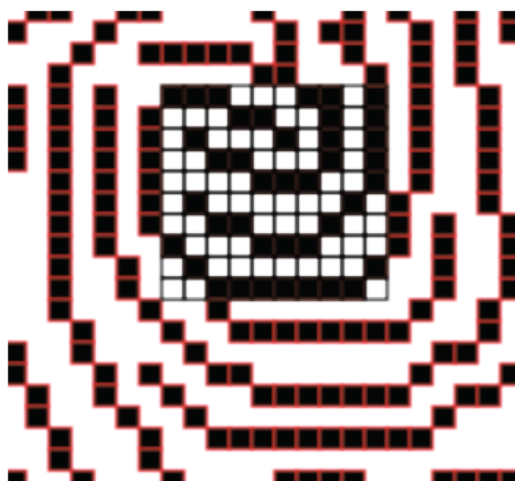


Рисунок 6 – Квадратная область отпечатка пальца

Для упрощения решения построим матрицу отпечатка пальца для области распознавания 10 x 10 точек и вычислим определитель этой матрицы, представляющий собой совокупность 100 целых чисел в диапазоне от «1» до «3».

3	3	3	1	1	1	3	3	1	3
1	1	1	3	3	1	1	3	1	3
1	2	1	1	1	2	1	3	1	3
1	1	3	3	1	1	1	3	1	3
1	1	1	1	3	3	3	1	1	3
1	2	1	1	1	1	1	1	3	1
1	1	3	3	1	1	1	3	1	1
3	1	1	1	3	3	3	1	1	1
1	3	1	1	1	1	1	1	1	3
1	1	3	3	3	3	3	3	3	1

Определитель матрицы в данном случае равен 0,00000000000115107923193136. Примем максимальное количество пользователей ИС – 10^9 . Соответственно пароль должен состоять не менее чем из 9 символов. Для предложенного выше примера пароль пользователя будет состоять из первых девяти значимых чисел, и он будет иметь следующий вид: 115107923. Иными словами, на выходе получим числовой пароль, который будет являться определителем для матрицы значений папиллярных линий [3].

Определение достоверности информации с помощью мультиграфа. Биометрическая идентификация и шифрование канала связи упрощают дальнейшую проверку данных на достоверность, поскольку исключается возможность большинства способов атак, в процессе которых данные могут быть подменены. Однако канал связи, несмотря на всю предусмотренную защиту, уязвим к «Атаке посредника», в которой злоумышленник становится скрытым посредником при передаче информационных сообщений [10]. Нарушитель может осуществлять мониторинг всех данных, производить их подмену и кражу. Оставаться незамеченным ему помогает использование украденных соответствующих ключей, борьба с таким родом атак является нетривиальной задачей [7, 11].

Будем рассматривать достоверность информации как интегральную характеристику, которая зависит от физической и логической составляющей системы.

Рассмотрим множество данных, приходящих от пользователя s :

$$d_n = d_s^n,$$

где s – пользователь; n – количество пользователей.

Обозначим множество данных, передающихся в сети между n пользователями:

$$d = \underset{n}{d_n},$$

где d_n – множество данных, приходящих от n пользователей; n – количество пользователей.

Сформируем ориентированный мультиграф, в котором каждая вершина будет принимать определённое множество значений:

$$h_i^{ns} h_i^n,$$

где h_i^{ns} – множество информационных сообщений; h_i^n – множество вершин информационных сообщений пользователя s из общего числа n ; i – текущее информационное сообщение.

Определим дуги мультиграфа, которые будут задавать последовательность обращений к узлу:

$$p_v^{ns} p_s^n,$$

где p_v^{ns} – дуги мультиграфа, которые указывают передачу данных пользователя s из общего числа n ; p_s^n – множество дуг мультиграфа в целом; v – текущая дуга.

Рассмотрим множества всех сообщений графа:

$$h_z = \begin{matrix} n & s \\ h_s^n \end{matrix},$$

$$p_z = \begin{matrix} n & s \\ p_s^n \end{matrix}.$$

Связи между элементами могут иметь вид «1:1», «1:M», «M:M». В нашем случае между двумя информационными элементами имеется связь типа «1:1», тогда вводится связь типа «1:M» в прямом направлении и связь типа «M:M» в обратном направлении. Семантическое значение каждой из полученных связей определяется семантическим значением исходной связи.

Построим мультиграф G_s^n , для которого $M_s^n: G_s^n = \langle h_s^n, p_s^n, \varphi_s^n \rangle$, где $h_s^n = \{h_{is}^n\}$ – вершины, $p_s^n = \{h_i^{ns}, h_i^{ns}\}$ – связи. Таким образом, функция $\varphi_s^n: p_s^n \rightarrow h_i^{ns} h_i^n$ сопоставляет дуге p_s^n вершины (h_i^{ns}, h_j^{ns}) . Каждая отдельно взятая вершина является отмеченной, поэтому рассмотрим свойства мультиграфа G_s^n . Отметки вершин – это уникальные идентификаторы информационных элементов, позволяющие задать семантическое значение.

Все дуги p_s^n имеют метки двух категорий:

1. $Type_{p_{ijv}^{ns}} = (h_i^{ns}, h_j^{ns})_v = \{1:1; 1:M; 1:M\}$ – категория направления и типа связи между вершинами в G_s^n ;

2. $U_{h_{ijv}^{ns}}$ задаёт семантику дуги p_{ijv}^{ns} и связи между h_i^{ns}, h_j^{ns} .

Даже если у двух вершин будет несколько взаимосвязей, необходимо, чтобы соединяющие их дуги отличались хотя бы меткой второго типа.

Функция φ_s^n задаётся матрицей инцидентности $W_s^n = \omega_{iv}^{ns}$. В таком случае:

$$\omega_{iv}^{ns} = \begin{matrix} +1, \exists p_{ijv}^{ns} Type_{p_{ijv}^{ns}} = 1:1; 1:M; M:1, \\ -1, \exists p_{ijv}^{ns} Type_{p_{ijv}^{ns}} = 1:1; 1:M; M:1 \end{matrix}.$$

Ключевой возможностью рассматриваемого мультиграфа является проверка данных на достоверность. Избавиться от лишних взаимосвязей между элементами модели поможет расчет путей доступа, в процессе которого достоверность информации нарушится, если будут удалены избыточные связи и информационные элементы.

Рассмотрим выражение, которое поможет нам проверить достоверность информации:

$$C_{ZU} = \frac{\xi_{p_1 P_{ZU}} \chi_i + \xi_{L_{ij\mu} L_{ZU}} N_{L_{ij\mu}}}{\xi_{p_1 P_2} \chi_i + \xi_{L_{ijv} N_{L_{ijv}}}},$$

где χ – количество экземпляров информационного объекта с индексом i ; $L_{ijv}(L_{ij\mu})$ – количество экземпляров связей между элементами.

Совокупность информационных элементов со связями:

$$P_U = \begin{matrix} n & s \\ p_s^n \end{matrix}.$$

Пересечение информационных элементов и их связей:

$$P_{ZU} = P_Z \cap P_U.$$

Множество путей доступа из вершин с точкой входа:

$$L_Z = \begin{matrix} n & s \\ L_s^n \end{matrix}.$$

Пересечение путей доступа из входных вершин и множества путей доступа:

$$P_{ZU} = P_Z \cap P_U.$$

Рассчитанные показатели достоверности информации сравниваются с заданными, при их несоответствии определяются причины возникновения ошибок, производится их локализация и вносятся исправления в структуру данных.

Заключение. Рассмотренные теоретические основы способа проверки достоверности информации, передаваемой в открытой сети, позволяют разработать полноценный метод для решения поставленной задачи. Использование гибридного шифрования, а именно совместное применение асинхронных и синхронных ключей, биометрической идентификации личности и мультиграфов позволяют получить метод проверки достоверности данных при передаче информации, который является более защищённым и надёжным от атак в сетевом окружении. За счет этого пользователи смогут безопасно производить обмен закрытой информацией по открытым каналам связи.

Библиографический список

1. Атрощенко В. А. К вопросу разработки алгоритма передачи закрытых данных по открытым сетям между мобильным устройством и распределёнными 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. – 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. – 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. – 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. Дьяченко Р. А. Анализ современных методов и средств оптимизации запросов к распределённым хранилищам информации / Р. А. Дьяченко, Р. Х. Багдасарян, М. В. Руденко, А. М. Зима, С. А. Макеев // Научные чтения имени профессора Н. Е. Жуковского : сборник научных статей V Международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 183–185.
8. Иванов М. А. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях / М. А. Иванов. – Москва : Кулиц-Образ, 2001. – 363 с.
9. Кульба В. В. Теоретические основы проектирования оптимальных структур распределённых баз данных. Серия «Информатизация России на пороге XXI века» / В. В. Кульба, С. С. Ковалевский, С. А. Косяченко, В. О. Сироткин. – Москва : СИНТЕГ, 1999. – 660 с.
10. Осипян В. О. Разработка методов построения систем передачи и защиты информации : монография / В. О. Осипян. – Краснодар : КубГУ, 2004. – С. 168.
11. Осипян В. О. Моделирование систем защиты информации, содержащих диофантовы трудности. Разработка методов решений многостепенных систем диофантовых уравнений. Разработка нестандартных рюкзачных криптосистем : монография / В. О. Осипян. – LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 344 с.
12. Ричард Э. Смит. Аутентификация: от паролей до открытых ключей / Ричард Э. Смит. – Москва : Вильямс, 2002. – С. 432.
13. Руденко М. В. Исследование и разработка современной информационной системы оплаты коммунальных услуг на базе мобильных устройств связи / М. В. Руденко, В. А. Атрощенко, Р. Х. Багдасарян, В. Е. Бельченко, И. В. Бельченко, Р. А. Дьяченко, Д. Л. Пиотровский. – Армавир, 2017. – С. 168.
14. Саломая А. Криптография с открытым ключом / А. Саломая. – Москва : Мир, 1995. – 318 с.
15. Самищенко С. С. Атлас необычных папиллярных узоров / С. С. Самищенко. – Москва : Юриспруденция, 2001. – 320 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, № 8. – P. 1010–1025.

References

1. Atroschenko V. A., Dyachenko R. A., Rudenko M. V., Bagdasaryan R. Kh. K voprosu razrabotki algoritma peredachi zakrytykh dannykh po otkrytym setyam mezhdu 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* [III International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 52nd anniversary of the flight of Yu.A. Gagarin in space]. 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 : collection of scientific articles 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-tehnicheskie sredstva : materialy IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Mathematical methods and information technology tools : Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference], 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* [V International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 54th anniversary of the flight of Yu. A. Gagarin in space]. 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 dannykh [Organization of reliable communication channels when transferring technological data]. *Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii* [Modern automation technology], 2011, vol. 4, pp. 62–65.
7. Dyachenko R. A., Bagdasaryan R. Kh., Rudenko M. V., Zima A. M., Makeev S. A. Analiz sovremennykh metodov i sredstv optimizatsii zaprosov k raspredelyonnym khranilishcham informatsii [Analysis of modern methods and means of optimizing queries to distributed repositories of information]. *Nauchnye chteniya imeni professora N.E. Zhukovskogo : sbornik nauchnykh statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific readings named after Professor N. E. Zhukovsky : Proceedings of the V International Scientific Practical Conference], 2015, pp. 183–185.
8. Ivanov M. A. Kriptograficheskie metody zashchity informatsii v kompyuternykh sistemakh i setyakh [Cryptographic methods for protecting information in computer systems and networks]. Moscow, Kudits-Obraz Publ., 2001. 363 p.
9. Kulba V. V., Kovalevskiy S. S., Kosyachenko S. A., Sirotuk V. O. *Teoreticheskie osnovy proektirovaniya optimalnykh struktur raspredelyonnykh baz dannykh. Seriya «Informatizatsiya Rossii na poroge XXI veka»* [Theoretical bases of designing optimal structures of distributed databases. Series "Informatization of Russia on the threshold of the XXI century"]. Moscow, SINTEG, 1999. 660 p.
10. Osipyany 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, 2004, p. 168.
11. Osipyany V. O. *Modelirovaniye sistem zashchity informatsii soderzhashchikh diofantovy trudnosti. Razrabotka metodov resheniy mnogostepennykh sistem diofantovykh uravneniy. Razrabotka nestandartnykh ryukzachnykh kriptosistem : monografiya* [Modeling information security systems containing Diophantine difficulties. Development of methods for solving multi-step systems of Diophantine equations. Development of custom backpack cryptosystems : monograph]. LAMBERT Academic Publishing, 2012. 344 p.
12. Richard E. Smit. *Autentifikatsiya: ot paroley do otkrytykh klyuchey* [Authentication: from passwords to public keys]. Moscow, Williams Publ., 2002. p. 432.
13. Rudenko M. V., Atroschenko V. A., Bagdasaryan R. Kh., Belchenko V. E., Belchenko I. V., Dyachenko R. A., Piotrovskiy D. L. *Issledovanie i razrabotka sovremennoy informatsionnoy sistemy oplaty kommunalnykh uslug na baze mobilnykh ustroystv svyazi* [Research and development of a modern information system for utilities payment based on mobile communication devices]. Armavir, 2017, p. 168.
14. Salomaa A. *Kriptografiya s otkrytym klyuchom* [Cryptography with a public key]. Moscow, Mir Publ., 1995. 318 p.
15. Samishchenko S. S. *Atlas neobychnykh papillyarnykh uzorov* [Atlas of unusual papillary patterns]. Moscow, Yurisprudentsiya, 2001. 320 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,

УДК 004.42

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ СУБЪЕКТИВНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ИСПЫТУЕМЫХ

Статья поступила в редакцию 20.04.2019, в окончательной варианте – 06.05.2019.

Станишевская Алина Владимировна, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, магистрант, e-mail: a.stanishevskaya@gmail.com

Азмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, доктор технических наук, профессор, e-mail: iskander_agm@mail.ru

В статье рассмотрено описание методики организации проведения тестирования и оценки его результатов для выявления различных компетенций испытуемого на основе применения теории нечетких множеств, дополнительно учитывающей время ответа на каждое из заданий теста. Отмечено, что, несмотря на ряд преимуществ: простота, равные условия для испытуемых, более равномерный «охват» материала, тестирование в то же время обладает и некоторыми существенными недостатками. Уровень субъективизма при использовании тестирующих систем хоть и снижается, однако до конца субъективный фактор исключить не удастся, поскольку на каждом этапе создания тестирующих систем активно используется информация, полученная от экспертов. Эта информация преимущественно носит вербальный характер и для ее формализации целесообразно использовать методы теории нечетких множеств. Дополнительная фиксация времени ответа на каждое из заданий теста позволяет более эффективно планировать учебный процесс и точнее оценивать отдельные компетенции испытуемого.

Ключевые слова: тестирование, уровень сложности задания, лингвистическая переменная, нечеткое значение параметра, терм-множество, функция принадлежности, экспертная оценка, время выполнения тестового задания

Графическая аннотация (Graphical annotation)



THE DECREASE OF THE SUBJECTIVE UNCERTAINTY LEVEL DURING THE USE OF TESTING TO ESTIMATE THE LEVEL OF COMPETENCE OF THE TESTED

The article was received by editorial board on 20.04.2019, in the final version – 06.05.2019.

Stanishevskaya Alina V., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, undergraduate student, e-mail: a.stanishevskaya@gmail.com

Azhmukhamedov Iskandar M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: iskander_agm@mail.ru

The article contains the description of the methodology for organizing testing and evaluating its results in order to identify the subject's various competencies based on the application of the theory of fuzzy sets, which additionally takes into account the response time to each of the test tasks. It was noted that despite a number of advantages, simplicity, equal conditions for the subjects, more even "coverage" of the material, testing at the same time has some significant drawbacks. Although the level of subjectivity is reduced when using testing systems, however, the subjective factor cannot be completely eliminated, because at each stage in the creation of testing systems information from experts is actively used. This information is primarily verbal in nature and for its formalization it is advisable to use the methods of the theory of fuzzy sets. Additional fixation of the response time to each of the test tasks allows you to more effectively plan the learning process and more accurately assess the individual competencies of the subject.

Keywords: testing, the difficulty level of the task, linguistic variable, fuzzy parameter value, term set, membership function, expert evaluation, test task run time

В классической схеме определение уровня знаний и умений испытуемого предусматривает наличие одного или нескольких экзаменаторов, которые формулируют вопрос испытуемому, исходя из своих личных предпочтений.

После этого экзаменатор получает и воспринимает ответ испытуемого и выносит свое субъективное суждение о соответствии этого ответа ожидаемому эталону. Из этой схемы видно, насколько субъективен данный процесс: экзаменуя испытуемого даже в одной и той же предметной области, один экзаменатор может задать одни вопросы, другой акцентирует внимание совершенно на других аспектах той же самой предметной области.

С другой стороны, один и тот же вопрос может быть поставлен разными экзаменаторами в совершенно различной форме. Восприятие ответа также зависит исключительно от экзаменатора: уровня его собственного понимания предмета, его видения и, в конце концов, даже от его настроения в данный момент времени. Все это естественным образом сказывается на конечном результате оценивания уровня знаний и компетенций испытуемого.

Для уменьшения влияния субъективного фактора часто прибегают к использованию автоматизированных тестирующих систем (ТС), поскольку такие системы позволяют исключить непосредственное участие экзаменатора. Тестирующие системы являются полезным инструментом в процессе оценки уровня различных компетенций. К ним прибегают, например, в процессе обучения с целью установить текущий срез знаний студентов; при приеме на работу для определения соответствия кандидата той или иной вакантной должности и т.д. [15].

Применение ТС, по сравнению с классической схемой тестирования, обладает рядом преимуществ: простота, равные условия для испытуемых, более равномерный «охват» материала и т.п.

Обобщенная схема тестирования содержит в себе следующие основные функциональные блоки (рис. 1):

- 1) формирование тестовых заданий;
- 2) проведение тестирования;
- 3) анализ результатов.

Методологической базой для процесса тестирования служат требования государственных образовательных и профессиональных стандартов, должностных инструкций и т.п.



Рисунок 1 – Общая схема тестирования

Казалось бы, исключение из процесса личности экзаменатора полностью решает проблему наличия субъективности при проведении испытания. Однако это не так. Системы тестирования, предлагаемые и широко внедряемые в последнее время [5–6], как альтернатива классическому процессу оценки знаний испытуемого, также в природе своей не лишены определенной доли субъективности, которая в данном случае «спрятана» более глубоко. Каждый из этапов разработки тестирующей системы, призванный заменить экзаменатора, так или иначе включает в себя элементы экспертных оценок.

Например, для анализа результатов тестирования часто привлекаются эксперты в соответствующей предметной области, представители работодателей, контролирующих органов и т.п. На данном этапе для формулировки эталонных требований используются такие понятия, как «уверенное владение», «умение анализировать», «обладание навыками» и т.д., которые по сути своей являются слабо формализуемыми.

Поскольку экспертами выступают люди, то соответственно присущий им субъективизм полностью не исчезает, хотя и может быть нивелирован с помощью использования различных приемов, которые предоставляют нам теория вероятности и математической статистика (ТВМС), теория нечетких множеств, теория принятия решений (ТПР) и другие науки [10, 17–18].

Целесообразность применения теории нечетких множеств в данном случае обусловлена тем, что она направлена на разработку формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс решения проблем, благодаря учету в этих моделях и методах когнитивных возможностей человека при решении им управленческих задач [2].

Исследованию специфических проблем, возникающих при проектировании и использовании ТС, посвящено достаточно большое количество научных работ, например [7, 15–16]. Однако они не позволяют в полной мере учесть присущий различным этапам тестирования субъективизм.

Кроме того, в имеющихся системах тестирования не учитывается время, затраченное испытуемым для ответа на каждое из заданий теста. Берется в расчет лишь общее время прохождения всего теста в целом.

Исходя из этого, целью данной работы явилось описание методики организации проведения тестирования и оценки его результатов для выявления различных компетенций испытуемого на основе применения теории нечетких множеств, дополнительно учитывающей время ответа на каждое из заданий теста.

Решение задачи. Построим методику формализации экспертных данных на основе идей, изложенных в [4].

Прежде всего введем лингвистическую переменную «Уровень фактора» и определим термножество ее значений, состоящее из 5-ти элементов:

$$L = \{\text{низкая (Н), ниже среднего (НС), средняя (С), выше среднего (ВС), высокая (В)}\}.$$

Поставим в соответствие элементам термножества пятиуровневый 01-классификатор, представляющий собой набор трапециевидальных чисел [18]:

$$Н(0; 0; 0,15; 0,25); НС(0,15; 0,25; 0,35; 0,45); С(0,35; 0,45; 0,55; 0,65);$$

$$ВС(0,55; 0,65; 0,75; 0,85); В(0,75; 0,85; 1; 1) \quad (1)$$

где (a1; a2; a3; a4) – координаты абсцисс вершин соответствующей трапеции. Например, лингвистическому значению «Средний» соответствует трапеция с координатами (0,35; 0,45; 0,55; 0,65) (рис. 2).

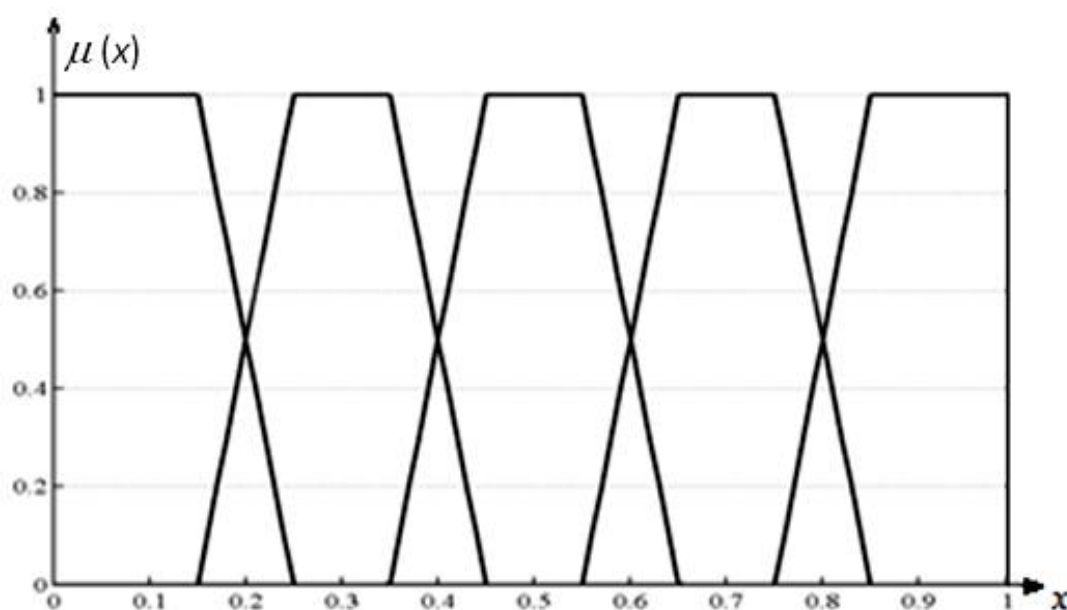


Рисунок 2 – Система трапециевидальных функций принадлежности на 01-носителе (пятиуровневый нечеткий 01-классификатор)

В построенном классификаторе, который является разновидностью «серой» шкалы Поспелова [11], переход от одного свойства к другому происходит постепенно, в противовес интервальному шкалированию, которое широко используется в системах когнитивного моделирования [1, 11, 12].

В [14] отмечается, что применение «серых» шкал позволяет лучше отразить оценки экспертов в условиях неопределенности.

Применение классификатора позволяет перейти от качественного описания уровня фактора к стандартному количественному виду соответствующей функции принадлежности на множестве нечетких трапециевидальных чисел [17].

Пусть T_i – тест, позволяющий проверить уровень владения некоторой компетенцией K_j . Предположим, что общая сложность теста зависит от сложности трех составляющих, входящих в тест: k_1 , k_2 и k_3 .

Например, если T_i – тест, предназначенный для выявления уровня компетенции K_j = «Знание объектно-ориентированного программирования (ООП)», то в качестве k_1 , k_2 и k_3 могут выступать «Знание принципов ООП», «Умение применять шаблоны проектирования при разработке программного обеспечения» и «Умение спроектировать гибкую архитектуру программного обеспечения». Причем вклад этих составляющих в оценку уровня сложности теста T_i может быть различен. Это различие учитывается с помощью заданных экспертами весов, соответствующих каждому из k .

Веса, используемые при оценке сложности теста и определении результата его выполнения, могут быть либо непосредственно заданы экспертами, либо получены как веса Фишберна [12] в результате нестрогого ранжирования.

В соответствии с методом нестрогого ранжирования экспертом производится нумерация всех критериев по возрастанию степени их важности [13]. Причем допускается, что эксперту не удастся различить между собой некоторые критерии. В этом случае при ранжировании он помещает их рядом в произвольном порядке. Затем проранжированные критерии последовательно нумеруются. Оценка (ранг) критерия определяется его номером.

Если на одном месте находятся несколько неразличимых между собой критериев, то за ранг каждого из неразличимых критериев целесообразно принять номер всей группы как целого объекта в упорядочении [3].

Например, пусть критерии K_i ($i=1, \dots, 5$) упорядочены экспертом следующим образом:

$K_4; (K_1, K_3); K_5; K_2$.

Поскольку критерии 1 и 3 неразличимы и оба занимают вторую позицию, то сумма номеров равна: $1+2+2+3+4=12$. Соответственно, вес критерия K_4 составляет $1/12$, критериев K_1 и K_3 – по $2/12$, критерия K_5 – $3/12$, K_2 – $4/12$. Сумма весов равна единице.

Найденные таким образом оценки представляют собой обобщение системы весов Фишберна [12] на случай смешанного распределения предпочтений, когда наряду с предпочтениями в систему входят и отношения безразличия.

Общая оценка выполнения теста Q вычисляется как «произведение» сложности теста на результат его выполнения.

После прохождения испытуемым всего множества тестов, предназначенных для оценки уровня владения данной компетенцией K_j , оценка ее уровня U_j находится как максимальное значение общих оценок выполнения всего множества тестовых заданий.

При этом значения параметров соответствуют набору качественных оценок L с семейством функций принадлежности (1).

В таблице приведены исходные данные и результаты расчетов демонстрационного примера определения уровня некоторой компетенции K_1 .

Таблица – Исходные данные и результаты расчетов для компетенции K_1

K_j	T_i	$k_1 /$ (вес)	$k_2 /$ (вес)	$k_3 /$ (вес)	D (Ω)	$r_1 /$ (вес)	$r_2 /$ (вес)	$r_3 /$ (вес)	R (Ω)	Q	U_j
K_1	T_1	HC / (1/5)	C / (2/5)	C / (2/5)	C (0,81)	B / (0,7)	BC / (0,2)	B / (0,1)	B (0,79)	C (0,72)	BC (0,83)
	T_2	HC / (1/5)	HC / (2/5)	C / (2/5)	HC (0,61)	B / (0,7)	B / (0,2)	B / (0,1)	B (0,79)	HC (0,84)	
	T_3	BC / (1/5)	B / (2/5)	B / (2/5)	B (0,80)	BC / (0,7)	BC / (0,2)	B / (0,1)	BC (0,91)	BC (0,83)	

Примечание. D – оценка сложности теста; R – результат выполнения теста; r_1, r_2, r_3 – частные критерии. Для данного расчетного примера в качестве r_1 выступает «правильность выполнения задания», r_2 – «полнота выполнения заданий», r_3 – скорость выполнения.

Полученный результат необходимо лингвистически распознать. Для этого вычисляется индекс Ω , характеризующий степень соответствия значения фактора той или иной качественной оценке из терм-множества лингвистической переменной L [4]:

$$\Omega = (1 + \tilde{\rho}) / 2, \quad (2)$$

$$\tilde{\rho} = (\rho_{in} - \rho_{out}) / (\rho_{in} + \rho_{out}), \quad (3)$$

где

$$\rho_{in} = \int_{a_1}^{a_4} (\min[\mu_1(x); \mu_2(x)]) dx; \quad \rho_{out} = \left| \int_{b_1}^{b_4} [\mu_2(x)] - \rho_{in} \right|;$$

(ρ_{out} представляет собой площадь нечеткого числа $B(b_1, b_2, b_3, b_4)$, характеризующего результат, лежащую вне эталонного нечеткого числа $A(a_1, a_2, a_3, a_4)$, а ρ_{in} – площадь, лежащая внутри этого же нечеткого числа); $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$ – функции принадлежности соответствующих нечетких чисел.

При этом обеспечивается семантическое соответствие: чем больше индекс схожести, тем выше степень соответствия вычисленного значения одному из элементов терм-множества L .

Разница индексов схожести качественных оценок, полученных экспериментальным и теоретическим путем, может быть использована в качестве метрической характеристики степени адекватности нечеткой когнитивной модели.

Таким образом, в результате тестового контроля для компетенции K_1 была получена оценка «Выше среднего» со степенью принадлежности 0,83.

Предположим, что для K_2 и K_3 аналогичным образом получены оценки «Выше среднего» и «Средняя». Причем эксперты при ранжировании расположили K_j в следующей последовательности: (K_1, K_2); K_3 . Тогда веса Фишберна для K_1 и K_2 равны по 1/4, а для K_3 вес составляет 2/4.

Несмотря на то, что две компетенции из трех имеют уровень «Выше среднего», комплексный уровень компетентности лишь «Средний», поскольку влияние третьей компетенции на интегральную оценку выше.

Описание разработанного программного обеспечения. Для автоматизации процесса тестирования и получения оценки с использованием теории нечетких множеств разработано тестирующее программное обеспечение, которое позволяет производить оценку результатов испытуемого в соответствии с описанной моделью.

В тестирующей системе предусмотрено три пользователя: администратор, эксперт, тестируемый.

Диаграмма вариантов использования представлена на рисунке 3.

Администратор отвечает за управление пользователями и их правами доступа.

Эксперт наполняет базу, формируя тестовые задания.

Испытуемый выполняет различные тестовые задания и по окончании тестирования имеет возможность просмотреть свои результаты.

Диаграмма последовательности для блока проведения тестирования (блок 2 на рис. 1) разработанного программного обеспечения приведена на рисунке 4.

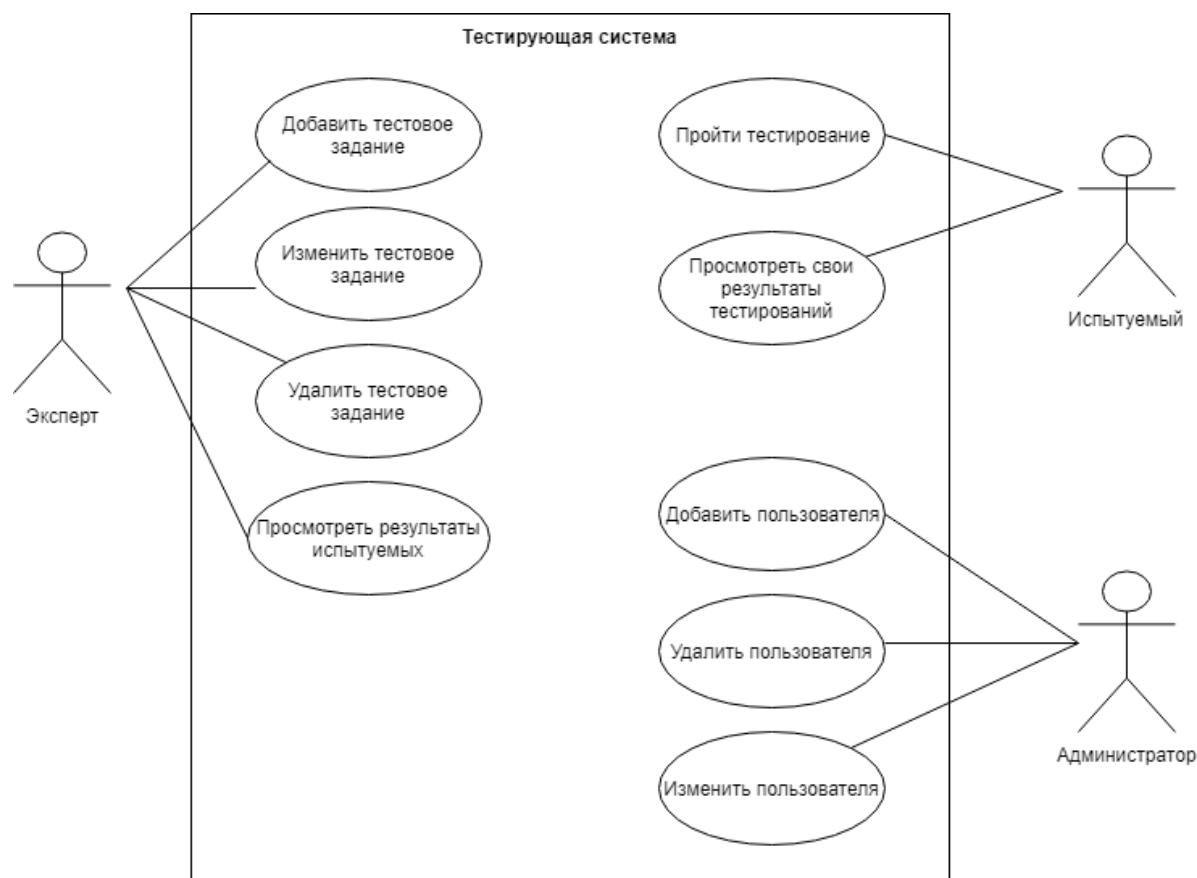


Рисунок 3 – Диаграмма вариантов использования

Программа представляет собой web-приложение и разработана на языке Golang 1.10 в среде разработки GoLand 2017.3.2 от компании JetBrains. В качестве базы данных используется PostgreSQL 10.3. Frontend разработан с помощью Javascript библиотеки для создания пользовательских интерфейсов Vue.js версии 2.5.17. Написано около 2500 строк кода.

Golang обладает рядом преимуществ: кроссплатформенность, производительность и легкость в поддержке за счет низкого порога вхождения.

Vue.js обеспечивает быструю загрузку страниц за счет небольшого объема библиотеки, имеет хорошую полноценную документацию, что позволяет быстро изучить фреймворк и применить в проекте.

При первом входе в программу необходимо авторизоваться. Если пользователь еще не имеет созданного аккаунта, то необходимо зарегистрироваться. Самостоятельно можно создать только учетную запись с правами «Испытуемый». Для получения прав эксперта необходимо обратиться к администратору.

На рисунке 5 изображен интерфейс для входа в систему тестирования.

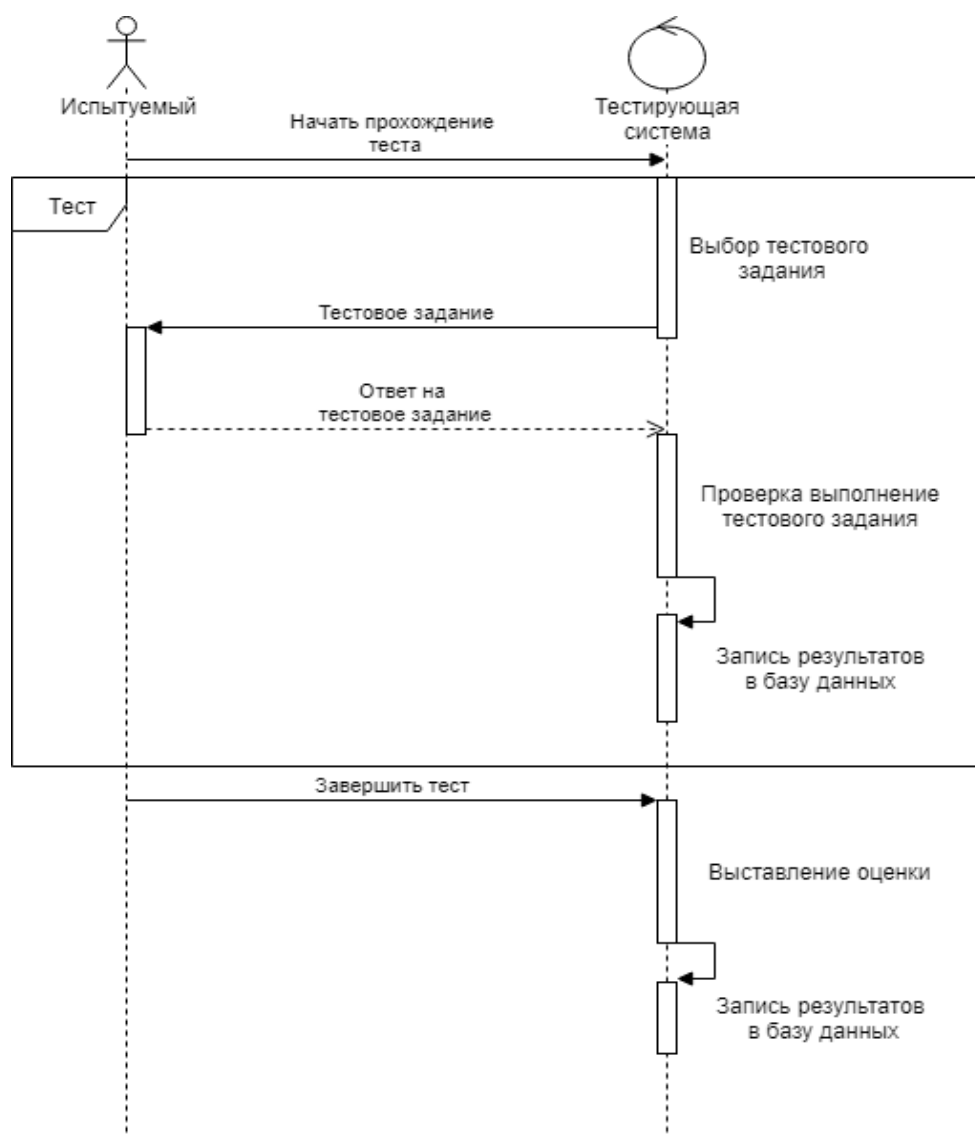


Рисунок 4 – Диаграмма последовательности для блока тестирования

Вход

☐ Запомнить меня

[Еще не зарегистрированы? Зарегистрироваться!](#)

Войти

Рисунок 5 – Окно авторизации

После успешного входа в систему пользователь с ролью «Испытуемый» может выбрать тест для прохождения (рис. 6). После выбора теста на экран выводится его краткое описание и количество вопросов тестовых заданий, из которых он состоит, и нормативное время, за которое он должен пройти весь тест.

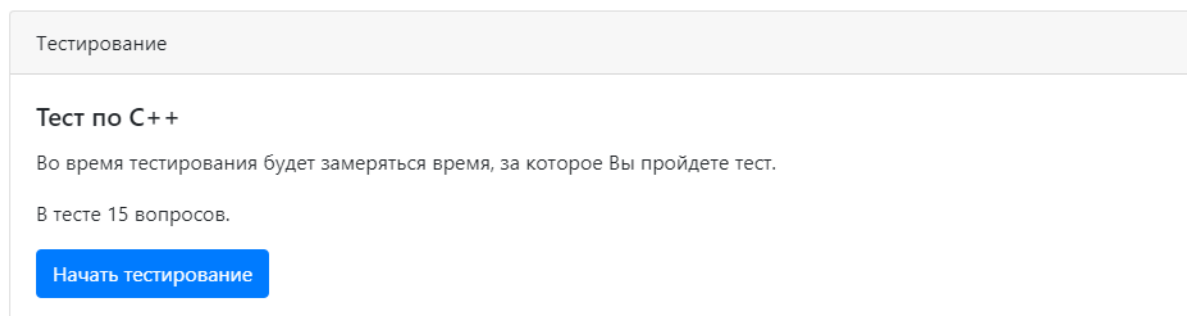


Рисунок 6 – Информация о тесте

После начала тестирования запускается таймер, который замеряет, сколько времени занимает у пользователя выполнение каждого задания и всего теста в целом.

Данная информация может быть использована при оценивании результатов тестирования с целью установить, насколько усвоен испытуемым тот или иной раздел, а также адекватно ли установлена для каждого вопроса его сложность.

Пользователю предлагается по очереди выполнять тестовые задания. Процесс тестирования в программе представлен на рисунке 7.

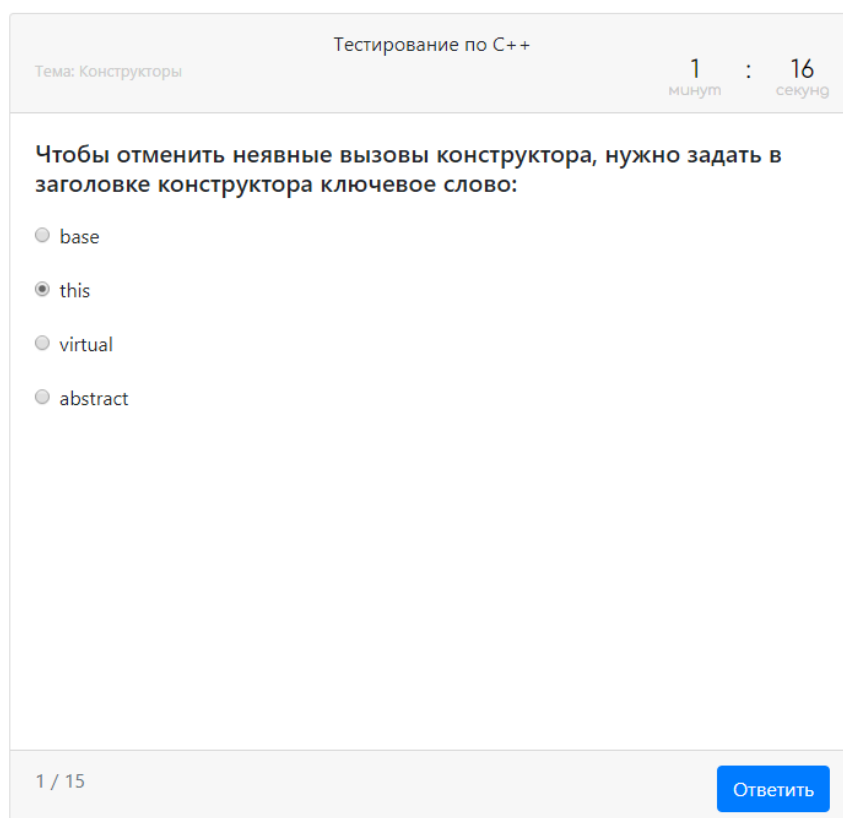


Рисунок 7 – Пример ТЗ 1-го типа (с выбором единственного ответа из числа предложенных)

После окончания тестирования пользователь может просмотреть результаты тестирования (рис. 8).

Тестирующая система Тестирование Результаты						
Результаты пользователя к тесту: Тест по C++						
№	Вопрос	Ответ пользователя	Правильный ответ	Степень правильности ответа	Затраченное время (сек)	Нормативное время (сек)
1	Чтобы отменить неявные вызовы конструктора, нужно задать в заголовке конструктора ключевое слово:	this	this	1	20	120
2	Отметьте операции, которые не запрещается перегрузить как операцию индексирования:	operator; operator!; operator[];	operator[]	0.13	47	180
3	Метод, с помощью которого можно получить значение первого элемента	First()	First()	1	39	180

Рисунок 8 – Результаты тестирования пользователя

На странице результатов тестирования пользователь может посмотреть список вопросов теста, ответы, которые были даны пользователем, и правильные ответы. Также пользователь может увидеть в таблице результатов степень правильности его ответов на каждый вопрос и затраченное и нормативное время.

Эксперту также доступна информация о результатах тестирования пользователей. Данная информация может помочь улучшить процесс обучения, увидеть, какие вопросы отняли больше всего времени пользователем на ответ и в каких наблюдаются ошибки.

Заключение. Таким образом, в работе предложена методика и реализующее ее программное обеспечение, позволяющее формализовать сведения при оценивании результатов тестовых заданий. Разработанное веб-приложение позволяет создавать тесты, проводить тестирование испытуемых и оценивать их с применением нечеткой модели.

Выдаваемые программой результаты позволяют оценить уровень усвоения испытуемыми материала по темам. Этому способствует выдача не только результатов выполнения тестовых заданий, но и отражение затраченного на выполнение каждого задания времени. Эта же информация может быть чрезвычайно полезна для корректировки учебного процесса с целью повышения его эффективности.

Более подробному исследованию данного вопроса авторы предполагают посвятить в дальнейшем отдельную статью.

Библиографический список

1. Авдеева З. К. Интегрированная система «КУРС» для когнитивного управления развитием ситуаций / З. К. Авдеева, В. И. Максимов, В. М. Рабинович // Тр. ИПУ РАН. – Москва : ИПУ РАН, 2001. – Т. 14. – С. 89–114.
2. Авдеева З. К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) / З. К. Авдеева, С. В. Коврига, Д. И. Макаренко // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2006) : труды 6-й Международной конференции / под ред. З. К. Авдеевой, С. В. Ковриги. – Москва : Институт проблем управления РАН, 2006. – С. 41–54.
3. Ажмухамедов И. М. Математическая модель комплексной безопасности компьютерных систем и сетей на основе экспертных суждений / И. М. Ажмухамедов // Инфокоммуникационные технологии. – 2009. – Т. 7, № 4. – С. 103–107.
4. Ажмухамедов И. М. Нечеткая когнитивная модель оценки компетенций специалиста / И. М. Ажмухамедов // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 186–190.
5. Брумштейн Ю. М. Системный анализ вопросов компьютерного тестирования с использованием нечетких ответов. Часть 1. Тестовые задания категорий «выбор из набора ответов» и «ранжирование объектов» / Ю. М. Брумштейн, Д. И. Коновалова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 4. – С. 57–71.
6. Гаркуша В. З. Система дистанционного обучения «Прометей», версия 4.0 / В. З. Гаркуша, О. А. Богомолов // Телематика'2002 : труды Всероссийской научно-методической конференции. – Санкт-Петербург : СПбГИТМО, ГосНИИ ИТТ "Информика", 2002. – С. 264–265.
7. Данилова С. Д. Адаптивная нечеткая модель оценивания результатов автоматизированного тестирования с разделением заданий по уровням усвоения : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.17 / С. Д. Данилова, 2005.

8. Коростелев Д. А. Система поддержки принятия решений на основе нечетких когнитивных моделей «ИГ-ЛА» / Д. А. Коростелев, Д. Г. Лагерева, А. Г. Подвесовский // Труды 11-й нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008. – 2008. – Т. 3. – С. 327–329.
9. Максимов В. И. Программный комплекс «Ситуация» для моделирования и решения слабоформализованных проблем / В. И. Максимов, А. К. Григорян, Е. К. Корноушенко // Междунар. конф. по проблемам управления. – 1999. – Т. 2. – С. 58–65.
10. Орлов А. И. Теория принятия решений : учебник / А. И. Орлов. – Москва : Экзамен, 2006. – 573 с.
11. Поспелов Д. С. «Серые» и/или «черно-белые» [шкалы] / Д. С. Поспелов // Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлексивные процессы». – 1994. – № 1. – С. 26–39.
12. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн. – Москва : Наука, 1978. – 155 с.
13. Чегодаев А. И. Математические методы анализа экспертных оценок / А. И. Чегодаев // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2010. – № 2. – С. 130–135.
14. Ярушкина Н. Г. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / Н. Г. Ярушкина. – Москва : Физматлит, 2007. – 208 с.
15. Biswas R. An application of fuzzy sets in students' evaluation / R. Biswas // Fuzzy Sets and Systems. –1995. – № 74 (2). – P. 187–194.
16. Feden P. D. Methods of teaching. Applying cognitive science to promote student learning / P. D. Feden, R. M. Vogel. – New York : Mc Graw-Hill, 2003. – P. 257–302.
17. Piegat Andrzej. Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables / Andrzej Piegat. – Heidelberg ; New York : Physica-Verl., 2001.
18. Zadeh L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – № 8. – P. 338–353.

References

1. Avdeeva Z. K., Maksimov V. I., Rabinovich V. M. Integrirovannaya sistema «KURS» dlya kognitivnogo upravleniya razvitiem situatsii [Integrated system "COURSE" for cognitive management of situation development]. *Trudy Instituta problema upravleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences]. Moscow, IPU RAN. 2001, vol. 14, pp. 89–114.
2. Avdeeva Z. K., Kovriga S. V., Makarenko D. I. Kognitivnoe modelirovanie dlya resheniya zadach upravleniya slabostруктуриrovannymi sistemami (situatsiyami) [Cognitive modeling for solving problems of weakly structured systems (situations)]. *Kognitivnyy analiz i upravlenie razvitiem situatsii (CASC'2006) : trudy 6-i Mezhdunarodnoy konferentsii* [Cognitive analysis and management of the development of situations (CASC'2006) : Proceedings of the 6th International Conference]. Moscow, Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences Publ., 2006, pp. 41–54.
3. Azhmukhamedov I. M. Matematicheskaya model kompleksnoy bezopasnosti kompyuternykh sistem i setey na osnove ekspertnykh suzheniy [Mathematical model of integrated security of computer systems and networks based on expert judgments]. *Infokommunikatsionnye tekhnologii* [Infocommunication Technologies], 2009, vol. 7, no. 4, pp. 103–107.
4. Azhmukhamedov I. M. Nechetkaya kognitivnaya model otsenki kompetentsii spetsialista [Fuzzy cognitive model of specialist competency assessment]. *Vestnik AGTU. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Engineering, and Computer Science], 2011, no. 2, pp. 186–190.
5. Brumshteyn Yu. M., Konovalova D. I. Sistemnyy analiz voprosov kompyuternogo testirovaniya s ispolzovaniyem nechetkikh otvetov. Chast 1. Testovyye zadaniya kategoriy «vybor iz nabora otvetov» i «ranzhirovaniye ob'yektov» [System analysis of computer testing questions using fuzzy answers. Part 1. Test tasks of the categories “choice from a set of answers” and “ranking of objects”]. *Prikladnyy zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2018, no. 4, pp. 57–71.
6. Garkusha V. Z., Bogomolov O. A. Sistema distantsionnogo obucheniya «Prometei», versiya 4.0 [Distance learning system “Prometheus”, version 4.0]. *Telematika'2002 : Trudy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Telematics'2002 : Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference]. St. Petersburg, 2002, pp. 264–265.
7. Danilova S. D. Adaptivnaya nechetkaya model otsenivaniya rezultatov avtomatizirovannogo testirovaniya s razdeleniem zadaniy po urovniam usvoeniya [Adaptive fuzzy model for evaluating the results of automated testing with the division of tasks by levels of learning], 2005.
8. Korostelev D. A., Lagerev D. G., Podvesovskiy A. G. Sistema podderzhki priniatiya resheniy na osnove nechetkikh kognitivnykh modeley «IGLA» [Decision support system based on fuzzy cognitive models of “NEEDLE”]. *Trudy 11-i natsionalnoy konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2008* [Proceedings of the 11th National Conference on Artificial Intelligence with International Participation KII-2008], 2008, vol. 3, pp. 327–329.
9. Maksimov V. I., Grigorian A. K., Kornoushenko E. K. Programmyy kompleks «Situatsiya» dlya modelirovaniya i resheniya slaboformalizovannykh problem [The program complex “Situation” for modeling and solving weakly formalized problems]. *Mezhdunarodnaya konferentsia po problemam upravleniya* [International conference on management issues], 1999, vol. 2, pp. 58–65.
10. Orlov A. I. *Teoriya prinyatiya resheniy : uchebnik* [Decision Theory : textbook]. Moscow, Ekzamen Publ., 2006. 573 p.
11. Pospelov D. S. «Serye» i/ili «cherno-belye» [shkaly] [“Gray” and / or “black and white”]. *Prikladnaya ergonomika. Spetsialnyy vypusk «Refleksivnye protsessy»* [Applied Ergonomics. Special issue “Reflexive processes”], 1994, no. 1, pp. 26–39.
12. Fishbern P. *Teoriya poleznosti dya priniatiya resheniy* [Theory of utility for decision making]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 155 p.

13. Chegodayev A. I. Matematicheskiye metody analiza ekspertnykh otsenok [Mathematical methods for analyzing expert assessments]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of Samara State University of Economics], 2010, no. 2, pp. 130–135.
14. Yarushkina, N.G. *Nechetkie gibridnye sistemy. Teoriya i praktika* [Fuzzy hybrid systems. Theory and practice]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 208 p.
15. Biswas R. An application of fuzzy sets in students' evaluation. *Fuzzy Sets and Systems*, 1995, no. 74 (2), pp. 187–194.
16. Feden P. D., Vogel R. M. *Methods of teaching. Applying cognitive science to promote student learning*. New York, McGraw-Hill, 2003, pp. 257–302.
17. Piegat Andrzej. *Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables*. Heidelberg; New York, Physica-Verl., 2001.
18. Zadeh L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, no. 8, pp. 338–353.

УДК 004.588

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЕТЕНТНОСТИ РОССИЙСКИХ ШКОЛЬНИКОВ В ВОПРОСАХ КРИПТОГРАФИИ: АНАЛИЗ ЦЕЛЕЙ, ВОЗМОЖНЫХ ПОДХОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ, СРЕДСТВ ИХ ПРОГРАММНОЙ ПОДДЕРЖКИ

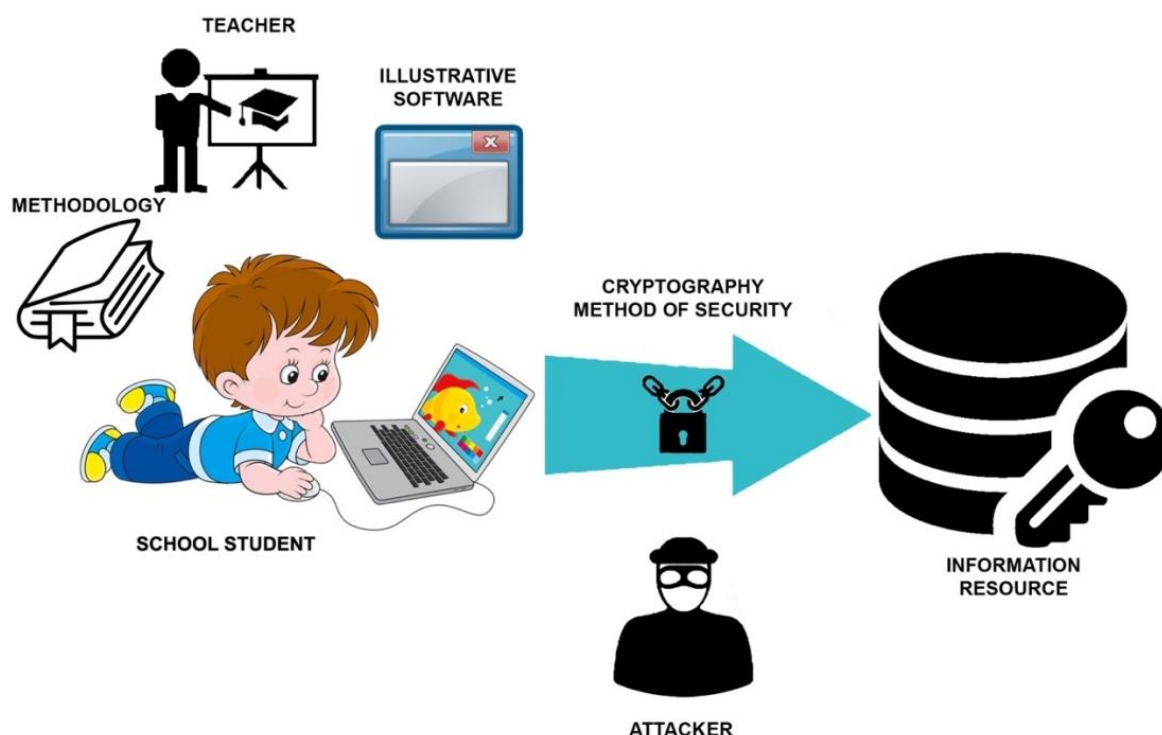
Статья поступила в редакцию 15.05.2019, в окончательном варианте – 04.06.2019.

Кузнецова Валентина Юрьевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, магистрант, e-mail: arhelialia@bk.ru

Показана роль обучения криптографическим методам защиты информации школьников как активных пользователей глобальной сети интернет. С позиций государства, общества, родителей и самих школьников рассмотрены цели повышения уровня компетентности несовершеннолетних в вопросах информационной безопасности. Проанализировано существующее положение в сфере образовательной политики в вопросе обучения криптографии и выявлены недостатки. Предложены методические рекомендации по обучению криптопримитивам (шифры перестановки, подстановки, аналитические преобразования и гаммирование) с использованием учебно-демонстрационного программного продукта. Показаны функциональные возможности и результативность описываемого программного продукта в целях обеспечения компетентности школьников в вопросах криптографии.

Ключевые слова: криптография, информационная безопасность, общее образование, обучение криптографии, системное мышление, программный продукт

Графическая аннотация (Graphical annotation)



THE ENSURING COMPETENCE OF RUSSIAN STUDENTS IN CRYPTOGRAPHY ISSUES: ANALYSIS OF PURPOSES, POSSIBLE APPROACHES, MEANS OF THEIR SOFTWARE SUPPORT

The article was received by editorial board on 15.05.2019, in the final version – 04.06.2019.

Kuznetsova Valentina Yu., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,
undergraduate student, e-mail: arhelial@bk.ru

In this article are proved the role of teaching cryptographic methods of protecting information of schoolchildren as active users of the global Internet. From the standpoint of the state, society, parents and students, the goals of raising the level of competence of minors in matters of information security were considered. Analyzed the existing situation in the field of educational policy in the issue of cryptography training and identified shortcomings. Methodical recommendations for teaching cryptoprimitives are proposed (permutation ciphers, substitutions, analytical transformations and gamming) using training and demonstration software. The functional capabilities and effectiveness of the described software product are shown in order to ensure the competence of students in cryptography issues.

Keywords: cryptography, information security, general education, cryptography training, system thinking, educational and demonstration software

Введение. В последние годы во всем мире, и в том числе в России, наука «криптография» стала интенсивно развиваться как повсеместно используемая во всех сферах жизни общества. Она легла в основу многих областей комплексной защиты информации государственных, экономических и военных информационных ресурсов, а также в повседневных бытовых вопросах. Криптографические методы защиты информации используются при личной переписке посредством электронной почты, при использовании систем онлайн-банкинга, электронного документооборота и т.п. И перечисленными системами уже активно пользуются школьники, которые чаще всего и становятся жертвами угроз, связанных с детской невнимательностью, наивностью и некомпетентностью в вопросах информационной безопасности.

Информационная безопасность подрастающего поколения – приоритетная задача государства, и если всего лишь пару лет назад правила безопасного использования интернета обсуждались только со студентами и старшеклассниками, то уже сейчас с интенсивной информатизацией общества (по данным Росстата, общее количество домашних хозяйств с доступом в интернет за последние 3 года выросло в среднем на 4 %, из них с помощью мобильного устройства на 15 %) активными пользователями глобальной сети становятся дети в возрасте 9–12 лет и их взросление происходит неразрывно от технологий. Но при всем этом уровень компетентности в сфере информационной безопасности (ИБ) у юных пользователей недостаточный для того, чтобы безопасно использовать привычные и наиболее популярные информационные ресурсы. Это подтверждает статистика: с 2014 г. растет количество преступлений, совершенное против несовершеннолетних, 44 % несовершеннолетних пользователей интернета хотя бы раз подвергались в сети сексуальным домогательствам, жертвами интернет-мошенников, в том числе при совершении онлайн-платежей, становились 54 % опрошенных детей в возрасте до 18 лет [16].

На основании вышеизложенного целью данной работы стал анализ текущего уровня компетентности в вопросах информационной безопасности и криптографии для формирования рекомендаций по методам и средствам его повышения.

Позиция лиц, заинтересованных в компетентности школьников. Информационная безопасность всеобъемлюще охватывает все области общественной жизни, поэтому компетенции в сфере защиты информации требуются не только для будущих IT-инженеров, но и для специалистов любых сфер деятельности, так как методами и средствами защиты информации должны сейчас уметь пользоваться любые пользователи персональных компьютеров. Именно поэтому затрагивать данный вопрос необходимо начиная с начальной школы. Это подтверждают и психологи, которые также утверждают, что именно в этом возрасте начинает формироваться системное мышление, на которое оказывает влияние изучение основ информационной безопасности и криптографии как ее ключевого элемента. Данный эффект, по мнению исследователей, основан на том, что занятия криптографией развивают у ребенка логику, умение связывать между собой в целостную систему определенные признаки, видеть и подмечать отдельные существенные элементы.

С позиции государства, родителей и общества повышение уровня компетентности школьников в вопросах ИБ поможет сократить количество преступлений, связанных с интернет-мошенничеством, потому что именно дети в силу своей доверчивости и невнимательности чаще всего становятся жертвами фишинговых сайтов, мошеннических платежных систем и прочих противоправных действий. Кроме того, это может предотвратить похищения и ограбления, так как большинство этих преступлений совершаются в результате необдуманных действий со стороны детей – публикация фотографий новых мобильных телефонов, домашних адресов и прочей личной информации, которой пользуются злоумышленники.

Вопросы криптографии в системе школьного образования России. Несмотря на заинтересованность государства в обеспечении должного уровня компетентности школьников в вопросах криптографии как основного метода обеспечения конфиденциальности, аутентичности и неотказуемости, в отечественной образовательной практике некоторые вопросы, связанные с криптографией, рассматриваются лишь частично в рамках школьного курса информатики при изучении тем, связанных с кодированием. Специальный курс криптографии как отдельный предмет или хотя бы более полный раздел в рамках курса информатики в федеральном образовательном стандарте и примерной учебной программе отсутствует.

Вопросы, связанные с криптографией, согласно поурочному календарно-тематического планированию, обычно рассматриваются в учебниках следующих классов.

В программах учебников информатики 2-го, 3-го, 5-го классов (рабочая программа по учебникам Н.В. Матвеевой, рассчитанная на 35 часов) [7] школьникам преподают шифрование на примере шифра Цезаря вместе с двоичным кодированием, при этом учащимся не дается пояснение о разнице этих понятий. В результате этого в сознании учащихся шифрование становится тождественным кодированию, что является абсолютно ошибочным. Например, азбука Морзе, являясь всемирно известным способом знакового кодирования, обеспечивает удобство передачи информации по линиям связи, в то время как криптоалгоритмы служат для обеспечения конфиденциальности хранимой и передаваемой информации.

В учебниках 10 класса И.Г. Семакина (углубленное изучение информатики) [6] в разделе «Информационные процессы в системах» среди мер защиты информации обзорно рассказывается о криптографии как науке, кратко описывается история развития криптографии, упоминается ассиметричное шифрование для введения термина «цифровая подпись». Наравне с этим дается определение закрытого ключа в симметричных криптосистемах (отождествляя его с ключом симметричного шифрования), что является неточностью и вводит в заблуждение учащихся. Понятие закрытого ключа правильно использовать только при обсуждении ассиметричных криптосистем. Для закрепления изученного материала в списке практических работ имеется тема «Шифрование данных», где учащимся необходимо решить задачи, связанные с шифрами Цезаря, Виженера, безымянными шифрами перестановки, которые не рассматривались в теоретическом материале. При этом авторы-составители ошибочно используют термины «декодирование» в значении «расшифрование».

В учебнике информатики для 11-го класса вопрос криптографии включен в урок по теме «Организация защиты информации. Антивирусная защита информации» (программа по учебникам И.Г. Семакина углубленного уровня) [11]. По аналогии с учебником 10-го класса, в нем допускается ошибка отождествления шифрования и кодирования: автор дает определение: «шифрование – это кодирование специального вида». Также вводится определение криптоанализа и ключей шифрования. В параграфе рассматривается более подробно шифр Цезаря и описывается механизм шифрования методом Виженера. Для закрепления материала учащимся предлагается решить 6 задач на оба метода шифрования.

Криптографию в школах обычно выводят за рамки образовательной программы и оставляют в качестве элементов внеурочной деятельности – факультативов и кружков. Издательство «Бином» в 2014 г. предлагало учителям организовывать внеурочную деятельность на основе предложенных ими учебно-методических комплектов. Один из них – учебное пособие Э.В. Тановой «Введение в криптографию: как защитить свое письмо от любопытных» [13]. Автор разработала элективный курс с подробной рабочей программой, методическими материалами и книгой для ученика и учителя. При этом изучение криптографии в рамках школьного образования различного уровня более подробно рассматривается в ее диссертационной работе [14].

Таким образом, приходится констатировать, что полноценные методические и дидактические материалы для проведения занятий по криптографии со школьниками отсутствуют. Каждый педагог на свое усмотрение подбирает материал по тому или иному шифру, ориентируясь исключительно на собственные предпочтения или опыт. Электронные ресурсы для программной поддержки обучения криптографии также не разрабатывались.

Анализ уровня компетентности школьников в вопросах криптографии. Для анализа уровня компетентности школьников в вопросах информационной безопасности была сформирована случайным образом экспериментальная группа учащихся 7–9 классов технологического профиля средней школы города Астрахани в количестве 60 человек. Сбор данных осуществлялся с помощью тестирования. Тест проходил в письменной форме и состоял из 40 вопросов, 10 вопросов по каждой из тем – программно-аппаратные средства защиты информации (ЗИ), инженерно-технические, организационно-правовые, криптографические. На решение тестов школьникам отводилось 30 минут. Каждый блок заданий оценивался по столбальной шкале [8].

По результатам первичного среза выяснилось, что некоторые вопросы информационной безопасности для школьников были знакомы, такие как антивирусная защита, принципы парольной защиты, так как эти вопросы частично затрагиваются в рамках школьного курса информатики. Однако криптографические методы учащимися были практически не изучены (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты первичного среза знаний по основным разделам курса информационной безопасности

Методы ЗИ	7 класс	8 класс	9 класс
Программно-аппаратные	32,7	43,6	52,3
Инженерно-технические	45,8	54,2	59,4
Организационно-правовые	33,9	34,6	36,2
Криптографические	13,2	14,7	15,2

Из таблицы можно заметить, что средний балл знаний криптографических мер защиты информации в среднем в 2–3 ниже, чем по остальным мерам обеспечения информационной безопасности.

В связи с вышесказанным был разработан и проведен факультативный курс по основам криптографической защиты информации для учащихся 7–9 классов средней школы. Рабочая программа данного факультативного курса включала 36 часов аудиторных занятий, из них 12 – лекции, 18 часов – практических уроков, 6 часов выделено для проведения самостоятельных и контрольных работ.

Занятия проводились по одному разу в неделю в группах количеством двадцать человек, отдельно для седьмых, восьмых и девярых классов. Всего в занятиях факультативного курса приняли участие 60 человек.

С учащимися были рассмотрены четыре вида криптографических преобразований – перестановка, подстановка (замена), гаммирование и аналитические преобразования. И если шифры простой перестановки и шифр Цезаря не вызывали особых трудностей у учащихся, то более сложные криптопримитивы (шифр Виженера, криптосистема Хилла и т.п.) требовали более тщательной проработки и грамотного подобранных демонстрационных материалов.

При проведении факультативного курса стало очевидным, что для освоения элементарных криптографических докомпьютерных преобразований не хватает наглядно-демонстрационного материала, который бы поспособствовал лучшему усвоению механизмов шифрования.

Средство программной поддержки изучения факультативного курса. После анализа отечественного и зарубежного опыта [5] внедрения криптографии в программу средней школы стало очевидно, что из электронных образовательных ресурсов по криптографии имеются только электронные презентации и тесты, реализованные с помощью электронных книг на базе программного пакета Microsoft Office. Поэтому было принято решение разработать собственный демонстрационно-обучающий программный продукт [4].

Программный продукт написан на языке объектно-ориентированного программирования C# с помощью среды Visual Studio 2012 при использовании офисного пакета Microsoft Office 2019 для представления теоретических сведений. ПО предназначено для установки на персональных компьютерах с операционной системой Windows 7 и выше.

Он отличается интуитивно понятным интерфейсом и яркими демонстрационными элементами (рис. 1). Это способствует быстрому освоению алгоритмов шифрования.

Данный продукт является учебно-демонстрационным, иллюстративным средством самоконтроля и не предназначен для дистанционного обучения. Его рекомендуется использовать как вспомогательное средство для изучения криптографических преобразований в рамках факультативного курса.

Программный продукт предусматривает три режима работы – изучение теоретической информации (презентации в формате Power Point), режим «Демонстрация» (побуквенная демонстрация работы шифра и мгновенное шифрование) и режим «Проверка», когда учащийся самостоятельно может проверить свой шифротекст на предмет правильности осуществленных преобразований.

Освоение криптографических преобразований с помощью ПО предусматривает ознакомление с теоретической базой и математическими основами элементарных криптопреобразований (перестановки, подстановки (замены), аналитического преобразования и гаммирования) на примере работы с демонстрационными вариантами реализации конкретных криптосистем (рис. 2).

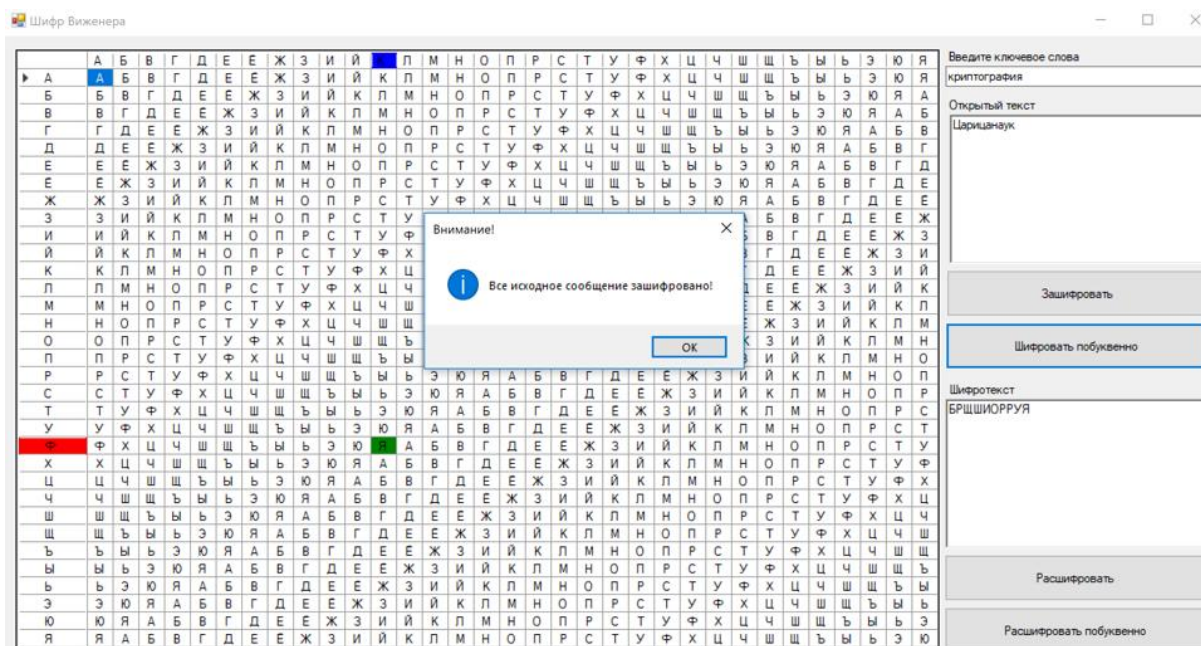


Рисунок 1 – Интерфейс демонстрации работы шифра Виженера в режиме побуквенного шифрования



Рисунок 2 – Интерфейс программного продукта, демонстрирующий четыре вида криптографических преобразований

Шифры перестановки демонстрируются на примере реализации криптоалгоритмов «Двойная перестановка» и «Магический квадрат» [6].

Шифры подстановки проиллюстрированы алгоритмами «Двойной квадрат Уитстона» и шифром Виженера.

Гаммирование демонстрируется на примере реализации шифра Вернама.

В качестве примера шифра, использующего аналитическое преобразование, приведена реализация криптосистемы Хилла.

Каждый рассмотренный шифр в режиме теоретических сведений сопровождается презентацией (всего 6 презентаций по 13–17 слайдов).

Данная последовательность (рис. 3) изучения методов шифрования связана с принципом «от простого к сложному»: шифры перестановки интуитивно понятны школьникам и не вызывают затруднений, в то время как шифры гаммирования и аналитических преобразований требуют знания математического аппарата и к тому же в какой-то степени базируются на шифрах перестановки и простой замены [2].

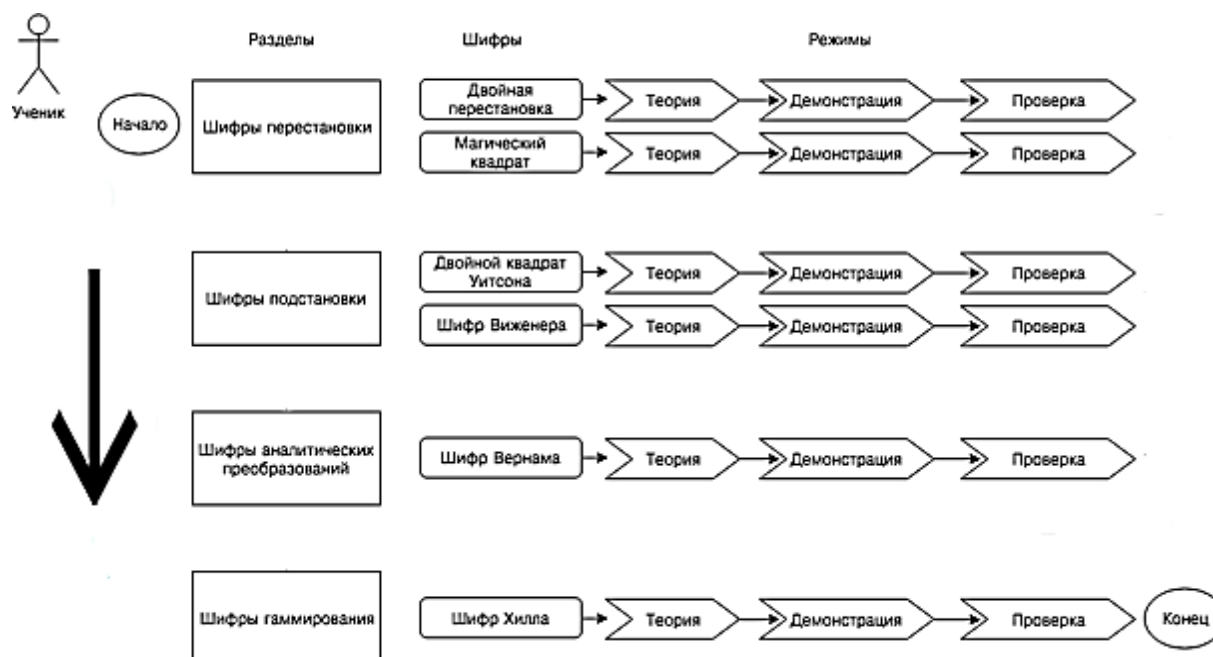


Рисунок 3 – Последовательность изучения методов криптографии с помощью разработанного ПО

Апробация эффективности использования программного продукта проводилась с помощью экспериментальной и контрольной групп в 9 классе. Группу из 20 человек случайным образом разделили пополам: экспериментальная группа изучала криптографические преобразования с использованием учебно-демонстрационной программы, контрольная – без нее – все остальные дидактические материалы (презентационные материалы, тесты, самостоятельные и контрольные работы) у обеих групп были одинаковые [3, 12].

После завершения обучения учащимся обеих групп была предложена контрольная работа из 6 задач по различным видам криптопреобразований. В итоге были получены следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты для экспериментальной и контрольной групп обучавшихся

Оценка в баллах	Количество учащихся	
	Экспериментальная группа	Контрольная группа
90–100	6	3
80–89	5	5
70–79	2	4
0–69	0	1

Таким образом, наглядно продемонстрировано, что обучение криптографии с помощью учебно-демонстрационного программного продукта дало лучшие результаты.

Заключение. Чтобы обучение проходило в режиме онлайн без необходимости установки программного продукта на рабочую станцию, планируется модернизировать программный продукт, реализовав в нем режимы тестирования и проверки знаний для контроля учителем. Планируется также создать на базе описанного программного продукта онлайн-ресурс.

Библиографический список

1. Душкин Р. Математика и криптография. Тайны шифров и логическое мышление / Р. Душкин ; под ред. А. Амелиной. – Москва : АСТ, 2017. – 288 с.
2. Кузнецова В. Ю. Методические аспекты обучения симметричным шифрам в рамках факультативного курса криптографии для школьников / В. Ю. Кузнецова // Симметрии: теоретический и методический аспекты : сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции : в 2 т. – Астрахань : ООО ПКФ «Триада», 2018. – Т. 1. – С. 203–207.
3. Кузнецова В. Ю. Использование онлайн-кроссвордов для реализации смешанного обучения криптографии / В. Ю. Кузнецова // Модернизация системы непрерывного образования : материалы IX Международной научно-практической конференции. – Махачкала, 2017. – С. 267–270.
4. Кузнецова В. Ю. Использование учебно-демонстрационной программы с целью обучения школьников криптографии / В. Ю. Кузнецова // Образование в цифровую эпоху: проблемы и перспективы : материалы Международной научно-практической конференции. – Астрахань : Астраханский государственный университет, 2019. – С. 16–20.

5. Кузнецова В. Ю. Российский и зарубежный опыт внедрения дисциплины «криптография» в программу средней школы / В. Ю. Кузнецова, А. В. Станишевская // Проблемы информационной безопасности : материалы. – Ростов н/Д. : Азов-Принт, 2018. – С. 108–112.
6. Лэнс Бриант. Шифр Цезаря: введение в криптографию / Лэнс Бриант. – Режим доступа: <http://www.purdue.edu/discoverypark/gk12/downloads/Cryptography.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 21.11.2018).
7. Матвеева Н. В. Авторская мастерская / Н. В. Матвеева. – Режим доступа: <http://lbz.ru/metodist/authors/informatika/4/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 27.02.2019).
8. Отрывашкина Т. М. Подготовка учащихся средней школы к решению криптографических задач / Т. М. Отрывашкина. – Режим доступа: <http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/13771/2772-2775.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 21.11.2017).
9. Приказ Минобрнауки России от 17 декабря 2010 г. № 1897 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования». – Режим доступа: http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/m1897.html, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 28.03.2019).
10. Приказ Минобрнауки России от 29 декабря 2014 г. № 1644 «О внесении изменений в федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования, утверждённый приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 1897». – Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/документы/543>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 28.03.2019).
11. Семакин И. Г. Авторская мастерская / И. Г. Семакин. – Режим доступа: <http://lbz.ru/metodist/authors/informatika/2/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 27.02.2019).
12. Смирнова М. О. Проектная деятельность при изучении криптографии в средней школе / М. О. Смирнова, В. Ю. Кузнецова // Проектная деятельность: новый взгляд на образование : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. 24–25 апреля 2018 г. – Астрахань : Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2018. – С. 212–216.
13. Танова Э. В. Формирование компетентности в области защиты информации у школьников в процессе обучения информатике : дис. ... канд. пед. наук / Э. В. Танова. – Челябинск : Челяб. гос. пед. университет, 2005. – 173 с.
14. Танова Э. В. Введение в криптографию: как защитить свое письмо от любопытных : учебное пособие / Э. В. Танова. – Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 198 с.
15. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования (5–9 кл.) (ФГОС ООО) – Режим доступа: http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prgm1897-1.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 05.05.2019).
16. Майкулов Ж. Ж. Преступления против детей с использованием Интернета / Ж. Ж. Майкулов // Концепт : научно-методический электронный журнал. – 2017. – Т. 39. – С. 2636–2640. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2017/970854.htm>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

References

1. Dushkin R. *Matematika i kriptografiya. Tayny shifrov i logicheskoe myshlenie* [Math and cryptography. Cipher secrets and logical thinking]. Moscow, AST Publ., 2017. 288 p.
2. Kuznetsova V. Yu. Metodicheskie aspekty obucheniya simmetrichnym shifram v ramkah fakultativnogo kursa kriptografii dlya shkolnikov [Methodical aspects of training of the symmetric ciphers within an optional course for students of cryptography]. *Simmetrii: teoreticheskiy i metodicheskiy aspekty : sbornik nauchnykh trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The symmetry: theoretical and methodical aspects : Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference], in 2 vol. Astrakhan, "Triada" PKF Ltd. Publ., 2018, vol. 1, pp. 203–207.
3. Kuznetsova V. Yu. Ispolzovanie onlayn-krossvordov dlya realizatsii smeshannogo obucheniya kriptografii [The using of online crosswords for the implementation of blended learning of cryptography]. *Modernizatsiya sistemy nepreryvnogo obrazovaniya : materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modernization of the system of continuous education : Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference]. Mahachkala, 2017, pp. 267–270.
4. Kuznetsova V. Yu. Ispolzovanie uchebno-demonstratsionnoy programmy s tselyu obucheniya shkolnikov kriptografii [The using of the illustrative software for teaching cryptography to schoolchildren]. *Obrazovanie v tsifrovuyu epokhu: problemy i perspektivy : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Education in the digital age: problems and prospects : Materials of the International Scientific and Practical Conference]. Astrakhan, Astrakhan State University Publ., 2019, pp. 16–20.
5. Kuznetsova V. Yu., Stanishevskaya A. V. Rossiyskiy i zarubezhnyy opyt vnedreniya discipliny «kriptografiya» v programmu sredney shkoly [Russian and foreign experience of introducing the discipline "cryptography" to the secondary school program]. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti: materialy* [Problems of information security : materials]. Rostov-on-Don, Azov-Print Publ., 2018, pp. 108–112.
6. Lens Briant. *Shifr Tsezarya: vvedenie v kriptografiyu* [Caesar cipher: an introduction to cryptography.] Available at: <http://www.purdue.edu/discoverypark/gk12/downloads/Cryptography.pdf> (accessed 17.03.2019).
7. Matveeva N. V. *Avtorskaya masterskaya* [The Author's online-workshop]. Available at: <http://lbz.ru/metodist/authors/informatika/4/> (accessed 27.02.2019).
8. Otryvashkina T. M. *Podgotovka uchashchikhsya sredney shkoly k resheniyu kriptograficheskikh zadach* [Preparing high school students for solving cryptographic tasks]. Available at: <http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/13771/2772-2775.pdf> (accessed 21.11.2017).
9. *Prikaz Minobrnauki Rossii ot 17 dekabrya 2010 g. № 1897 «Ob utverzhdenii federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta osnovnogo obshchego obrazovaniya»* [Order of the Ministry of Education and Science of Russia

dated December 17, 2010 no. 1897 "On approval of the federal state educational standard of basic general education"]. Available at: http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/m1897.html (accessed 28.03.2019).

10. *Prikaz Minobrnauki Rossii ot 29 dekabrya 2014 g. № 1644 «O vnesenii izmeneniy v federalnyy gosudarstvennyy obrazovatelnyy standart osnovnogo obshchego obrazovaniya, utverzhdyonnyy prikazom Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 17 dekabrya 2010 g. № 1897»* [Order of the Ministry of Education and Science of Russia of December 29, 2014 No. 1644 "On Amendments to the Federal State Educational Standard of Basic General Education, approved by Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of December 17, 2010 no. 1897]. Available at: <http://minobrnauki.rf/dokumenty/543> (accessed 28.03.2019).

11. Semakin I. G. *Avtorskaya masterskaya* [The Author's online-workshop]. Available at: <http://lbz.ru/metodist/authors/informatika/2/> (accessed 27.02.2019).

12. Smirnova M. O., Kuznetsova V. Yu. *Proektnaya deyatel'nost' pri izuchenii kriptografii v sredney shkole* [The project activity at the studying of cryptography in the second school]. *Proektnaya deyatel'nost': novyy vzglyad na obrazovanie: sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Project activity: a new look at education: a collection of works of the All-Russian scientific-practical conference]. Astrakhan, Astrakhan State University, Publishing House "Astrakhan University", 2018, pp. 212–216.

13. Tanova E. V. *Formirovanie kompetentnosti v oblasti zashchity informatsii u shkolnikov v processe obucheniya informatike* [Formation of competence in the field of information security among schoolchildren in the process of teaching computer science]. Chelyabinsk, Chelyabinsk State Pedagogical University, 2005.

14. Tanova E. V. *Vvedenie v kriptografiyu: kak zashchitit svoje pismo ot lyubopytnykh: uchebnoe posobie* [Introduction to cryptography: how to protect your letter from the curious: study guide]. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy Publ., 2007. 173 p.

15. *Federalnyy gosudarstvennyy obrazovatelnyy standart osnovnogo obshchego obrazovaniya (5–9 kl.)* [Federal State Educational Standard of Basic General Education (5–9 cl.)]. Available at: http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/p1897-1.pdf (accessed 05.05.2019).

16. Maykulov Zh. Zh. *Prestupleniya protiv detey s ispolzovaniem Interneta* [The crimes against children using the Internet]. *Kontsept : nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal* [Concept : scientific-methodical electronic journal], 2017, vol. 39, pp. 2636–2640. Available at: <http://e-koncept.ru/2017/970854.htm>.

УДК 004.422

IDENTIFICATION OF PERSONALITY BASED ON ELECTRONIC DOCUMENTS WITH INCREASED SECURITY LEVEL

The article was received by editorial board on 22.03.2019, in the final version – 31.05.2019.

Azhmukhamedov Iskandar M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

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

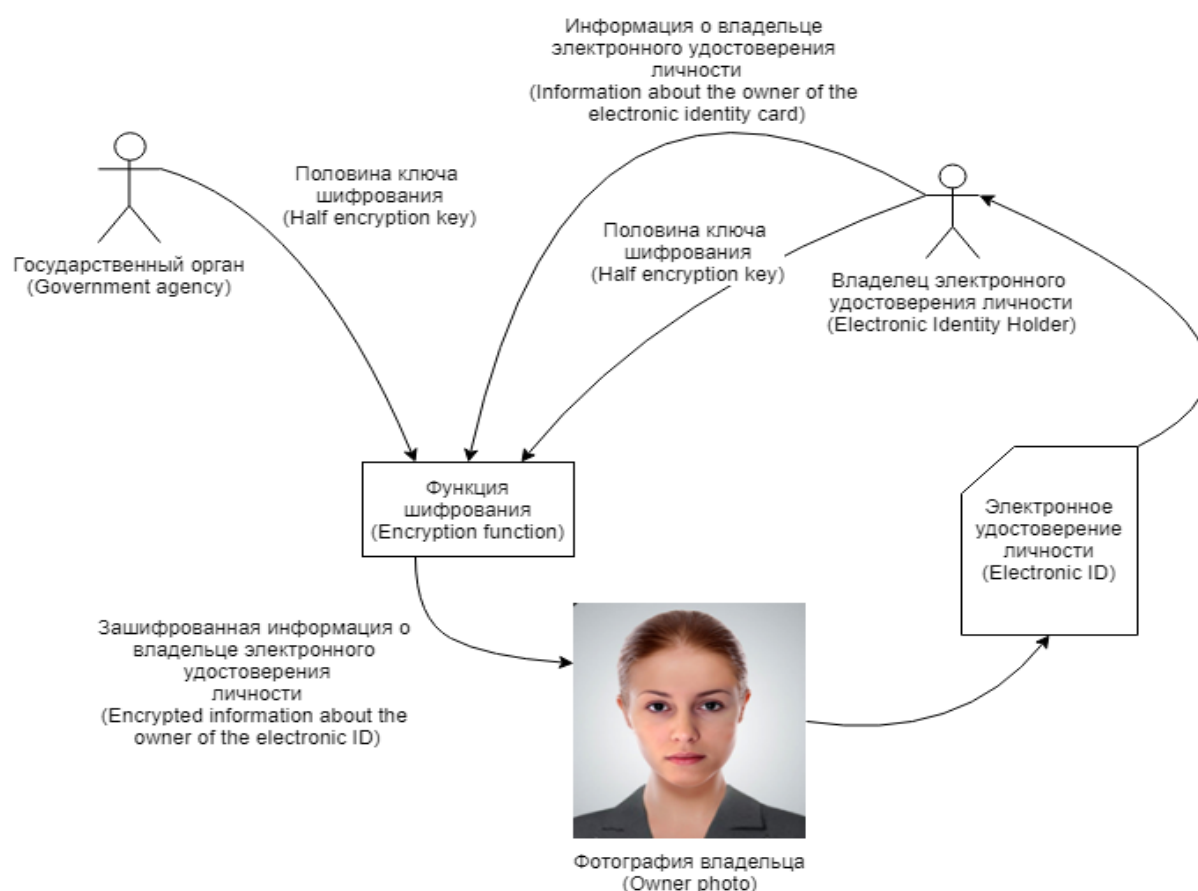
Poletayev Nikita S., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, student, e-mail: npoletaev97@gmail.com

Stanishevskaya Alina V., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, undergraduate student, e-mail: a.stanishevskaya@gmail.com

Identity documents play a big role in ensuring personal and public safety. However, the most widely used paper documents today have significant drawbacks. To eliminate them, a technique has been proposed that involves the combined use of steganographic and cryptographic algorithms. This paper describes approaches to the implementation of software that allows in practice to implement this technique. There are three main modules in the software: data encryption module; steganographic data embedding module in the image; a module for recording generated data on a smart card. Using the developed software allows you to get an identity document with a high level of protection from attacks on its integrity and the inability to use third parties, because without knowing the key, part of which is known only to the owner, and the other part is stored in the database of the public authority, it is impossible to decipher the embedded information.

Keywords: electronic identification card, robust steganography algorithm, data flow diagram, cryptography, steganography

Graphical annotation (Графическая аннотация)



УДОСТОВЕРЕНИЕ ЛИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ С ПОВЫШЕННЫМ УРОВНЕМ ЗАЩИЩЕННОСТИ

Статья поступила в редакцию 22.03.2019, в окончательной варианте – 31.05.2019.

Ажмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

доктор технических наук, профессор, e-mail: iskander_agm@mail.ru

Поletaев Никита Сергеевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

студент, e-mail: npoletaev97@gmail.com

Станишевская Алина Владимировна, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16,

магистрант, e-mail: a.stanishevskaja@gmail.com

Документы, удостоверяющие личность, играют большую роль в обеспечении личной и общественной безопасности. Однако наиболее широко используемые в настоящее время бумажные документы обладают рядом существенных недостатков. Для их устранения ранее была предложена методика, предусматривающая совместное использование стеганографических и криптографических алгоритмов. В данной работе описываются подходы к реализации программного обеспечения, позволяющего на практике реализовать указанную методику. В программном обеспечении присутствует три основных модуля: модуль шифрования данных; модуль стеганографического внедрения данных в изображение; модуль записи сформированных данных на смарт-карту. Использование разработанного программного обеспечения позволяет получить документ, удостоверяющий личность, с повышенным уровнем защищенности от атак на его целостность и невозможностью использования третьими лицами, так как без знания ключа, часть которого известна лишь владельцу, а другая часть хранится в базе данных государственного органа, невозможно расшифровать внедренную информацию.

Ключевые слова: электронное удостоверение личности, робастный стеганографический алгоритм, диаграмма потоков данных, криптография, стеганография

Introduction. Identity documents of the owner have always played a big role in the public and private security provision [6]. Such documents are also given to employees in enterprises for the organization of access control. Now paper versions of such documents are still widely used. However, they have a number of significant drawbacks:

- such certificates are more subject to mechanical stress than electronic documents (for example, even short-term contact with water may result the information contained on the paper in an unreadable state);
- paper document can be forged, passed on intruder;
- it is impossible to ensure the safe storage of the document holder's personal data (PD), because they are stored in open form;
- difficulties in tracking the movement of a document at all stages of its life cycle;
- duration of the document's preparation and approval;
- paper archive has no possibility of access rights to documents flexible management, etc.

The development of technology for the production of identity documents is continuously. Currently, their development is associated with biotechnology [8]. State structures of different countries monitor the development of biometric systems and documents based on them. The result is the creation of the electronic identity documents. In addition to the owner's photo, they contain a microprocessor with its own memory, into which additional information, including biometric parameters, can be recorded. Such documents are introduced by the USA, Germany, Great Britain, Japan, etc. Russia is also developing a similar project [14].

Based on this, the purpose of this work was the development of technology for constructing an electronic identity card (EIC), which would eliminate the shortcomings of the paper identity documents, described above.

Method development. The main task in the creating of any identity document is to ensure the cumulative integrity of the person's identifiable features and personal data specified in the document and the impossibility of counterfeiting or unauthorized alteration after the document is produced. It is also necessary to minimize the possibility of using someone else's document, that could have been lost or stolen by an intruder.

To solve the problem in the creating of electronic identity documents, it seems appropriate to use cryptographic methods and algorithms based on steganography.

The cryptographic and steganographic transformations used in the aggregate make it possible to provide the necessary qualities of identity documents.

The main idea when creating an EIC is as follows: some information is selected (last name, first name, patronymic, date of birth, etc.) that needs to be embedded in the owner's photo, and the owner's photo itself, which will be a container for embedded information. After determining the input data, the information is encrypted, and the encryption key is divided into two parts. One of which belongs to the owner of the document, and the other – to the public authority. The figure 1 below shows schematically the main idea of creating an EIC by embedding information in a person's photo.

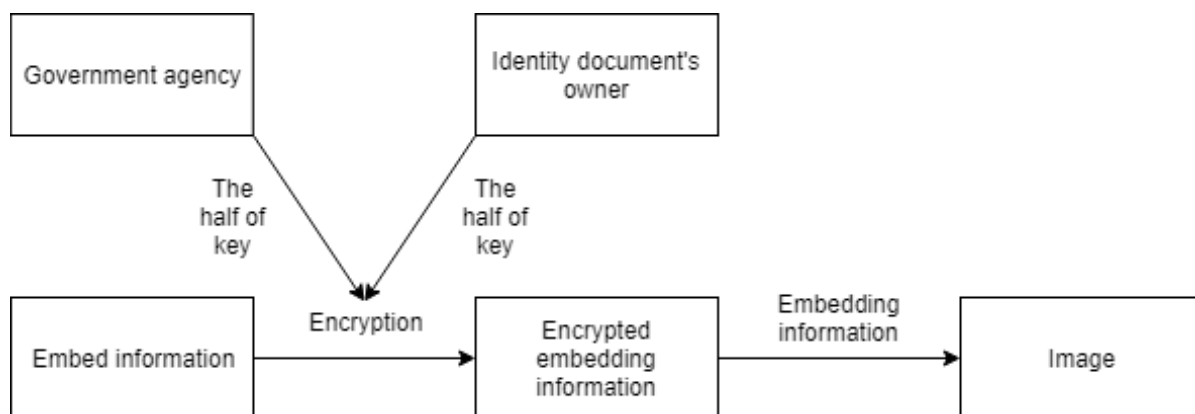


Figure 1 – The scheme of creating EIC

The EIC test takes place in several stages. First, we need to extract information from the image. We need to decrypt the received information because the information is encrypted. To do this, we need to connect the two halves of the encryption key and perform the decryption. The scheme of verification of EIC is shown in the figure 2.

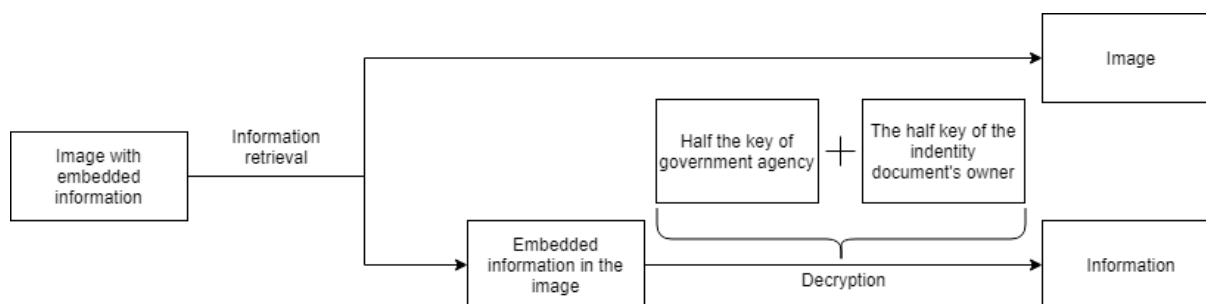


Figure 2 – The scheme of EIC test

A scheme to produce an autonomous electronic identity card (EIC) based on steganographic and cryptographic algorithms, which makes it possible to create a qualitatively new identification system with an elevated level of security was proposed in [3]. An algorithm of digital steganography with data encryption [2], which allows solving the main task in the manufacture of an identity document - ensuring the cumulative integrity of the person's identifying features and personal data specified in the document was also developed.

The proposed algorithm allows to embed data into a graphic file, including those was compressed with the JPEG standard. During embedding data, the algorithm works with images whose color depth is 24 bits. Embedding is performed in the blue channel, because the human vision system is least sensitive to it. Let message «M» be a bits sequence of length «N», the number of pixels in the transform domain is «C». Embedded pixels are evenly distributed throughout the image in a pseudo-random manner.

The image or its part bounded by the transformation region is divided into two types of blocks r_1 and r_2 , with $r_1 = r_2 + 1$. The blocks number of length r_1 and r_2 is equal to n_1 and n_2 , respectively. Provided that $n_1 + n_2 = N$ и $(r_1 \cdot n_1) + (r_2 \cdot n_2) = C$, the values of r_1 , r_2 , n_1 , и n_2 are calculated by the following formulas:

$$r_2 = C/N \quad (1)$$

$$n_2 = r_2 + 1 * N - C \quad (2)$$

$$n_2 = r_2 + 1 \quad (3)$$

$$n_1 = N - n_2 \quad (4)$$

Blocks alternate pseudo-randomly based on the key. Each message bit has its own block in which a pixel is selected that undergoes a change in accordance with the key from key sequence.

Consider the procedure for the formation of a key sequence. The password entered by the user is converted to a 16-byte word using any hashing algorithm. Then three more such words are formed by cyclic permutation. The result is an array of numbers of dimension [128 bits, 4 bits], the columns of which are a pseudo-random sequence of numbers of 128 bits long. Getting the remainder of dividing these numbers by the block length, we calculate the position of the pixel change inside this block.

Each pixel component is described by 8 bits with a color depth of 24 bits. 8 bits are according to one of three color channels - by the number of main colors. Bits with position 4, 5 and 6 are subject to change. The deviation of the color intensity in this case does not exceed 6.3 %, and the total change in pixel brightness does not exceed 1 % [1].

Consider embedding information in an image. The pixel number is selected in which the embedding is performed in accordance with the key in the pixel block. The bit number is determined based on the values of the same block's other pixels. For example, if all the fourth bits from this block are 0 or 1, then the algorithm leaves the fourth bit of this pixel unchanged and proceeds to consider all the fifth bits of this block, etc. If all the fourth, fifth and sixth bits of all pixels from this block are 0 or 1, then 4 bits are given preference. After finding the bit number to be modified, the embedding of secret information occurs. Figure 3 shows a block diagram of a digital steganography algorithm with data encryption.

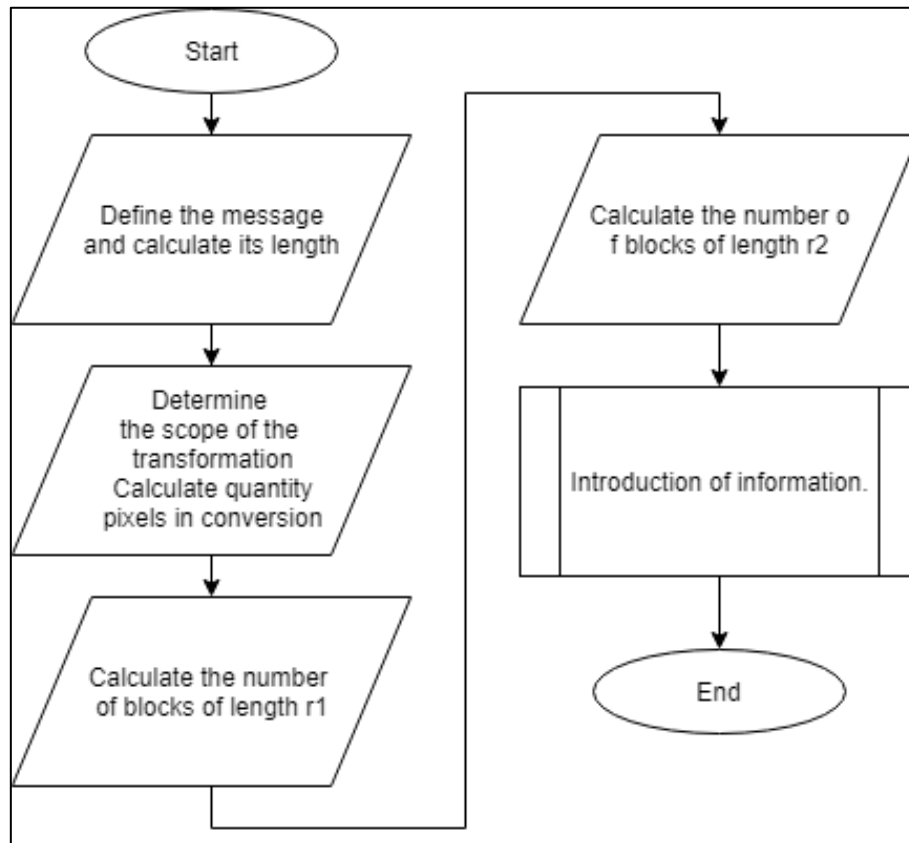


Figure 3 – Block diagram of digital steganography algorithm with data encryption.

As an example, consider the modification of a single image block. Let the block consist of five pixels (fig. 4).

b_1	=	1	1	1	1	0	1	1	0
b_2	=	1	1	0	1	0	1	1	1
b_3	=	1	0	1	1	0	0	0	0
b_4	=	1	0	1	1	0	0	0	1
b_5	=	1	0	0	1	0	1	0	1

Figure 4 – Bit representation of the blue channel of one block's pixels

As can be seen from the figure 3, the fourth and fifth bits (in red rectangles) do not satisfy the non-uniformity condition. According to the algorithm, only the sixth bit (in green rectangle) can be modified.

Results. Charts and flowcharts were developed, reflecting the general principles of the program. Below, as an example, is presented the Use Case diagram (fig. 5), which describes the possible behavior of the system during interacting with the administrator. The administrator can select the image to be modified, the data to be recorded. He also chooses an algorithm for encryption. After the administrator has entered the first half of the key and the owner has entered the second half, the data is encrypted. Finally, the administrator writes to the smart card the prepared image with the embedded stego, containing the user's encrypted personal data.

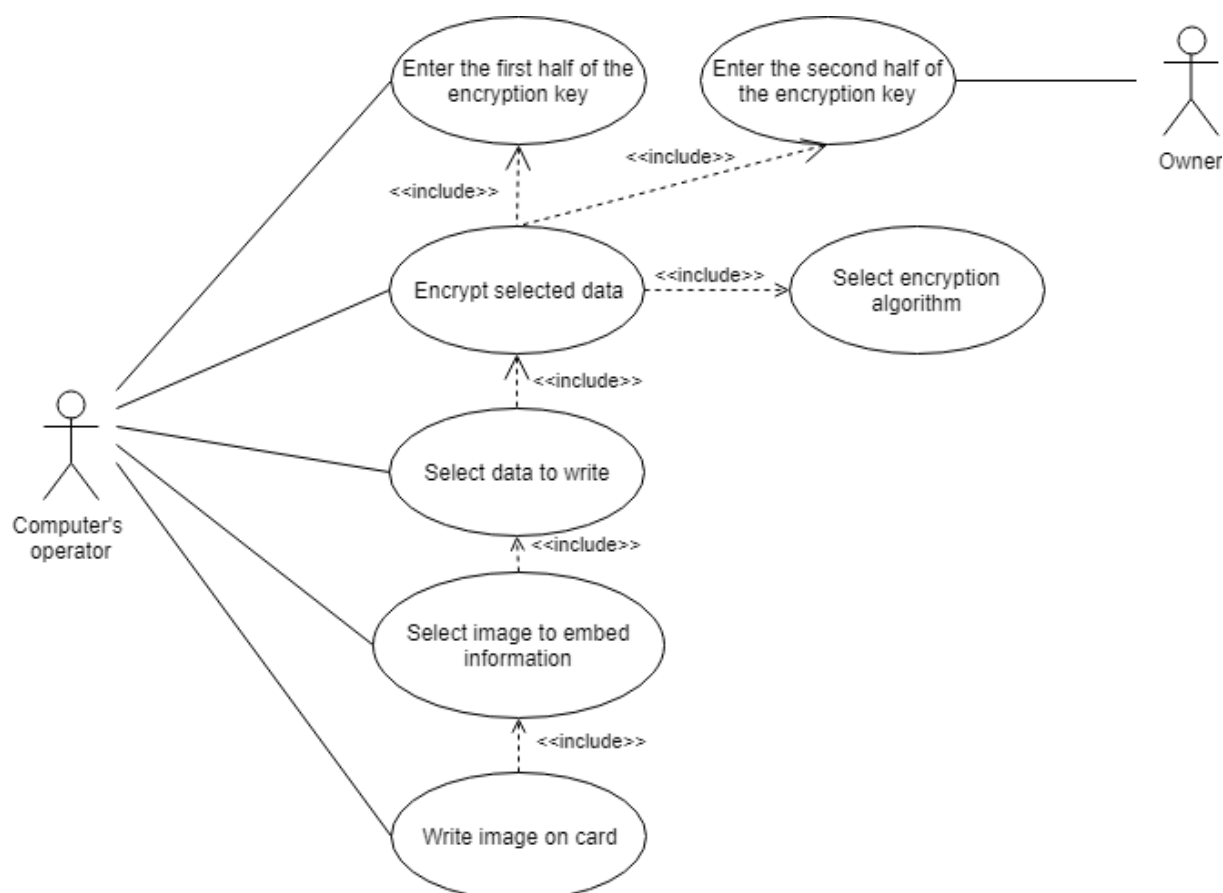


Figure 5 – The Use Case diagram of software to create EIC

Figure 6 shows the data flow diagram. Three modules are involved in the software: data encryption, steganographic embedding of data into an image, and data recording on a smart card.

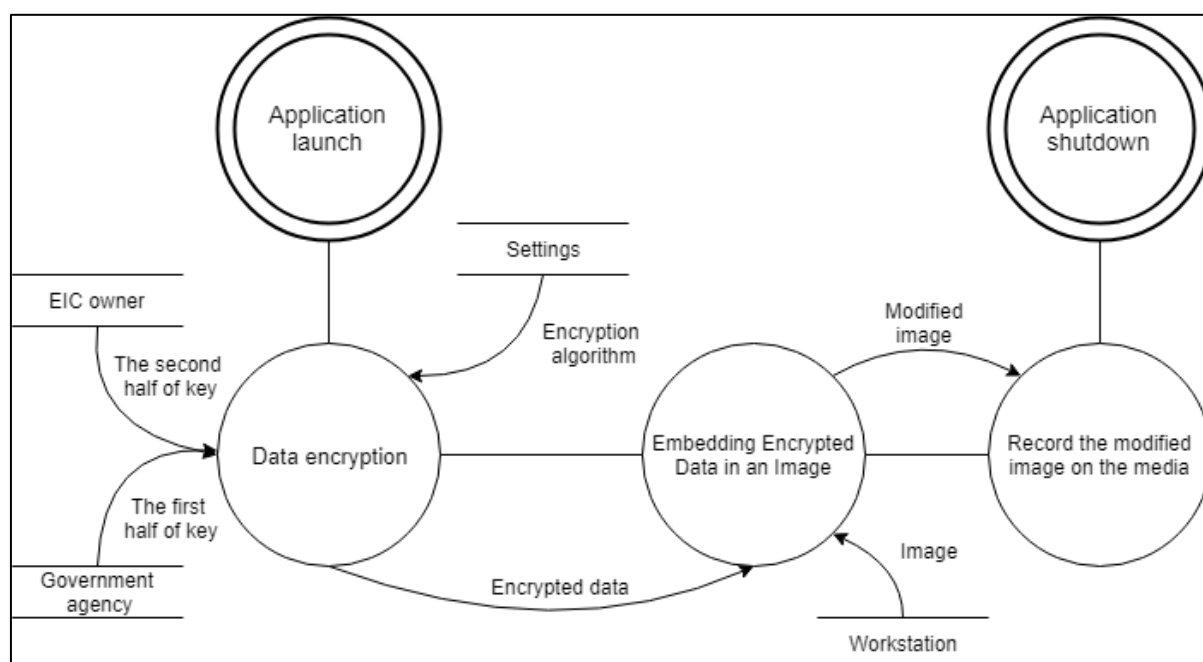


Figure 6 – The software data flow diagram in Yourdon-DeMarco notation for creating an EIC

The block diagram (fig. 7) shows the work of the algorithm for creating an EIC. At the beginning of the program, PlainText, Password, Image, Algorithm variables are declared, in which the data for encryption, the password entered by the user, the image being modified and information about the selected encryption algorithm are written.

The developed software implements the following encryption algorithms: GOST 28147-89 [6], GOST R 34.12-2015 [7], AES [4]. Next, a function is called that performs data encryption. This function has three “overloads” for each encryption algorithm. After performing cryptographic transformations, the program determines the area for stego implementation. Then, the encrypted information is embedded in the image based on the above algorithm, after the data is written to the smart card.

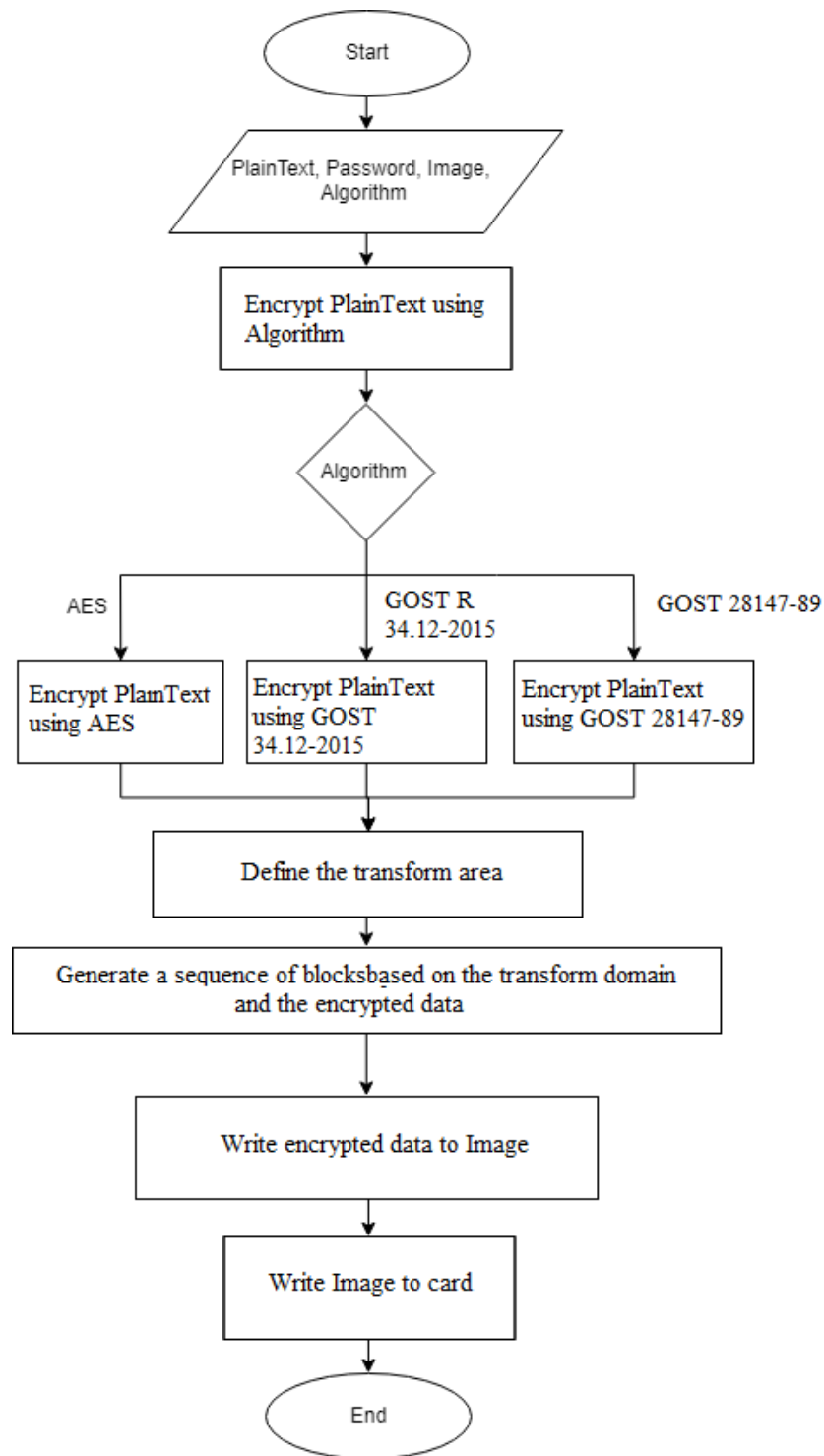


Figure 7 – A block diagram of the software’s work to create an electronic identity card [5]

The described software is developed in a high-level programming language - C # because it provides intuitive and convenient desktop development tools.

Figure 8 shows the code for generating a sequence of blocks.

```
public class BlockCreator
{
    public Point StartPoint { get; set; }
    public Point EndPoint { get; set; }

    public BlockCreator(Point startPoint, Point endPoint) {
        StartPoint = startPoint; //Стартовая точка области преобразования
        EndPoint = endPoint; //Конечная точка области преобразования
    }

    public List<int> GenerateBlockList(string encText) {
        int M = (EndPoint.X - StartPoint.X) * (EndPoint.Y - StartPoint.Y); // Область преобразования

        int encTextLength = encText.Length; // Длина сообщения

        int r2 = (M / encTextLength); // Длина блоков 2 типа
        int r1 = r2 + 1; // Длина блоков 1 типа

        int n2 = (r2 + 1) * encTextLength - M; // Количество блоков 2 типа
        int n1 = encTextLength - n2; // Количество блоков 1 типа

        List<int> Blocks = new List<int>();
        for (int i = 0; i < n2; i++) {
            Blocks.Add(r2);
        }
        for (int i = 0; i < n1; i++) {
            Blocks.Add(r1);
        }

        return Blocks;
    }
}
```

Figure 8 – The program code of the class, responsible for generating the sequence of blocks

Consider an example of the information introduction in the photo (PNG format). It is necessary to analyze the numerical representation of the pixels row's the blue channel because the human eye will not be able to see the insignificant changes in the image. A 10x10 pixel transform area and a string to embed were selected – 11100100000110011110100110100001010011110100101001. Figure 9 shows the result of the work of program.

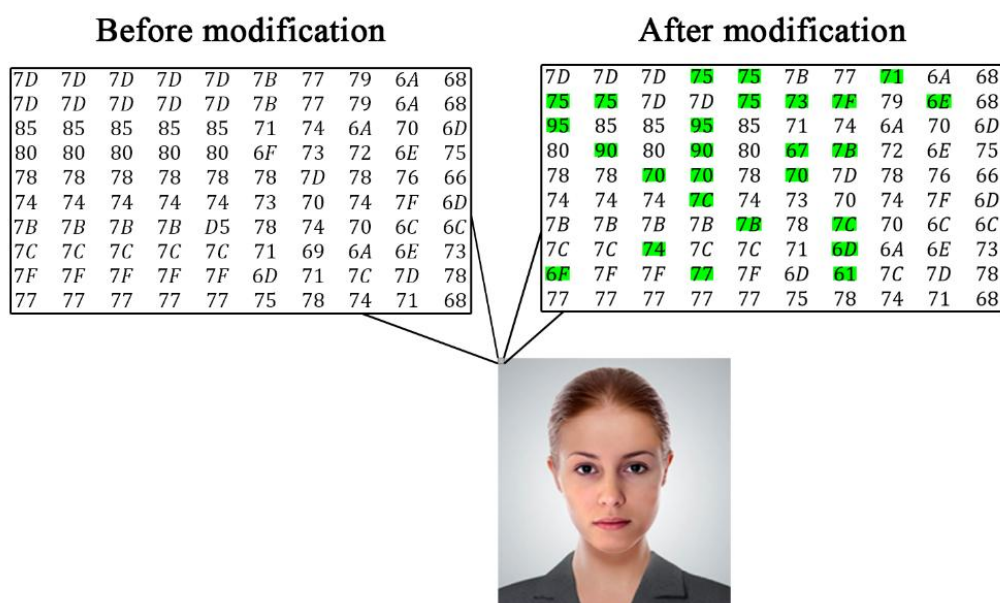


Figure 9 – The results of program work in the fragment of the image

In image 9, the pixels, which have green background, have been changed. The information capacity of the container (image) depends on the image resolution. The size of the transformation area (a place for embedding information) is determined based on the length of the data.

Conclusion. The declared approach to the production of electronic documents allows us to minimize the described shortcomings of paper identity documents. Such a document is protected from attacks on its integrity, since photography and personal data are a single entity. The possibility of using the document by third parties is also minimized, since without knowing the key, part of which is known only to the owner, and the other part is stored in the database of government agency, it is impossible to decrypt the embedded information.

Библиографический список

1. Ажбаев Т. Г. Анализ стойкости современных стеганографических алгоритмов / Т. Г. Ажбаев, И. М. Ажмухамедов // Вестн. Астраханского гос. техн. ун-та. – 2008. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-stoykosti-sovremennyh-steganograficheskikh-algoritmov>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Ажбаев Т. Г. Алгоритм цифровой стеганографии с шифрованием данных / Т. Г. Ажбаев, И. М. Ажмухамедов // Вестн. Астраханского гос. техн. ун-та. – 2008. – № 1 (42). – С. 50–55.
3. Ажмухамедов И. М. Электронные удостоверения личности на основе стеганографических и криптографических алгоритмов / И. М. Ажмухамедов // Вестн. Астраханского гос. техн. ун-та. – 2009. – № 2. – С. 49–52.
4. Federal Information Processing Standards Publication 197, AES (Advanced Encryption Standard). – Режим доступа: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/fips/nist.fips.197.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
5. ГОСТ 19.701-90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. – Режим доступа: <http://cert.obninsk.ru/gost/282/282.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. ГОСТ 28147-89. Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28147-89>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. ГОСТ Р 34.12-2015. Информационная технология. Криптографическая защита информации. – Режим доступа: http://www.gost.ru/standard/gost/GOST_R_3412-2015.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 15.05.2019).
8. Гуриев В. Восход Европы: электронные паспорта в России / В. Гуриев. – Режим доступа: <http://www.kongord.ru/Index/BigBrother07/e-pass-in-russ.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 15.05.2019).
9. Кириченко Ю. Н. Значение взаимодействия государственных служб Российской Федерации в предупреждении преступлений и правонарушений. Значение перехода на новые удостоверения личности / Ю. Н. Кириченко, А. В. Медведев. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/znachenie-vzaimodeystviya-gosudarstvennyh-služhb-rossijskoj-federatsii-v-preduprezhdenii-prestupleniy-i-pravonarusheniy-znachenie>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 15.05.2019).
10. Клак Н. Н. Проблема идентификации человека / Н. Н. Клак. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/problema-identifikatsii-cheloveka>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 15.05.2019).
11. Skiena S. Steven. The Algorithm Design Manual / Skiena S. Steven. – Режим доступа: http://mimoza.marmara.edu.tr/~msakalli/cse706_12/SkienaTheAlgorithmDesignManual.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 15.05.2019).
12. Stephen Cleary. Concurrency in C# Cookbook: Asynchronous, Parallel, and Multithreaded Programming 1st / Stephen Cleary. – Режим доступа: http://cdn.oreillystatic.com/oreilly/booksamplers/9781449367565_sampler.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 15.05.2019).
13. Andrew Troelsen. C# 6.0 and the .NET 4.6 Framework (7th Edition) / Andrew Troelsen, Philip Japikse. – Режим доступа: https://vk.com/doc2036633_459501322?hash=3cd572dcf4edcaf039&dl=3e1d4845790a76d3e7, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 15.05.2019).
14. Указ Президента Российской Федерации от 29 декабря 2012 № 1709 «Об основных документах, удостоверяющих личность гражданина Российской Федерации за пределами территории Российской Федерации, содержащих электронные носители информации».

References

1. Azhbaev T. G., Azhmukhamedov I. M. Analiz stoykosti sovremennykh steganograficheskikh algoritmov [Analysis of the persistence of modern steganographic algorithms]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Astrakhan State Technical University], 2008, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-stoykosti-sovremennyh-steganograficheskikh-algoritmov>
2. Azhbaev T. G., Azhmukhamedov I. M. Algoritim tsifrovoy steganografii s shifrovaniyem dannykh [Digital steganography with data encryption]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Astrakhan State Technical University], 2008, no. 1 (42), pp. 50–55.
3. Azhmukhamedov I. M. Elektronnyye udostovereniya lichnosti na osnove steganograficheskikh i kriptograficheskikh algoritmov [Electronic identity cards based on steganographic and cryptographic algorithms]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Astrakhan State Technical University], 2009, no. 2, pp. 49–52.

4. *Federal Information Processing Standards Publication 197, AES (Advanced Encryption Standard)*. Available at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/fips/nist.fips.197.pdf>
5. *GOST 19.701-90. Yedinaya sistema programmnoy dokumentatsii. Skhemy algoritmov, programm, dannykh i sistem. Uslovnye oznacheniya i pravila vypolneniya* [GOST 19.701-90. Unified system for program documentation. Data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts. Documentation symbols and conventions for flowcharting]. Available at: <http://cert.obninsk.ru/gost/282/282.html>
6. *GOST 28147-89. Sistemy obrabotki informatsii. Zashchita kriptograficheskaya. Algoritm kriptograficheskogo preobrazovaniya* [Information processing systems. Cryptographic protection. Algorithm of cryptographic transformation]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28147-89>
7. *GOST R 34.12-2015. Informatsionnaya tekhnologiya. Kriptograficheskaya zashchita informatsii. Blochnyye shifry* [Information technology. Cryptographic protection of information. Block ciphers]. Available at: http://www.gost.rg.ru/standard/gost/GOST_R_3412-2015.pdf (accessed 15.05.2019).
8. Guriyev V. Voskhod Yevropy: elektronnyye pasporta v Rossii [The Rise of Europe: Electronic Passports in Russia]. Available at: <http://www.kongord.ru/Index/BigBrother07/e-pass-in-russ.html> (accessed 15.05.2019).
9. Kirichenko Yu. N., Medvedev A. V. *Znachenije vzaimodeystviya gosudarstvennykh sluzhb Rossiyskoy Federatsii v preduprezhdenii prestupleniy i pravonarusheniy. Znachenije perekhoda na novoye udostovereniye lichnosti* [The value of the interaction of public services of the Russian Federation in the prevention of crimes and offenses. The value of the transition to a new identity card]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/znachenie-vzaimodeystviya-gosudarstvennykh-sluzhb-rossiyskoy-federatsii-v-preduprezhdenii-prestupleniy-i-pravonarusheniy-znachenie> (accessed 15.05.2019).
10. Klak N. N. *Problema identifikatsii cheloveka* [Problem of human identification]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/problema-identifikatsii-cheloveka> (accessed 15.05.2019).
11. Skiena S Steven. *The Algorithm Design Manual*. Available at: http://mimoza.marmara.edu.tr/~msakalli/cse706_12/SkienaTheAlgorithmDesignManual.pdf (accessed 15.05.2019).
12. Stephen Cleary. *Concurrency in C# Cookbook: Asynchronous, Parallel, and Multithreaded Programming 1st*. Available at: http://cdn.oreillystatic.com/oreilly/booksamplers/9781449367565_sampler.pdf (accessed 15.05.2019).
13. Andrew Troelsen, Philip Japikse. *C# 6.0 and the .NET 4.6 Framework (7th Edition)*. Available at: https://vk.com/doc2036633_459501322?hash=3cd572dcf4edcaf039&dl=3e1d4845790a76d3e7 (accessed 15.05.2019).
14. *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 29 dekabrya 2012 № 1709 «Ob osnovnykh dokumentakh, udostoverayushchikh lichnost' grazhdanina Rossiyskoy Federatsii za predelami territorii Rossiyskoy Federatsii, soderzhashchikh elektronnyye nositeli informatsii»* [Decree of the President of the Russian Federation of December 29, 2012 no. 1709 "On the main documents proving the identity of a citizen of the Russian Federation outside the territory of the Russian Federation, containing electronic media"]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140171/ (accessed 15.05.2019).

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 62: 621.311, 004.942

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНЫМИ МОДУЛЯМИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Статья поступила в редакцию 13.05.2019, в окончательной варианте — 25.05.2019.

Теруков Евгений Иванович, ООО «Научно-технический центр тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе», 194064, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 28,

доктор технических наук, e-mail: <eug.terukov@mail.ioffe.ru>

Андроников Дмитрий Александрович, ООО «Научно-технический центр тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе», 194064, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 28,

кандидат физико-математических наук, e-mail: d.andronikov@hevelsolar.com

Малевский Дмитрий Андреевич, ООО «Научно-технический центр тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе», 194064, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 28,

научный сотрудник, e-mail: <dmalevsky@scell.ioffe.ru>

Зайнутдинов Рустем Ахтямович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

кандидат технических наук, e-mail: rzain@gmail.com

Ключарев Антон Юрьевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

кандидат технических наук, e-mail: key_a@mail.ru,

Братышев Сергей Николаевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

аспирант, e-mail: sera.brat@mail.ru

Ильичев Владимир Геннадьевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

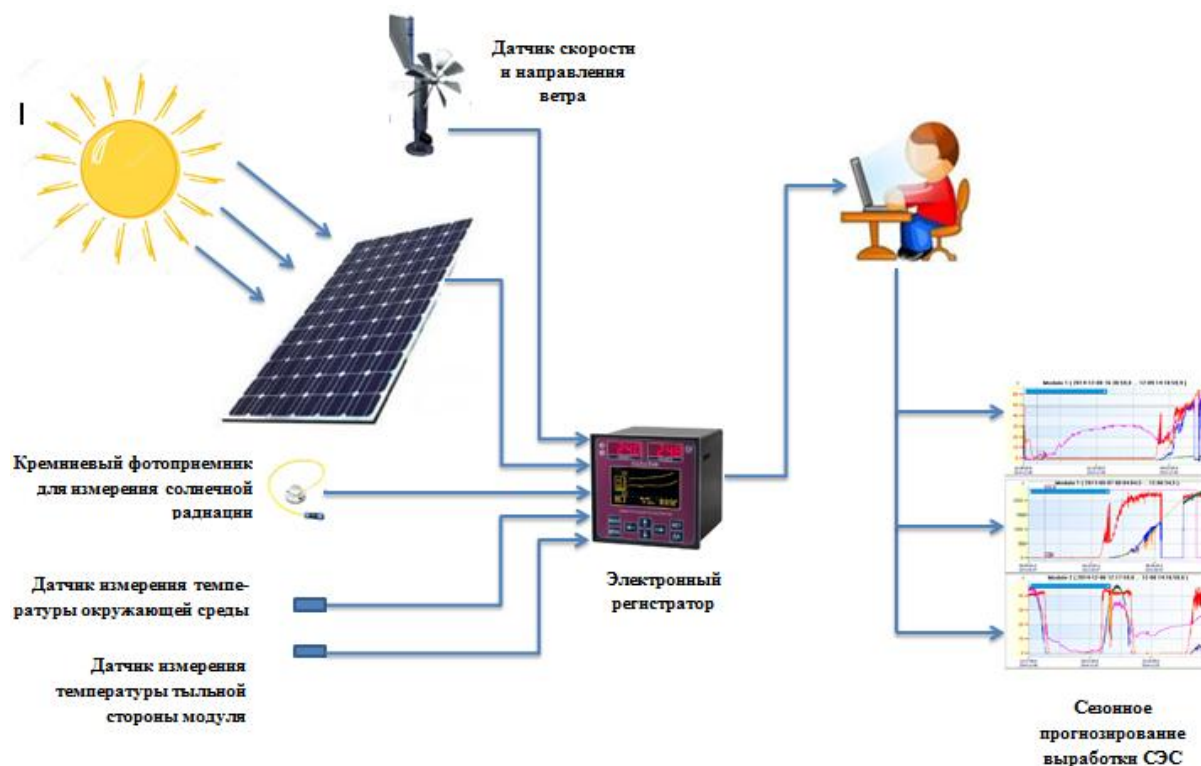
магистрант, e-mail: vova201428@yandex.ru

Проведено экспериментальное исследование влияния метеорологических факторов на выработку электроэнергии солнечными модулями в климатических условиях Астраханской области. Исследование выполнено с использованием пилотной тестовой фотоэлектрической системы, разработанной и изготовленной научно-техническим центром тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе по заказу компании «Хевел». Тестовая фотоэлектрическая система осуществляет сбор следующих данных: выработку электроэнергии микроморфным и кристаллическим солнечными модулями; значение прихода солнечной радиации на приемную площадку; температуру тыльной стороны каждого солнечного модуля; температуру воздуха в тени; скорость и направление ветра. Для обеспечения удаленного доступа к тестовой фотоэлектрической системе и для передачи накопленных данных на центральный сервер осуществлено подключение к телекоммуникационным сетям с выделением в системе «внешнего» фиксированного IP-адреса (к сети Internet, передача данных через сотовые сети с помощью 3G-модема). Массив экспериментальных данных, полученных с помощью тестовой фотоэлектрической системы в течение года, был разделен соответственно ряду сезонов, отличающихся постоянством метеоусловий. Разработаны регрессионные модели комплексного влияния совокупности метеорологических факторов: солнечной радиации, скорости ветра и температуры окружающей среды на энерговыработку солнечного модуля. Согласно расчетам в MS EXCEL, полученные модели адекватны по критерию Фишера с уровнем значимости 0,01, и все коэффициенты являются значимыми по уровню значимости 0,05. Показано, что учет температуры окружающей среды и параметров ветра на основе предлагаемой регрессионной модели позволит повысить точность прогнозирования выработки электроэнергии солнечным модулем. Приращение прогнозных значений выработки электрической энергии солнечными модулями при учете

температуры окружающей среды и параметров ветра в климатических условиях Астраханской области могут достигать 10–12 %. Предложенные регрессионные модели будут использованы при разработке программы оперативного и краткосрочного прогноза выработки электрической энергии сетевыми солнечными электростанциями, действующими, проектируемыми или строящимися в Астраханской области

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, распределенная энергетика, солнечный модуль, солнечные электростанции, информационно-управляющие системы, информационные технологии, фотоэлектрическая система

Графическая аннотация (Graphical annotation)



PILOT STUDY OF INFLUENCE OF METEOROLOGICAL FACTORS ON POWER GENERATION BY SOLAR MODULES IN CLIMATIC CONDITIONS OF THE ASTRAKHAN REGION

Terukov Evgeny I., “Research and Development Center of Thin-film Technologies in Energetics at FTI of A.F. Ioffe” JSC, 28 Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, 194064, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), e-mail: <eug.terukov@mail.ioffe.ru>

Andronikov Dmitry A., “Research and Development Center of Thin-film Technologies in Energetics at FTI of A.F. Ioffe” JSC, 28 Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, 194064, Russian Federation,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), e-mail: d.andronikov@hevelsolar.com

Malevsky Dmitry Andreevich, “Research and Development Center of Thin-film Technologies in Energetics at FTI of A.F. Ioffe” JSC, 28 Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, 194064, Russian Federation,

Researcher, e-mail: <dmalevsky@scell.ioffe.ru>

Zaynutdinov Rustem A., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), e-mail: rzain@gmail.com

Klyucharev Anton Yu., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), e-mail: key_a@mail.ru,

Bratyshev Sergey N., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

post-graduate student, e-mail: sera.brat@mail.ru

Ilyichev Vladimir G., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

graduate student, e-mail: vova201428@yandex.ru

The pilot study of influence of meteorological factors on power generation by solar modules in climatic conditions of the Astrakhan region is conducted. Research is executed with use of the pilot test photo-electric system developed and made by scientific and technological center of thin-film technologies in an energy at FTI of A.F. Ioffe by request of the Hevel company. Test photo-electric system carries out collecting the following data: power generation mikromorfny and crystal solar modules; value of arrival of solar radiation on a reception platform; temperature of the back of each solar module; air temperature in a shadow; speed and direction of a wind. For ensuring remote access, for transfer of the saved-up data on the centralized server connection to telecommunication networks with allocation to system of the "external" fixed IP address is carried out (to the Internet network, data transmission through cellular networks by means of 3G of the modem). The massif of the experimental data obtained by means of test photo-electric system within a year was divided in compliance with a number of the seasons differing in constancy of meteoconditions. Regression models of complex influence of set of meteorological factors are developed: solar radiation, speed of a wind and ambient temperature on power development of the solar module. According to calculations in MSEXCEL, the received models are adequate by Fischer's criterion with a significance value 0,01 and all coefficients are significant on a significance value 0,05. It is shown that the accounting of ambient temperature and parameters of a wind on the basis of offered regression will allow to increase the accuracy of forecasting of power generation by the solar module. Increments of expected values of development of electric energy solar modules at the accounting of ambient temperature and parameters of a wind in climatic conditions of the Astrakhan region can reach 10–12 %. The offered regression model will be used for the operational and short-term forecast of development of electric energy by network solar power stations in the Astrakhan region.

Keywords: renewables, the distributed power, the solar module, solar power stations, management information systems, information technologies, photo-electric system

Введение. В настоящее время прослеживается мировой тренд децентрализации энергетики. Уход многих потребителей от исключительно централизованного энергоснабжения – общемировая тенденция. Для удовлетворения их потребностей в последние годы разработан целый ряд эффективных энерготехнологий, которые позволяют потребителям электроэнергии создавать собственные генерирующие установки, успешно конкурирующие с централизованным производством электроэнергии.

При распределенной генерации появляется возможность более эффективно использовать локальные энергетические ресурсы. В концепцию распределенной генерации хорошо вписывается распределенный характер выработки энергии с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Распределенная генерация и возобновляемая энергетика сегодня являются основными направлениями развития энергетики во всем мире, они играют существенную роль в повышении надежности и качества поставляемой потребителям электроэнергии [7, 8, 23, 24]. Отсутствие потенциальной опасности техногенных катастроф в возобновляемой энергетике является положительным аргументом с позиции укрепления энергетической безопасности на локальных территориях [1].

В климатических условиях Астраханской области наиболее перспективным является развитие солнечной энергетики [2, 10, 12, 15, 25]. Наблюдается рост установленной мощности солнечных и ветровых электростанций, работающих параллельно с Единой энергетической системой России [2, 12, 14]. Соответственно, усиливается фактор неопределенности количества энергии, выдаваемой сетевыми солнечными и ветровыми электростанциями в электрическую сеть [4, 20, 21, 22]. Резерв, требуемый для покрытия этой неопределенности, должен быть наименьшим [19]. Следовательно, прогноз выработки энергии солнечными электростанциями становится важным инструментом в управлении работой энергосистем и рынков электроэнергии, включая локальные рынки. Поэтому задача оперативного, краткосрочного и долгосрочного планирования выработки мощности солнечными электростанциями становится крайне актуальной. Однако эти вопросы в существующей литературе исследованы недостаточно полно. Поэтому целью данной работы была попытка устранить этот недостаток путем экспериментального исследования энерговыработки солнечных модулей в климатических условиях Астраханской области.

Общая характеристика проблематики работы. В настоящее время известно несколько подходов для получения прогноза мощности ВИЭ, причем эти подходы реализованы в виде программных и программно-технических комплексов [3, 16, 17, 18]. Системные операторы и энергокомпании, как правило, используют несколько комплексов (несколько поставщиков прогнозов) одновременно, опытным путем выясняя, какой комплекс или поставщик предоставляет прогнозы с минимальной погрешностью по мощности ВИЭ.

Основным фактором в определении возможного количества солнечной энергии, которая будет поступать на пластины солнечных модулей, являются метеорологические данные (условия). Как правило, метеорологические данные включают в себя информацию о солнечной активности (глобальное излучение, прямое, диффузное), а также о преобладающих направлениях ветра и его скорости, облачном покрове, о количестве осадков и т.д. Безусловно, главным фактором служит информация о солнечной активности. Построение прогноза с учетом всех видов метеорологических данных представляет собой сложную научную задачу. По этой причине, как правило, известные модели не могут охватить все виды метеорологических данных. В целом ряде работ прогнозирование выработки электроэнергии солнечными модулями осуществляется на основе усредненной солнечной инсоляции и угла наклона солнечного модуля для определенных географических зон. Известны работы, посвященные исследованию влияния

температуры модуля на эффективность его работы [5, 11, 26], при этом влияние остальных метеорологических факторов практически не учитывается. В работе [9] проведено исследование влияния температуры и влажности на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи в условиях Западной Сибири. Модель прогнозирования выработки электроэнергии, предложенная в работе [9], опирается на определение ряда параметров солнечной батареи в лабораторных условиях. Это затрудняет ее использование для оперативного и краткосрочного прогнозирования выработки электроэнергии на сетевой солнечной электростанции.

Обоснование целесообразности использованного подхода. Известные теоретические исследования, как правило, дают оценку влияния какого-либо одного фактора на эффективность выработки электрической энергии солнечными модулями. В связи с внедрением сетевых солнечных электростанций становится актуальной задача прогнозирования выработки с учетом всех возможных факторов. Поэтому целесообразность предлагаемого в настоящей работе экспериментального исследования комплексного влияния совокупности метеорологических факторов на выработку электроэнергии солнечными модулями в климатических условиях Астраханской области является обоснованной. Исследование проводится с применением пилотной тестовой фотоэлектрической системы (ТФЭС).

22 января 2013 г. Общество с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе» и ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет» заключили соглашение о сотрудничестве в области возобновляемой солнечной энергетики путем создания системы мониторинга солнечной инсоляции в Астраханской области, совместного участия в научно-практических исследованиях и подготовке высококвалифицированных кадров в сфере возобновляемых источников энергии.

В рамках этого соглашения 8 мая 2013 г. в Астраханской области на крыше одного из учебных корпусов Астраханского государственного университета была установлена пилотная ТФЭС. Она состоит из двух фотоэлектрических модулей (ФЭМ), произведенных по разной технологии: кристаллического – мощностью 225 Вт и микроморфного – мощностью 125 Вт. Также система включает в себя термощаф с контрольно-измерительной аппаратурой (рис. 1).

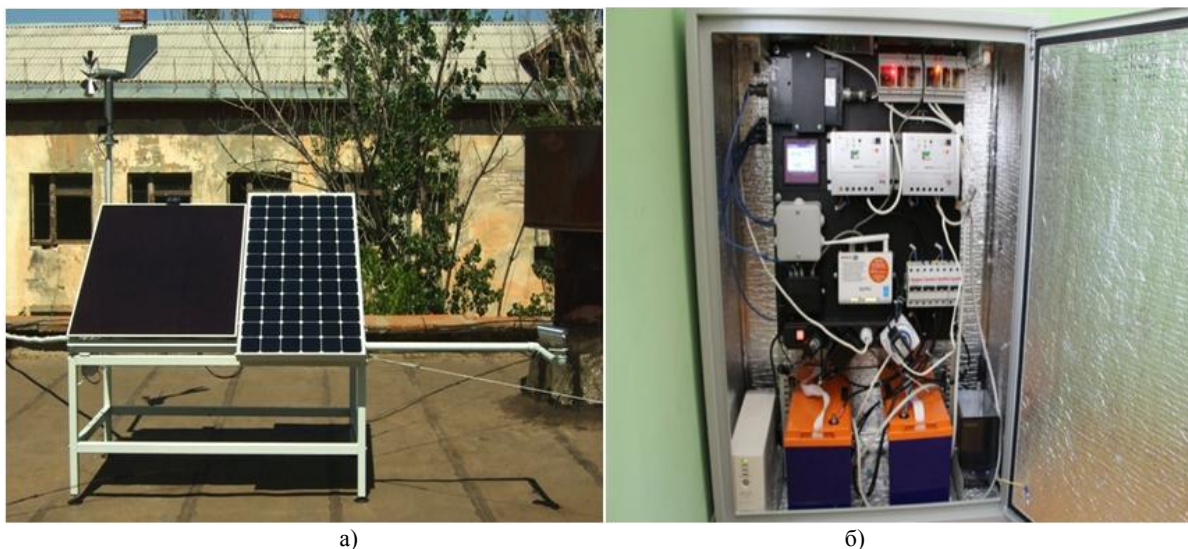


Рисунок 1 – Тестовая фотоэлектрическая система: а) фотоэлектрические модули; б) термощаф с контрольно-измерительной аппаратурой

ТФЭС разработана и изготовлена научно-техническим центром тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе по заказу компании «Хевел» – первого в России предприятия, изготавливающего тонкопленочные фотоэлектрические модули с применением аморфного кремния. Эта компания находится в стратегическом партнерстве с ООО «Авелар Солар Технолоджи».

Назначение ТФЭС – получить достоверные данные о целесообразности использования солнечных модулей в реальных погодных условиях Астраханской области. Система осуществляет сбор следующих данных:

- выработку электроэнергии микроморфным и кристаллическим солнечными модулями;
- значение прихода солнечной радиации на приемную площадку (угол наклона данной площадки соответствует углу наклона солнечных модулей – 31 градус);
- температуру тыльной стороны каждого солнечного модуля;

- температуру воздуха в тени;
- скорость и направление ветра.

Детальная характеристика тестовой фотоэлектрической системы. Структурная схема ТФЭС приведена на рисунке 2.

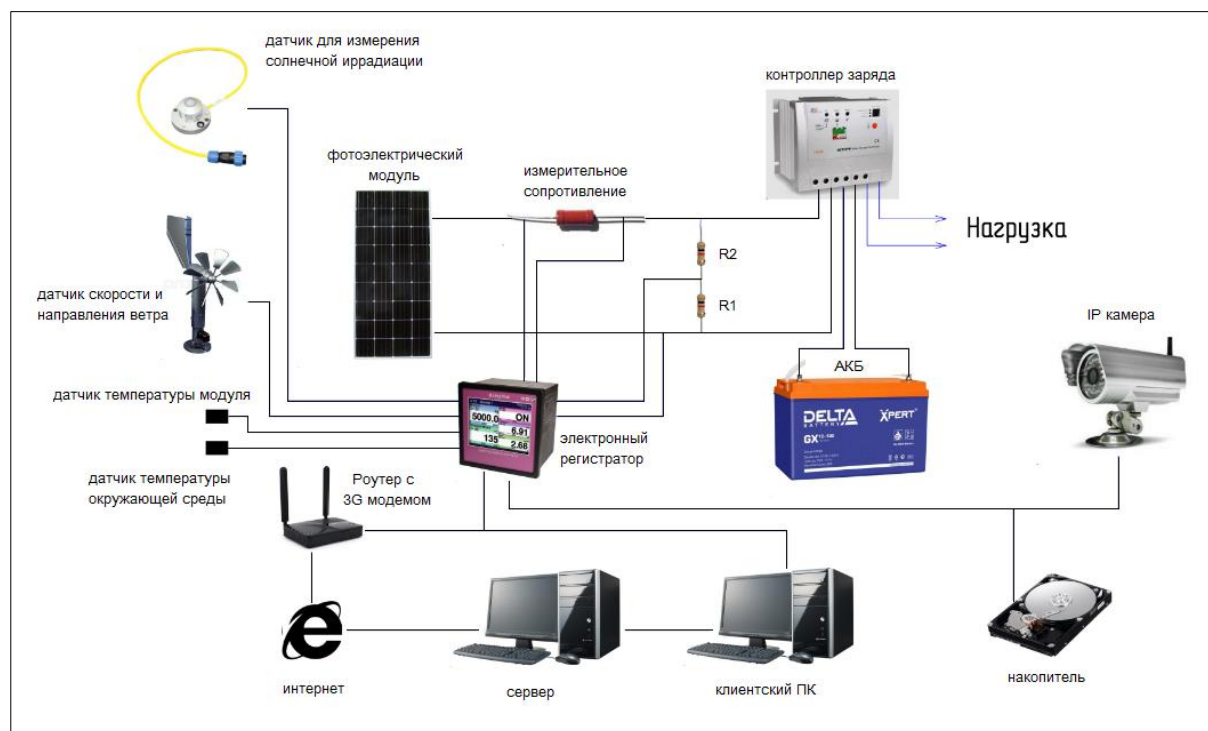


Рисунок 2 – Структурная схема тестовой фотоэлектрической системы

ТФЭС обеспечивает круглосуточный сбор, хранение данных о мощностных, температурных характеристиках, уровне солнечной радиации, а также доступ к этим данным посредством подключения к сети Internet. Отбор энергии от фотоэлектрического модуля обеспечивается системой, состоящей из контроллера заряда с удержанием точки максимальной мощности, аккумулятора и электрической нагрузки. Система позволяет производить круглогодичное измерение характеристик фотоэлектрических модулей, работающих в естественных условиях.

Для удаленного визуального наблюдения система оснащается IP-камерой, сохраняющей фотографии системы на подключенный к системе твердотельный жесткий диск. Система рассчитана на автономное хранение полученных данных (данных системы мониторинга и фотоснимков), собранных в течение одного года. Измерение сигналов производится с точностью не хуже чем 0,2 % в диапазоне напряжений 0–100 Вольт и в диапазоне токов 0–10 Ампер.

Для обеспечения круглогодичной регистрации данных управляющий блок размещается в помещении (термошкафе) с постоянной температурой. Расстояние (длина кабеля) от помещения (термошкафа) с системой сбора данных до солнечной системы не должно превышать 20 метров.

Для обеспечения удаленного доступа к системе сбора данных и для передачи накопленных данных на центральный сервер осуществлено подключение системы к телекоммуникационным сетям с выделением в системе «внешнего» фиксированного IP-адреса (к сети Internet, передача данных через сотовые сети с помощью 3G-модема).

Доступ к данным осуществляется через web-сервер с ограничением доступа к данным по имени пользователя/пароллю. Также возможен доступ непосредственно с клиентского персонального компьютера для контроля работы системы (например, контроль уровня заряда АКБ, других сервисных параметров системы).

Каждые 15–30 секунд сервер опрашивает все системы и собирает текущие измеряемые данные. В случае временного обрыва канала связи с какой-либо системой сервер проводит синхронизацию данных за время отсутствия связи (после восстановления связи).

Непосредственный контроль за работой тестовой системы осуществляется силами сотрудников Научно-образовательного центра «Альтернативная энергетика» Астраханского государственного университета. Внешний вид опорной конструкции и обозначения компонентов ТФЭС представлены на рисунке 3. Комплектность системы ТФЭС представлена в таблице 1.

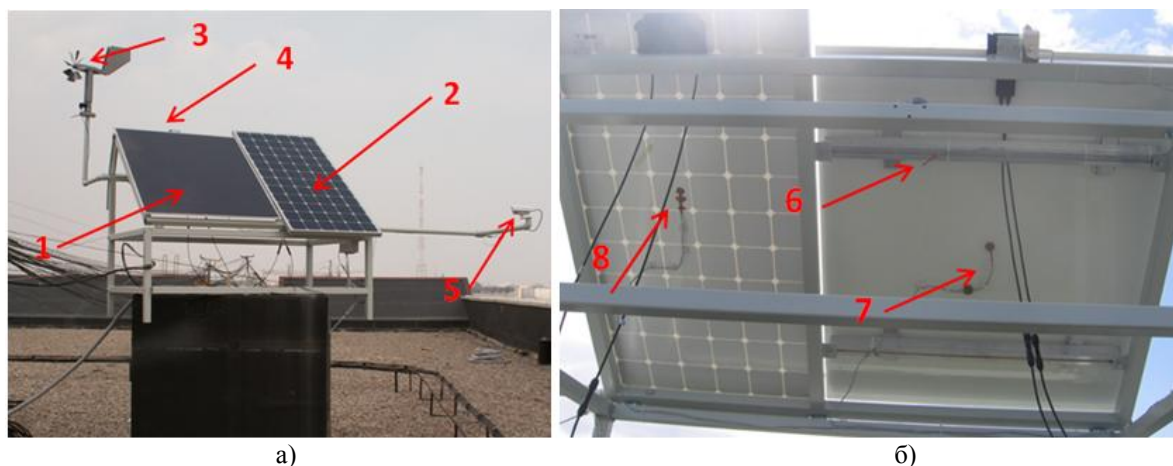


Рисунок 3 – а – внешний вид опорной конструкции ТФЭС с размещенными на ней ФЭМ; б – вид задней поверхности ФЭМ. Обозначения: 1 – ФЭМ 1; 2 – ФЭМ 2; 3 – датчик скорости и направления ветра; 4 – датчик солнечной радиации; 5 – камера наблюдения; 6 – температурный датчик окружающей среды; 7 – температурный датчик задней поверхности ФЭМ 1; 8 – температурный датчик ФЭМ 2

Таблица 1 – Комплектность ТФЭС

Тип, название	Количество, шт.	Назначение
Поддержание солнечных модулей в точке максимальной мощности		
Тонкопленочный солнечный модуль Pramac Luce 125 Вт	1	Объект мониторинга
Кристаллический кремниевый солнечный TCM-210SB Телеком-СТВ 223 Вт	1	Объект мониторинга
Контроллер заряда EPSolar Tracer MPPT 2210 (максимальное напряжение холостого хода 100 В)	1	Управление зарядом и разрядом аккумуляторной батареи. Удержание точки максимальной мощности
Контроллер заряда EPSolar Tracer MPPT 2215 (максимальное напряжение холостого хода 150 В)	1	Управление зарядом и разрядом аккумуляторной батареи. Удержание точки максимальной мощности
АКБ, Delta GX12-100 (гелевая, необслуживаемая, 100 Ач, 12 В)	2	Накопление энергии
Измерение и накопление параметров солнечных модулей и параметров среды		
Плата измерительных сопротивлений	1	Измерение тока и напряжения, вырабатываемого фотоэлектрическим модулем
Электрическая нагрузка	2	Разряд АКБ, необходима для управляемого разряда аккумуляторной батареи
Датчик скорости и направления ветра М-127 с устройством согласования УСТ 0-5 «Гидрометприбор»	1	Измерение скорости и направления ветра
Кремниевый фотоприемник SOL1 с шунтирующим сопротивлением	1	Измерение уровня солнечной иррадиации
Температурные датчики Pt100. 701-102ВAB-B00	3	Измерение температуры окружающей среды и задних поверхностей модулей
Измерительный блок «ПАРАГРАФ PL2», с дополнительными модулями: ACM, UI4, RT4	1	Проведение измерения. Хранение и передача информации
Передача данных		
Роутер для подключения к интернету с поддержкой 3G-модема Zyxel Keenetic	1	Передача данных мониторинга в сеть Интернет
3G-модем Huawei E173	1	Передача данных мониторинга в сеть Интернет
Сетевой коммутатор D-Link 1005	1	Коммутация устройств регистрации и записи данных (регистратор «Параграф PL-2», IP-камера, сетевой жесткий диск D-Link 320 Share Center)
Видеонаблюдение		
IP-видеокамера в уличном исполнении FOSCAM FI8904W	1	Удаленное видеонаблюдение за системой мониторинга
Сетевой диск D-Link 320D Share Center	1	Накопление данных видеонаблюдения

Продолжение таблицы 1

Защита измерительного и коммуникационного оборудования		
Термобокс IProm THM-55-100.80.30-111500	1	Термостабилизация измерительного и коммуникационного оборудования
Источник бесперебойного питания APC 500VA	1	Обеспечение бесперебойного питания системы измерения, накопления и передачи данных на случай аварийного отключения электрической сети
Прочее		
Корпусные изделия, разъёмы, кабели		

Содержимое термощкафа, входящего в состав ТФЭС, с обозначениями размещенных в нем компонентов системы, представлено на рисунке 4.

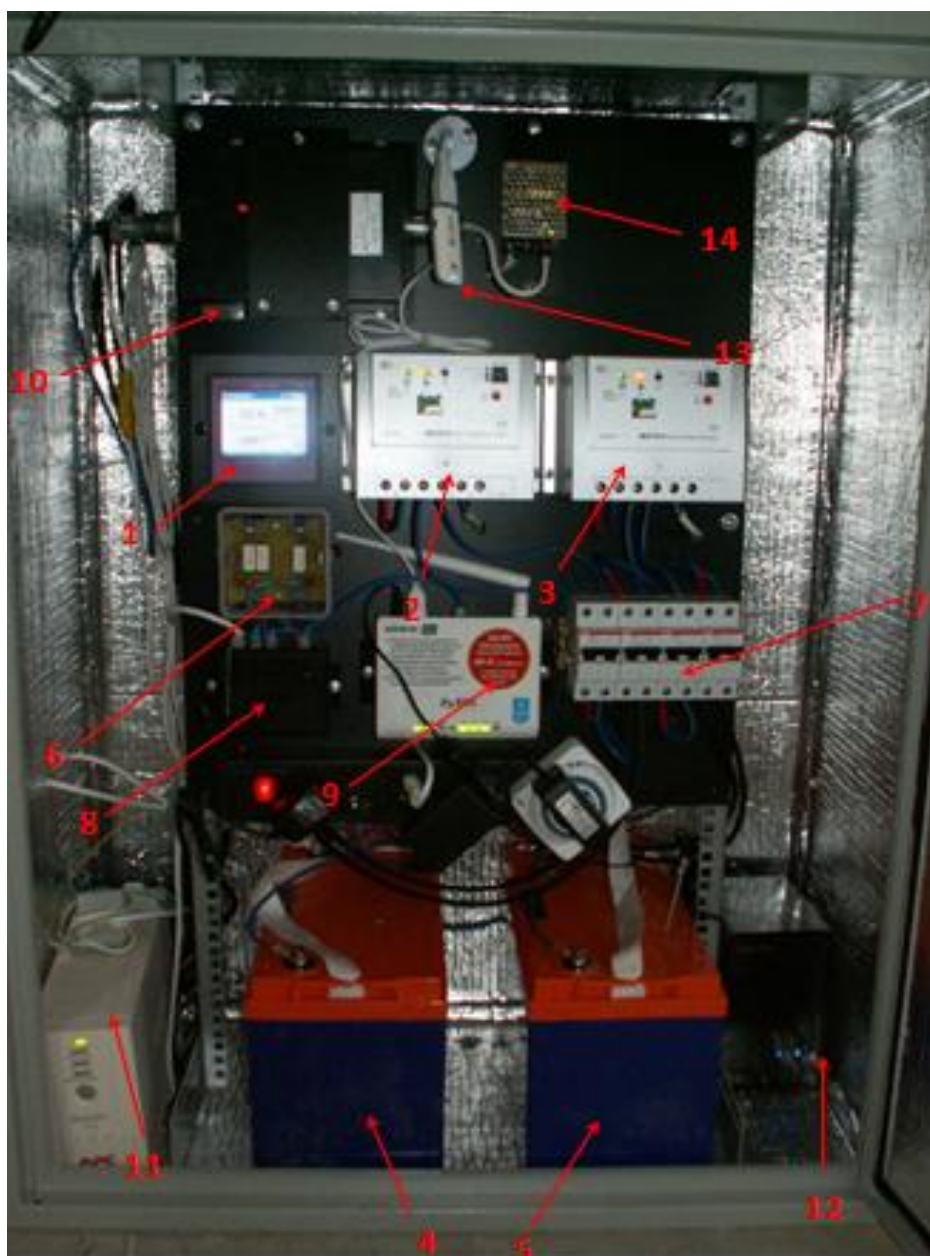


Рисунок 4 – Термощкаф с компонентами системы управления, регистрации и передачи данных. Обозначения: 1 – электронный регистратор данных; 2 – контроллера заряда АКБ ФЭМ 1; 3 – контроллера заряда АКБ ФЭМ 2; 4 – АКБ ФЭМ 1; 5 – АКБ – ФЭМ 2; 6 – измерительная плата; 7 – предохранительные автоматы; 8 – сетевой коммутатор; 9 – роутер с поддержкой 3G-модема; 10 – устройство согласования сигнала датчика ветра; 11 – блок бесперебойного питания; 12 – сетевой диск; 13 – 3G-модем; 14 – блок питания устройства согласования сигнала датчика ветра

Основные эксплуатационные характеристики фотоэлектрических модулей Pramac Luce и TCM-210SB, входящих в состав ТФЭС, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные эксплуатационные характеристики фотоэлектрических модулей Pramac Luce и TCM-210SB, входящих в состав ТФЭС

Параметр	Pramac Luce	TCM-210SB
Номинальная мощность	125 Вт	227 Вт
Напряжение холостого хода	71 В	44 В
Рабочее напряжение	56 В	37,6 В
Рабочий ток	2,23 А	6,04 А
КПД	8,74 %	17,65 %
Площадь поверхности	1,43 м ²	1,286 м ²
Масса	20 кг	15 кг

Солнечные панели Pramac MCRN P7 125 Вт производятся по технологии тонкопленочного нанесения покрытия из аморфного и микроморфного кремния, или как еще принято называть данную технологию Тандемный Аморфный и Микрокристаллический Кремний (a-Si/μc-Si). Солнечные панели Pramac MCRN P7, изготовленные по тонкопленочной технологии, имеют ряд преимуществ по сравнению с классической технологией производства солнечных батарей из моно- или поликристаллического кремния. Одним из главных преимуществ тонкопленочной технологии является низкая стоимость производства и, как следствие, низкая цена солнечных батарей, а также возможность интеграции в фасадные конструкции зданий без потери их эстетического вида. Конструкция панели безрамная, осветленное стекло с тандемным покрытием a-Si/μc-Si и задним защитным закаленным стеклом. Солнечные панели Pramac MCRN P7 могут работать в температурном диапазоне от –40 °С до +85 °С.

Исследования с применением описанной тестовой фотоэлектрической системы проводятся авторами с 2013 г. Так, в 2015 г. была опубликована статья о сравнении энерговыработки упомянутых выше двух типов солнечных модулей. Авторами статьи выступили сотрудники Научно-образовательного центра «Альтернативная энергетика» Астраханского государственного университета и сотрудники Научно-технического центра тонкопленочных технологий в энергетике при Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе [6].

Регрессионная модель энерговыработки солнечного модуля. Регрессионная модель комплексного влияния совокупности метеорологических факторов (солнечной радиации, скорости ветра и температуры окружающей среды на энерговыработку) была построена на примере солнечного модуля Pramac MCRN P7, изготовленного по тонкопленочной технологии. Фрагмент базы экспериментальных данных представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Фрагмент базы экспериментальных данных

Дата и время	Скорость ветра [м/с]	Направление ветра [°]	Солнечная радиация [Вт/м ²]	Температура окружающей среды [°C]	Вырабатываемая мощность исследуемого объекта [мВт]
02.07.2013 10:30	3,86	64,08	540,8046	21,57	68853,5441
02.07.2013 10:32	6,58	64,512	482,1839	21,57	61685,3918
02.07.2013 10:34	4,44	93,672	471,2644	22,68	59975,4742
02.07.2013 10:36	5,08	88,272	457,4713	22,37	58284,6454
02.07.2013 10:38	3,9	83,088	440,8046	22,58	55946,7467
02.07.2013 10:40	5,09	82,08	477,5862	22,09	60562,2152
02.07.2013 10:42	3,03	71,352	493,6782	22,58	62956,0895
02.07.2013 10:44	5	55,656	449,4253	22,29	57567,7595
02.07.2013 10:46	3,95	83,16	504,023	21,98	64580,3128
02.07.2013 10:48	2,44	80,352	513,7931	22,78	65387,2648
02.07.2013 10:50	5,34	71,784	566,6667	21,98	73219,7227

Продолжение таблицы 3

02.07.2013 10:52	3,29	62,64	655,7471	22,58	84058,0838
02.07.2013 10:54	4,09	100,152	650	22,78	83387,7345
02.07.2013 10:56	5,19	77,76	567,2414	22,89	72476,2324
02.07.2013 10:58	5,3	77,472	527,0115	22,78	66830,4903

Как видно из таблицы 3, экспериментальные данные фиксируются через каждые 2 минуты. Соответственно, объем базы данных достаточно велик. Это позволяет использовать статистические подходы для оценки степени влияния различных метеорологических факторов на выработку электроэнергии солнечным модулем.

Рассмотрим построение экспериментальной модели выработки электроэнергии солнечным модулем. В качестве факторов воздействия определим величины солнечной радиации, температуру окружающей среды и скорость ветра.

Будем искать функцию отклика (регрессионную модель) в виде:

$$P = b + a_1V + a_2I + a_3T, \quad (1)$$

где P , мВт – мощность модуля; V , м/с – скорость ветра; I , Вт/м² – солнечная радиация; T , °C – температура окружающей среды.

Коэффициенты b, a_1, a_2, a_3 уравнения множественной линейной регрессии определяются методом наименьших квадратов, реализованным в пакете «Анализ данных» MS EXCEL.

Массив экспериментальных данных, полученных с помощью ТФЭС в течение периода с мая 2013 г. по февраль 2014 г., был разделен на ряд сезонов, отличающихся для г. Астрахани постоянством метеоусловий [13].

Таблица 4 – Диапазоны изменения факторов воздействия

Скорость ветра $V, \text{ м/с}$		Солнечная радиация $I, \text{ Вт/м}^2$		Температура $T, \text{ }^\circ\text{C}$	
min	max	min	max	min	max
Весенне-летний сезон (май-июнь)					
0	52	51	1212	12,67	38,58
Летний сезон (июль-август)					
0	52	51	1298	17	41
Летне-осенний сезон (август-октябрь)					
0	52	51	1257	12	34
Зимний сезон (декабрь-февраль)					
0	8,9	51	897,1	-27	7

В результате анализа экспериментальных данных были построены следующие модели выработки электроэнергии.

Весенне-летний сезон (май-июнь):

$$P = 10194,6 - 4,5V + 109,1I - 179,7T. \quad (2)$$

Летний сезон (июль-август)

$$P = 9691 + 13,3V + 105,4I - 161,1T. \quad (3)$$

Летне-осенний сезон (август-октябрь):

$$P = 2501,8 - 54,1V + 109,8I + 51,4T. \quad (4)$$

Зимний сезон (декабрь-февраль):

$$P = 610,4 + 89,5V + 110I - 51T. \quad (5)$$

Согласно расчетам, выполненным в MS EXCEL, полученные модели адекватны по критерию Фишера с уровнем значимости 0,01, и все коэффициенты являются значимыми по уровню значимости 0,05.

Прогноз выработки электрической энергии. На основе разработанных регрессионных моделей были получены графики прогнозной выработки электрической энергии с учетом влияния температуры окружающей среды (рис. 5) и скорости ветра (рис. 6).

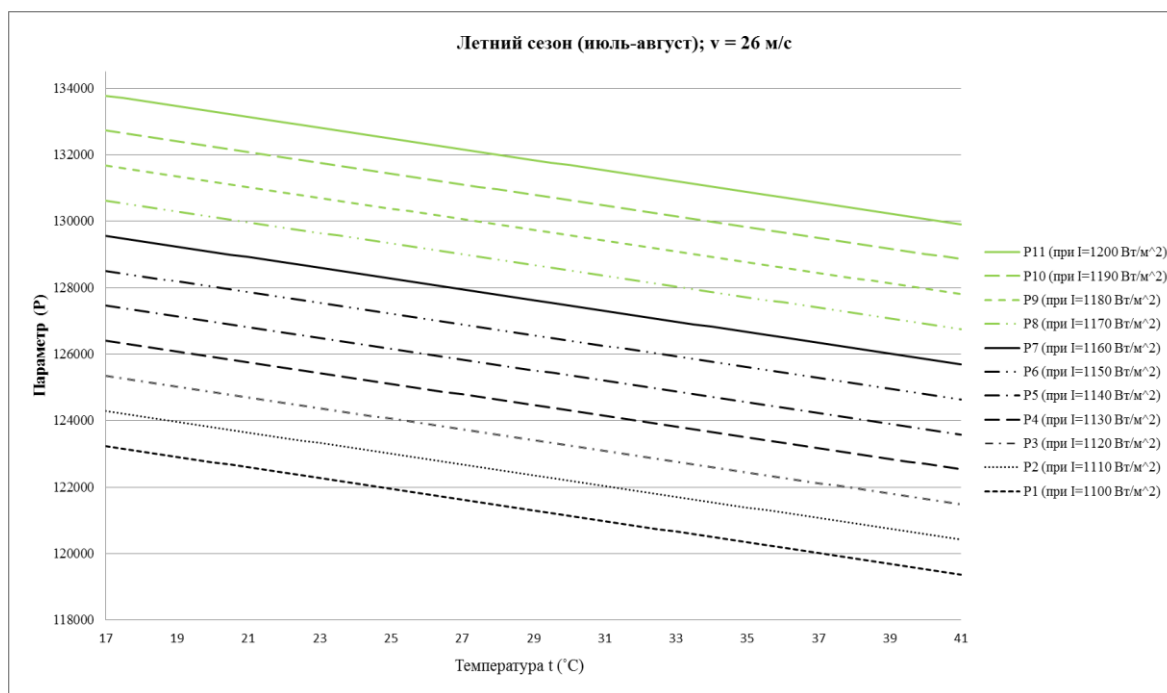


Рисунок 5 – Прогнозная выработка электрической энергии в летний сезон с учетом влияния температуры окружающей среды

На основе разработанной регрессионной модели показано, что мощность, вырабатываемая солнечным модулем Ргамас МСРН Р7, с ростом температуры окружающей среды:

- в весенне-летнем сезоне (май-июнь) снижается на 3,3–3,6 %;
- в летнем сезоне (июль-август) снижается на 2,9–3,13 %;
- в летне-осеннем сезоне (август-октябрь) возрастает на 0,84–0,92 %;
- в зимнем сезоне (декабрь-февраль) снижается на 1,7–1,9 %.

Снижение выработки с ростом температуры окружающей среды не противоречит известному положению о снижении КПД солнечных модулей с повышением температуры.

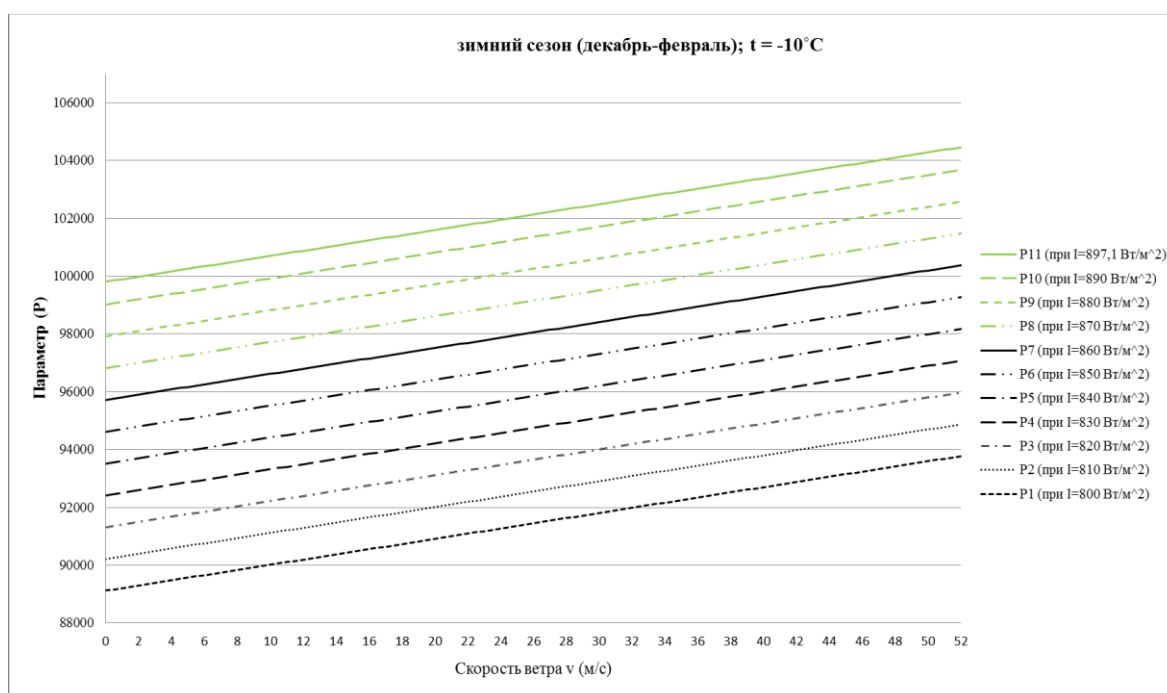


Рисунок 6 – Прогнозная выработка электрической энергии в зимнем сезоне с учетом влияния скорости ветра

На основе разработанной регрессионной модели показано, что мощность, вырабатываемая солнечным модулем Pramac MCRN P7, с ростом скорости ветра:

- в весенне-летнем сезоне (май-июнь) снижается на 0,17–0,18 %;
- в летнем сезоне (июль-август) увеличивается на 0,52–0,57 %;
- в летне-осеннем сезоне (август-октябрь) снижается на 2,07–2,26 %;
- в зимнем сезоне (декабрь-февраль) возрастает на 4,6–5,2 %.

Влияние роста скорости ветра на выработку электроэнергии солнечным модулем неоднозначно: возможно как снижение, так и возрастание выработки. Увеличение выработки с ростом скорости ветра можно объяснить улучшением теплоотвода и, соответственно, повышением КПД.

Заключение.

1. Распределенная генерация и возобновляемая энергетика сегодня являются основными направлениями развития энергетики во всем мире, играют существенную роль в повышении надежности и качества поставляемой электроэнергии. Прогноз выработки солнечных электростанций становится важным инструментом в работе единой энергетической системы страны и рынков электроэнергии. Поэтому задача оперативного, краткосрочного и долгосрочного планирования выработки мощности солнечными электростанциями становится крайне актуальной.

2. Проведено экспериментальное исследование влияния метеорологических факторов на выработку электроэнергии солнечными модулями в климатических условиях Астраханской области.

3. Исследование было выполнено с использованием пилотной ТФЭС, разработанной и изготовленной Научно-техническим центром тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе по заказу компании «Хевел».

4. На основе базы экспериментальных данных получена регрессионная модель, в которой выработка электроэнергии солнечным модулем определяется не только значением солнечной радиации, но и температурой окружающей среды и скоростью ветра.

5. Предложенная регрессионная модель показала, что не только солнечная инсоляция, но и температура окружающей среды, а также параметры ветра оказывают существенное влияние на выработку электроэнергии солнечными модулями. Согласно полученным количественным данным, приращение прогнозных значений выработки электрической энергии солнечными электростанциями при учете температуры окружающей среды и параметров ветра в климатических условиях Астраханской области могут достигать 10–12 %.

Разработанные регрессионные модели будут положены в основу программы оперативного и краткосрочного прогноза выработки электрической энергии сетевыми солнечными электростанциями, действующими, проектируемыми или строящимися в Астраханской области.

Библиографический список

1. Антипин С. А. Развитие ВИЭ как фактор освоения мало заселенных территорий / С. А. Антипин, Л. Х. Зайнутдинова // Альтернативная энергетика в регионах России : материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5–7 декабря 2018 г.) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Л. Х. Зайнутдиновой и д-ра техн. наук, проф. М. Г. Тягунова. – Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. – С. 227–233.
2. Боровских Б. А. Увеличение мощности солнечной электростанции «Заводская» до 30 МВт (ПС 110 кВ Володаровка) / Б. А. Боровских, Р. А. Зайнутдинов // Альтернативная энергетика в регионах России : материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5–7 декабря 2018 г.) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Л. Х. Зайнутдиновой и д-ра техн. наук, проф. М. Г. Тягунова. – Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. – С. 55–59.
3. Возможности алгоритмической реализации краткосрочного прогнозирования выработки солнечных электростанций / Д. А. Снегирев [и др.] // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. – 2017. - № 1. – С. 236–239.
4. Гуревич Ю. Е. Особенности расчетов режимов в энергорайонах с распределенной генерацией : монография / Ю. Е. Гуревич, П. В. Илюшин. – Н. Новгород : НИУ РАНХиГС, 2018. – 280 с.
5. Джумаев А. Я. Анализ влияния температуры на рабочий режим фотоэлектрической станции / А. Я. Джумаев // Технические науки – от теории к практике : сб. ст. по матер. XLVI Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СибАК, 2015. – № 5 (42).
6. Зайнутдинов Р. А. Исследование энерговыработки солнечных модулей с применением тестовой фотоэлектрической системы / Р. А. Зайнутдинов, А. В. Обухов, Д. А. Андроников, Д. А. Малевский, Е. И. Теруков // Фёдоровские чтения – 2015 : XLV Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 11–13 ноября 2015 г.). – Москва : Издательский дом МЭИ, 2015. – С. 259–265.
7. Зайнутдинов Р. А. Трехэтапная модель внедрения систем с возобновляемыми источниками энергии в муниципалитетных образованиях региона (на примере Астраханской области) / Р. А. Зайнутдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 4 (40). – С. 125–135.
8. Киушкина В. Р. Возобновляемые источники энергии в распределенной генерации малой энергетики / В. Р. Киушкина // Молодой ученый. – 2016. - № 26 (130). – С. 45–47.
9. Козлов А. В. Контроль влияния параметров атмосферы на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Козлов. – Томск, 2008. – 12 с.

10. Курылев С. А. Основы применения солнечных электростанций в составе судовых энергетических установок / С. А. Курылев, Р. А. Зайнутдинов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. Качество – Безопасность – Диагностика. – 2017. – С. 595–600.
11. Лысова А. С. Исследование влияния температуры на эффективность солнечных модулей / А. С. Лысова, А. Г. Васков // Электроэнергетика глазами молодежи – 2018 : мат-лы IX Междунар. молод. науч.-техн. конф. (Казань, 1–5 октября 2018 г.) : в 3 т. – Казань : Казанский гос. энерг. ун-т, 2018. – Т. 3. – С. 103–106.
12. Мустафин А. Б. Подключение солнечной электростанции по сети 10 кВ / А. Б. Мустафин, Р. А. Зайнутдинов // Альтернативная энергетика в регионах России : материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5–7 декабря 2018 г.) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Л. Х. Зайнутдиновой и д-ра техн. наук, проф. М. Г. Тягунова. – Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. – С. 106–110.
13. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1990. – Вып. 13. – 724 с.
14. Обухова Н. В. Режимы работы Сакмарской солнечной электростанции Оренбургской энергосистемы / Н. В. Обухова, К. И. Башкатова, А. О. Егоров // Электроэнергетика глазами молодежи – 2018 : матер. IX Междунар. молод. науч.-техн. конф. (Казань, 1–5 октября 2018 г.) : в 3 т. – Казань : Казанский гос. энерг. ун-т, 2018. – Т. 3. – С. 139–142.
15. Попов В. В. Проектирование сетевой солнечной электростанции для повышения эффективности электроснабжения административного здания / В. В. Попов, Р. А. Зайнутдинов // Альтернативная энергетика в регионах России : Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5–7 декабря 2018 г.) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Л. Х. Зайнутдиновой и д-ра техн. наук, проф. М. Г. Тягунова. – Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. – С. 110–115.
16. Проблемы мониторинга солнечных энергетических систем в России / Т. С. Габдрахманова [и др.] // Вестник Южно-уральского государственного университета. – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 54–60.
17. Прогнозирование работы солнечной электростанции. – Режим доступа: <https://renttechno.ua/blog/solar-pv-forecast.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
18. Промышленное моделирование солнечных электростанций. – Режим доступа: <https://renttechno.ua/blog/production-modeling-pv.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
19. Самойленко В. О. Прогноз особенностей развития малой генерации методами экономико-географического районирования на примере Свердловской области / В. О. Самойленко, С. А. Ерошенко // Промышленность. Энергетика. ЖКХ. – 2015. – № 6. – С. 46–48.
20. Сейт Р. И. Возможности инверторного оборудования солнечных электростанций в части интеграции с ЕЭС. Опыт внедрения автоматических функций / Р. И. Сейт, А. Д. Хафизов // Альтернативная энергетика в регионах России : материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5–7 декабря 2018 г.) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Л. Х. Зайнутдиновой и д-ра техн. наук, проф. М. Г. Тягунова. – Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. – С. 136–146.
21. Снегирев Д. А. Особенности прогнозирования выработки электроэнергии солнечными электростанциями / Д. А. Снегирев, Р. Т. Валиев, С. А. Ерошенко, А. И. Хальсмаа // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017 : матер. VIII Междунар. молод. науч.-техн. конф. (Самара, 2–6 окт. 2017 г.). – Самара : Самарский гос. тех. ун-т, 2017. – С. 139–142.
22. Трачук И. В. Технологии распределенной генерации: эмпирические оценки факторов применения / И. В. Трачук, Н. В. Линдер // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 1. – С. 32–48.
23. Тягунов М. Г. Развитие энергетики возобновляемых источников на основе типовых гибридных комплексов в распределенных энергосистемах / М. Г. Тягунов // Инноватика и экспертиза : научные труды. – 2012. – № 2. – С. 91–97.
24. Тягунов М. Г. Особенности работы установок на основе возобновляемых источников энергии в изолированных энергосистемах / М. Г. Тягунов // Альтернативная энергетика в регионах России : материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5–7 декабря 2018 г.) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Л. Х. Зайнутдиновой и д-ра техн. наук, проф. М. Г. Тягунова. – Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. – С. 40–44.
25. Юдаев И. В. Солнечная электроэнергетика Юга России. Имеющийся потенциал. Эксплуатируемые объекты. Перспективы развития / И. В. Юдаев, Ю. Даус // Альтернативная энергетика в регионах России : материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5–7 декабря 2018 г.) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Л. Х. Зайнутдиновой и д-ра техн. наук, проф. М. Г. Тягунова. – Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. – С. 45–49.
26. Юрченко А. В. Статистическая модель кремниевых солнечных батарей, работающих под воздействием природных и аппаратных факторов / А. В. Юрченко, А. В. Волгин, А. В. Козлов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 4. – С. 142–148.

References

1. Antipin S. A., Zaynutdinova L. Kh. Razvitiye VIE kak faktor osvoyeniya malo zaselennykh territoriy [Development of RES as development factor few populated]. *Alternativnaya energetika v regionakh Rossii : materialy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «AER-2018»* [Alternative energetics in the regions of Russia : Proceedings of the Youth Scientific Conference "AER-2018"]. Astrakhan, December 5–7, 2018. Ed. by Dr. Ped. Sciences, Prof. L. Kh. Zainutdinova and Dr. Techn. Sciences, Prof. M. G. Tyagunov. Astrakhan, Izdatel: Sorokin Roman Vasilyevich Publ., 2018, pp. 227–233.
2. Borovskikh B. A., Zaynutdinov R. A. Uvelicheniye moshchnosti solnechnoy elektrostantsii «Zavodskaya» do 30 MVt (PS 110 kV Volodarovka) [Increase in power of a solar power station «Factory» to 30 MW (PS of 110 KV of Volodarovk)]. *Alternativnaya energetika v regionakh Rossii : materialy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «AER-2018»* [Alternative energetics in the regions of Russia : Proceedings of the Youth Scientific Conference "AER-2018"]. Astrakhan, December 5–7, 2018. Ed. by Dr. Ped. Sciences, Prof. L. Kh. Zainutdinova and Dr. Techn. Sciences, Prof. M. G. Tyagunov. Astrakhan, Izdatel: Sorokin Roman Vasilyevich Publ., 2018, pp. 55–59.

3. A. Snegirev et al. Vozmozhnosti algoritmicheskoy realizatsii kratkosrochnogo prognozirovaniya vyrabotki solnechnykh elektrostantsiy [Opportunities for algorithmic implementation of short-term forecasting of solar power generation]. *Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya po problemam upravleniya v tekhnicheskikh sistemakh* [All-Russian Scientific Conference on Control Problems in Technical Systems], 2017, no. 1, pp. 236–239.
4. Gurevich Yu. Ye., Ilyushin P. V. *Osobennosti raschetov rezhimov v energorayonakh s raspredelennoy generatsiyey : monografiya* [Features of mode calculations in energy districts with distributed generation: monograph]. N. Novgorod, Nizhny Novgorod Institute of Management – Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation Publ., 2018. 280 p.
5. Dzhumayev A. Ya. Analiz vliyaniya temperatury na rabochiy rezhim fotoelektricheskoy stantsii [Analysis of the effect of temperature on the operating mode of a photovoltaic station]. *Tekhnicheskiye nauki – ot teorii k praktike : sbornik statey po materialam XLVI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Technical Sciences – from theory to practice : Proceedings of Materials XLVI International scientific-practical conference]. Novosibirsk, SibAK Publ., 2015, no. 5 (42).
6. Zaynutdinov R. A., Obukhov A. V., Andronikov D. A., Malevskiy D. A., Terukov Ye. I. Issledovaniye energovyrabotki solnechnykh moduley s primeneniym testovoy fotoelektricheskoy sistemy [Study of the power generation of solar modules using a test photovoltaic system]. *Fedorovskiy chteniye – 2015 : XLV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s elementami nauchnoy shkoly* [Fedorov Readings – 2015 : XLV International Research and Practice Conference with elements of a scientific school]. Moscow, November 11–13, 2015. Moscow, MEI Publ., 2015, pp. 259–265.
7. Zaynutdinov R. A. Trekhstadiynaya model vnedreniya sistem s vozobnovlyayemyimi istochnikami energii v munitsipal'nykh obrazovaniyakh regiona (na primere Astrakhanskoy oblasti) [Three-stage model of implementing systems, based on usage of the renewable energy sources, in regional municipalities (by the example of the Astrakhan region)]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 4 (40), pp. 125–135.
8. Kiushkina V. R. Vozobnovlyayemye istochniki energii v raspredelennoy generatsii maloy energetiki [Renewable energy sources in distributed generation of small energy]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2016, no. 26 (130), pp. 45–47.
9. Kozlov A. V. Kontrol vliyaniya parametrov atmosfery na energeticheskiye kharakteristiki kremniyevoy solnechnoy batarei [Controlling the effects of atmospheric parameters on the energy characteristics of a silicon solar cell]. Tomsk, 2008. 12 p.
10. Kurylev S. A., Zaynutdinov R. A. Osnovy primeneniya solnechnykh elektrostantsiy v sostave sudovykh energeticheskikh ustanovok [Fundamentals of application of solar power plants as part of ship power plants]. *Innovatsionnyye, informatsionnyye i kommunikatsionnyye tekhnologii. Kachestvo – Bezopasnost – Diagnostika* [Innovation, information and communication technologies. Quality – Safety – Diagnostics], 2017, pp. 595–600.
11. Lysova A. S., Vaskov A. G. Issledovaniye vliyaniya temperatury na effektivnost solnechnykh moduley [Investigation of the temperature influence on the solar modules efficiency]. *Elektroenergetika glazami molodezhi – 2018 : materialy IX Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Power industry through the eyes of young people – 2018 : Materials IX International Young Scientific and Technical Conference], in 3 vol. Kazan, October 1–5, 2018. Kazan, Kazan State Energy University Publ., 2018, vol. 3, pp. 103–106.
12. Mustafin A. B., Zaynutdinov R. A. Podklyucheniye solnechnoy elektrostantsii po seti 10 kV [Connection of a solar power plant on a network of 10 kV]. *Alternativnaya energetika v regionakh Rossii : materialy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «AER-2018»* [Alternative energetics in the regions of Russia : Proceedings of the Youth Scientific Conference "AER-2018"]. Astrakhan, December 5–7, 2018. Ed. by Dr. Ped. Sciences, Prof. L. Kh. Zainutdinova and Dr. Techn. Sciences, Prof. M. G. Tyagunov. Astrakhan, Izdatel: Sorokin Roman Vasilyevich Publ., 2018, pp. 227–233.
13. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR* [Applied scientific reference book on USSR Climate]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1990, issue 13. 724 p.
14. Obukhova N. V., Bashkatova K. I., Yegorov A. O. Rezhimy raboty Sakmarskoy solnechnoy elektrostantsii Orenburgskoy energosistemy [Operation modes of Sakmarskaya solar power plant in Orenburg power system]. *Elektroenergetika glazami molodezhi – 2018 : materialy IX Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Power industry through the eyes of young people – 2018 : Materials IX International Young Scientific and Technical Conference], in 3 vol. Kazan, October 1–5, 2018. Kazan, Kazan State Energy University Publ., 2018, vol. 3, pp. 139–142.]
15. Popov V. V., Zaynutdinov R. A. Proyektirovaniye setevoy solnechnoy elektrostantsii dlya povysheniya effektivnosti elektrosnabzheniya administrativnogo zdaniya [Design of a network solar power station for increase of efficiency of power supply of an office building]. *Alternativnaya energetika v regionakh Rossii : materialy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «AER-2018»* [Alternative energetics in the regions of Russia : Proceedings of the Youth Scientific Conference "AER-2018"]. Astrakhan, December 5–7, 2018. Ed. by Dr. Ped. Sciences, Prof. L. Kh. Zainutdinova and Dr. Techn. Sciences, Prof. M. G. Tyagunov. Astrakhan, Izdatel: Sorokin Roman Vasilyevich Publ., 2018, pp. 110–115.
16. Gabderakhmanova T. S. et al. Problemy monitoringa solnechnykh energeticheskikh sistem v Rossii [Problems of monitoring solar energy systems in Russia]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of South Ural State University], 2015, vol. 15, no. 4, pp. 54–60.
17. *Prognozirovaniye raboty solnechnoy elektrostantsii* [Prediction of the solar power station]. Available at: <https://rentechno.ua/blog/solar-pv-forecast.html>.
18. *Promyshlennoye modelirovaniye solnechnykh elektrostantsiy* [Industrial modeling of solar power plants]. Available at: <https://rentechno.ua/blog/production-modeling-pv.html>.
19. Samoylenko V. O. Obespecheniye balansov moshchnosti i energii elektroenergeticheskikh sistem s raspredelennoy generatsiyey [Ensuring the balances of power and energy of electric power systems with distributed generation]. Ekaterinburg, 2017. 207 p.
20. Seyt R. I., Khafizov A. D. Vozmozhnosti invertornogo oborudovaniya solnechnykh elektrostantsiy v chasti integratsii s YEES. Opyt vnedreniya avtomaticheskikh funktsiy [Possibilities of the inverter equipment of solar power plants in terms of integration with the UES. Experience of introducing automatic functions]. *Alternativnaya energetika v regionakh*

Rossii : materialy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «AER-2018» [Alternative energetics in the regions of Russia : Proceedings of the Youth Scientific Conference "AER-2018"]. Astrakhan, December 5–7, 2018. Ed. by Dr. Ped. Sciences, Prof. L. Kh. Zainutdinova and Dr. Techn. Sciences, Prof. M. G. Tyagunov. Astrakhan, Izdatel: Sorokin Roman Vasilyevich Publ., 2018, pp. 110–115.

21. Snegirev D. A., Valiyev R. T., Yeroshenko S. A., Khalyasmaa A. I. Osobennosti prognozirovaniya vyrabotki elektroenergii solnechnymi elektrostantsiyami [Features of Forecasting the Generation of Electricity by Solar Power Plants]. *Elektroenergetika glazami molodezhi – 2018 : materialy VIII Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Power industry through the eyes of young people – 2018 : Materials VII International Young Scientific and Technical Conference], Samara, 2 – 6 okt. 2017 g. Samara, Samara State Technical University, 2017, pp. 139–142.

22. Trachuk I. V., Linder N. V. Tekhnologii raspredelennoy generatsii: empiricheskiye otsenki faktorov primeneniya [Distributed generation technologies: empirical evaluation of application]. *Strategicheskiye resheniya i risk-menedzhment* [Strategic solutions and risk management], 2018, no. 1, pp. 32–48.

23. Tyagunov M. G. Razvitiye energetiki vozobnovlyayemykh istochnikov na osnove tipovykh gibridnykh kompleksov v raspredelennykh energosistemakh [Development of renewable energy sources based on typical hybrid complexes in distributed power systems]. *Innovatika i ekspertiza : nauchnyye trudy* [Innovatika and expertise : scientific works], 2012, no. 2, pp. 91–97.

24. Tyagunov M. G. Osobennosti raboty ustanovok na osnove vozobnovlyayemykh istochnikov energii v izolirovannykh energosistemakh [Features of work of installations on the basis on renewables in the isolated power supply systems]. *Alternativnaya energetika v regionakh Rossii : materialy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «AER-2018»* [Alternative energetics in the regions of Russia : Proceedings of the Youth Scientific Conference "AER-2018"]. Astrakhan, December 5–7, 2018. Ed. by Dr. Ped. Sciences, Prof. L. Kh. Zainutdinova and Dr. Techn. Sciences, Prof. M. G. Tyagunov. Astrakhan, Izdatel: Sorokin Roman Vasilyevich Publ., 2018, pp. 40–44.]

25. Yudayev I. V., Daus YU. Solnechnaya elektroenergetika Yuga Rossii, imeyushchiysya potentsia, ekspluatiruyemye ob'yekty, perspektivy razvitiya [Solar power industry of the South of Russia; the available potential, the operated objects, development prospects]. *Alternativnaya energetika v regionakh Rossii : materialy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «AER-2018»* [Alternative energetics in the regions of Russia : Proceedings of the Youth Scientific Conference "AER-2018"]. Astrakhan, December 5–7, 2018. Ed. by Dr. Ped. Sciences, Prof. L. Kh. Zainutdinova and Dr. Techn. Sciences, Prof. M. G. Tyagunov. Astrakhan, Izdatel: Sorokin Roman Vasilyevich Publ., 2018, pp. 45–49.]

26. Yurchenko A. V., Volgin A. V., Kozlov A. V. Statisticheskaya model kremniyevykh solnechnykh batarey, rabotayushchikh pod vozdeystviyem prirodnnykh i apparatnykh faktorov [Statistical model of silicon solar cells operating under the influence of natural and hardware factors]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University], 2009, no. 4, pp.142–148.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.896:621.865

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС СОРТИРОВКИ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Статья поступила в редакцию 04.05.2019, в окончательной варианте – 30.05.2019.

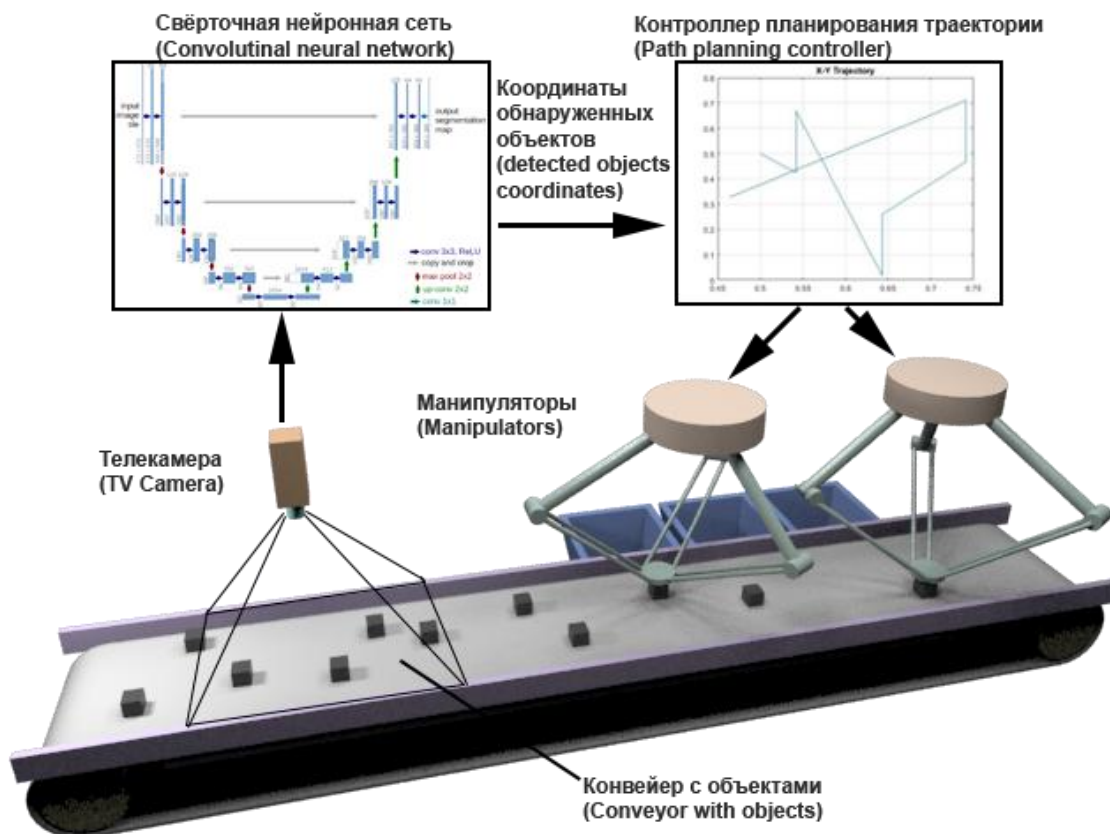
Гемуев Шамиль Шамилевич, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105007, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2 Бауманская, 5, бакалавр, e-mail: shamilgemuev@mail.ru

Воротников Сергей Анатольевич, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105007, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2 Бауманская, 5, кандидат технических наук, e-mail: vorotn@bmstu.ru

Статья посвящена разработке роботизированного комплекса, осуществляющего детектирование и изъятие фракций твёрдых бытовых отходов в рамках работы мусороперерабатывающего завода, построенного по конвейерному типу. Комплекс позволяет заменить человека на опасной и монотонной работе, повысить качество сортировки мусора, обеспечить непрерывность процесса сортировки. Описана схема роботизированного комплекса и структура системы управления им. Показана реализация системы технического зрения с использованием сверточной нейронной сети в среде MATLAB Neural Network Toolbox, обоснован выбор архитектуры сети. Разработана модель роботизированного комплекса в среде MATLAB Simulink и проведено ее исследование. Определены параметры зоны сервиса манипулятора, соответствующие требованиям технологического процесса. Получены зависимости коэффициента пропуска объектов от плотности их расположения на конвейерной ленте и ее скорости, а также от максимальных скорости и ускорения манипулятора. Представлен алгоритм сбора распознанных объектов и проведено его исследование.

Ключевые слова: мусороперерабатывающий завод, роботизированный комплекс, система технического зрения, искусственная нейронная сеть, манипулятор, управление, математическое моделирование

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ROBOTIC COMPLEX FOR SORTING OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Gemuev Shamil Sh., Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105007, Russian Federation,
student, e-mail: shamilgemuev@mail.ru

Vorotnikov Sergey A., Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105007, Russian Federation,
Cand. Sci. (Engineering), e-mail: vorotn@bmstu.ru

The article was received by editorial board on 04.05.2019, in the final version – 30.05.2019.

The article is devoted to the development of a robotic complex that detects and withdraws municipal solid waste fractions within a waste recycling plant built by a conveyor type. The complex allows replacing a person from dangerous and monotonous work, improving the quality of garbage sorting, and ensuring the continuity of the sorting process. The scheme of the robotic complex and the structure of its control system are described. The implementation of the vision system using a convolutional neural network in the MATLAB Neural Network Toolbox environment is shown, the network architecture is selected. A model of a robotic complex in the MATLAB Simulink environment has been developed and its research has been conducted. The parameters of the manipulator service area, which meet the requirements of the technological process, are determined; the dependences of the loss factor of objects on the density of their location on the conveyor belt and its speed, as well as the maximum speed and acceleration of the manipulator are obtained. An algorithm for the collection of recognized objects is presented and its study has been conducted.

Keywords: waste processing plant, robotic complex, vision system, artificial neural network, manipulator, control, mathematical modeling

Введение. В настоящее время в мире производится до 5,5 миллионов тонн отходов в день [20], и это количество продолжает непрерывно расти. Поэтому вопрос переработки мусора является одним из важнейших и актуальнейших, стоящих перед человечеством в последние десятилетия. В России каждый год производится около 6,2 млрд тонн отходов [2]. При этом количество твердых бытовых отходов (ТБО) составляет около 63 млн т/год, что соответствует в среднем 445 кг на человека [2]. Проблема «избавления» от отходов наиболее актуальна для крупных населенных пунктов.

Существует несколько основных способов утилизации ТБО: захоронение на свалках; сжигание; переработка, т.е. превращение отходов во вторичное сырьё. Последний способ, помимо снижения загрязнения окружающей среды, позволяет получать дополнительную выгоду за счёт выработки электроэнергии (в том числе производства биогаза), перепродажи полученного сырья и пр.

Основные объёмы мусора вывозятся на свалки, которых в России насчитывается более 13 тысяч, и их число постоянно увеличивается [3]. Доля перерабатываемого мусора в России составляет в среднем 10–15 %, причем для ТБО она не превышает 4 %. При этом приходится учитывать, что предварительная сортировка мусора (особенно населением) пока еще не получила широкого распространения в городах России. Поэтому существует проблема снижения трудозатрат на переработку «несортированного» мусора, увеличения степени извлечения из него «полезных» объектов. Целью данной статьи является разработка системы автоматизация решения указанных задач.

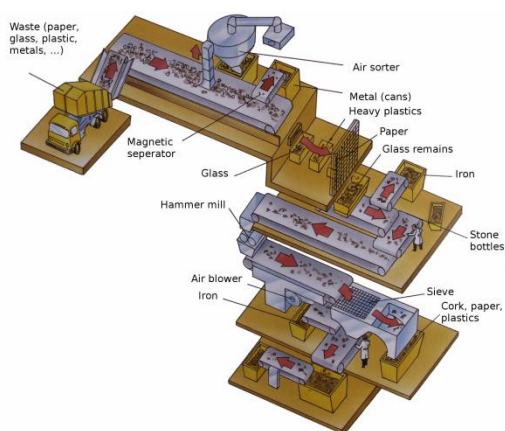
Общая характеристика предметной области. Завершающим этапом жизненного цикла любого изделия является его утилизация и переработка. Переработка отходов документально известна с IV в. до н.э., когда восстанавливались сломанные орудия, посуда, а также металлические изделия. Одним из стимулов к этому была нехватка ресурсов и их дороговизна [9].

Переломный момент в переработке отходов наступил в конце XX в. в результате совместного действия следующих факторов: удорожание используемой энергии; необходимость массовой утилизации накопившихся изделий электронной техники с закончившимся сроком эксплуатации (из-за поломок, морального устаревания и пр.); широкое использование в быту изделий из пластмасс, которые медленно разрушаются в естественных условиях; разработка эффективных технологий извлечения из отходов драгоценных и редкоземельных металлов [10].

С целью переработки мусора в России проектируются, строятся и эксплуатируются специальные заводы, в том числе использующие элементы автоматизации. Далее мы для определенности будем рассматривать некоторый типичный для России мусороперерабатывающий завод. В составе ТБО, поступающих на завод, бумага и картон составляют в среднем 35 %, пищевые отходы – 41 %, пластмассы – 3 %, стекло – 8 %, металлы – 4 %, текстиль и другое – 9 % [1]. Переработка ТБО на заводе такого типа содержит несколько этапов, на каждом из которых фильтруется (осуществляется извлечение) своего типа отходов (рис. 1, а). На первом этапе из мусора удаляются металлические объекты с помощью магнитного (или электромагнитного) и вихревого сепараторов.

Далее происходит сортировка (отделение) объектов из стекла с использованием центрифуги. Также с помощью специального засасывающего устройства фильтруются лёгкие летучие фракции бумаги и картона.

Оставшаяся часть ТБО измельчается в шредере до размеров 8–12 см.



а



б

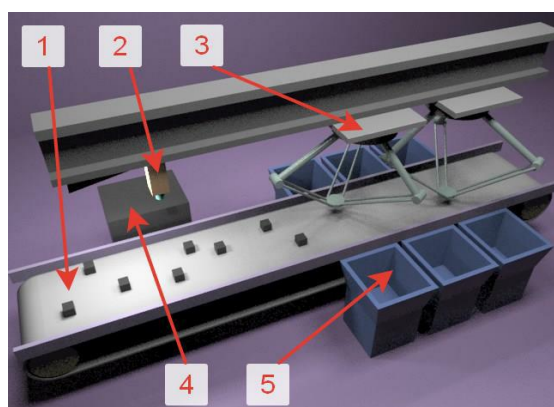
Рисунок 1 – Мусороперерабатывающий завод: схема (а), участок ручной сортировки (б)

Однако этапы, приведенные выше, не позволяют полностью отсортировать ТБО, а главное, извлечь из него «полезные объекты».

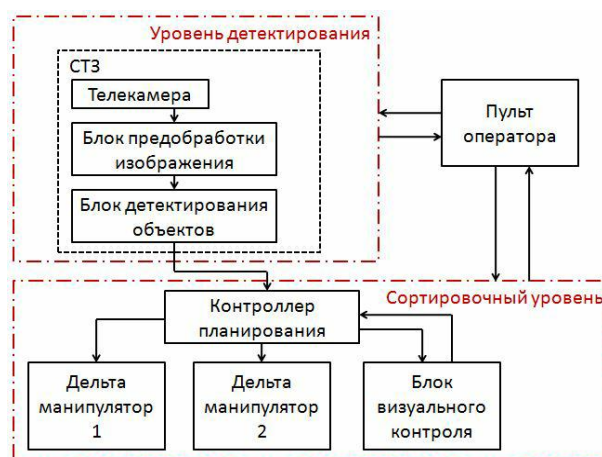
Поэтому на мусороперерабатывающих заводах обычно используется этап ручного отбора, в рамках которого поиск и сортировку определённого типа мусора осуществляют люди на конвейере (рис. 1, б). Этап ручного отбора может выполняться на разных участках, например, при разделении отходов из пластика или элементов электроники и т.п. Отметим, что при правильной переработке последних удастся извлечь для последующего использования до 80 % содержащихся в них полудрагоценных и редкоземельных материалов [10].

Однако процессы ручной разборки мусора достаточно трудоемки. Кроме того, при этом может происходить «пропуск» объектов персоналом. Поэтому конкретной целью данной статьи является разработка роботизированного комплекса (РК) для мусороперерабатывающего завода, предназначенного для автоматического детектирования и извлечения из ТБО объектов, относящихся к категории радиоэлектронных изделий.

Структура роботизированного комплекса детектирования и сортировки (РКДС). Разрабатываемый РКДС устанавливается над конвейерной лентой, по которой проходят ТБО (рис. 2, а). Структура системы управления РКДС содержит два логических уровня: уровень детектирования и сортировочный уровень (рис. 2, б).



а



б

Рисунок 2 – а – схема роботизированного комплекса: 1 – конвейерная лента, 2 – СТЗ, 3 – манипуляторы, 4 – пульт оператора, 5 – контейнеры отсортированных отходов; б – структура системы управления РКДС

На уровне детектирования используется система технического зрения (СТЗ): объект «2» на рисунке 1. Она включает в себя вертикально расположенную над конвейером «1» телекамеру и блок предварительной обработки изображений, осуществляющие запись и визуальную обработку содержимого конвейера в существующих условиях освещения и при заданной скорости его движения. Задачи сегментации и распознавания изображений ТБО решаются в блоке детектирования объектов. Здесь происходит идентификация класса объекта, а также определяются координаты его геометрического центра (как центра, описывающего объект прямоугольника).

Основу *сортировочного уровня* составляют контроллер планирования, блок визуального контроля и группа исполнительных устройств. В качестве последних предлагается использовать два быстродействующих дельта-манипулятора «3», расположенных последовательно вдоль конвейера. При таком расположении исключается вероятность столкновения манипуляторов при работе, и, кроме того, в случае пропуска объекта первым манипулятором задействуется второй для устранения допущенной ошибки. Задачей контроллера является планирование траектории манипуляторов для обеспечения сбора распознанных объектов и их переноса в контейнеры «5» в условиях движения ленты конвейера. Также контроллер распределяет эти объекты между манипуляторами так, чтобы обеспечить их равномерную загрузку и не допустить пропусков. Блок визуального контроля поддерживает цикл работы манипуляторов, осуществляет поиск незахваченных объектов и задачу изображения рабочей зоны на пульт оператора «4».

Непосредственное управление РКДС осуществляется с пульта оператора. На нем также отображаются основные рабочие параметры РКДС, статистика сбора ТБО манипуляторами и др.

Система технического зрения. Основным элементом РКДС является СТЗ, позволяющая детектировать объекты в рабочей зоне и определять их принадлежность к соответствующему классу ТБО. На данном этапе наиболее актуальным является детектирование объектов электроники, аккумуляторных батарей и мобильных телефонов, содержащих ценные редкоземельные металлы. Заметим, что в общем случае рабочая зона СТЗ содержит различные ТБО и в целом, является существенно недетерминированной. Выбор параметров телекамеры поддается традиционному алгоритму расчёта и определяется геометрией рабочей зоны и климатическими требованиями. В то же время определение структуры блоков предобработки и детектирования (рис. 2, б) является гораздо более сложной задачей. Наряду с применением методов машинного обучения при обработке изображений [4] в рамках данной статьи предлагается данные блоки строить на основе технологии искусственных нейронных сетей (ИНС). Анализ различных топологий этих сетей применительно к задаче идентификации объектов известного класса на изображении недетерминированной сцены показал, что для этого целесообразно использовать свёрточные (или конволюционные) нейронные сети [21].

Конволюционный слой представляет собой набор фильтров, каждый из которых производит операцию свёртки дискретных функций изображения f и скользящего окна g :

$$f * g \quad n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f \quad m \quad g \quad n - m ,$$

где набор коэффициентов окна индивидуален для каждого слоя. Частным случаем конволюционного слоя является, например, фильтр Собеля [13].

В качестве функции активации сети в данной работе используется нелинейная функция ReLU (*rectified linear unit*). При сильной положительной активации нейрона она позволяет сохранять градиент, что эффективно при обучении ИНС методом обратного распространения ошибки.

При выборе архитектуры свёрточной ИНС часто используется подход, называемый «*transfer learning*» [12, 19]. Он основан на использовании готовой, уже натренированной (обученной) нейронной сети, с заменой ее полносвязных конечных слоёв, отвечающих за классификацию по высокоуровневым признакам. Дообучение этой видоизменённой сети проводится разработчиками на своем, достаточно ограниченном наборе изображений.

В качестве готовой ИНС в работе используется AlexNet – сеть, разработанная в 2012 г. Александром Кризевским [8]. Она была обучена на наборе данных с 1,2 миллионами изображений и 1000 различными классами с точностью распознавания 84,7 % (рис. 3). Конволюционные слои в данной сети служат для выделения низко- и высокоуровневых признаков на изображении, а полносвязные слои в конце служат для классификации изображения по найденным наборам признаков.

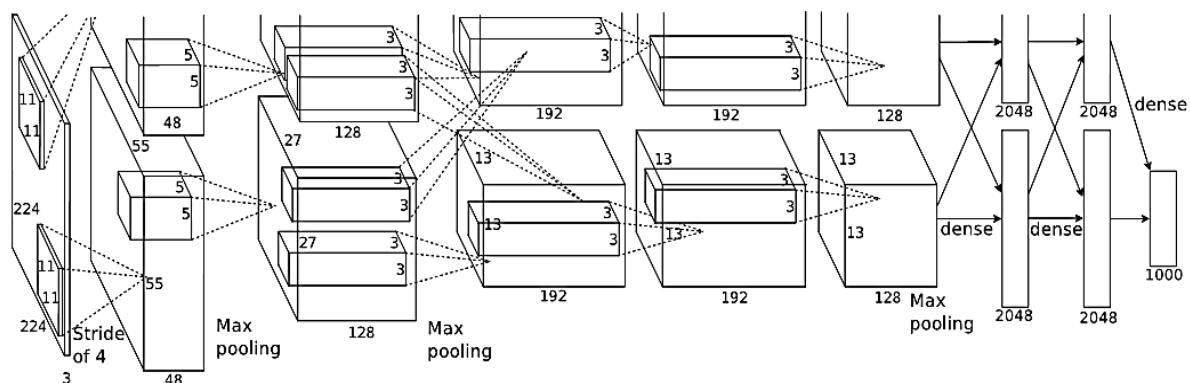


Рисунок 3 – Архитектура сети AlexNet [8]

Для дообучения ИНС была создана база изображений, содержащая изображения объектов, как желаемых классов, так и других, которые могут быть обнаружены на конвейере. Это необходимо для соблюдения баланса между классами, чтобы ИНС помимо желаемых объектов видела также другие, училась их различать. В итоге набор данных содержал 11 классов (рис. 4):

- цилиндрические батарейки/аккумуляторы форматов AA, AAA;
- аккумуляторы телефонов;
- батарейки-таблетки;
- картон;
- электроника, платы;
- стекло, тара;
- металл, жесть;
- бумага;
- сломанные телефоны;
- пластик, упаковка;
- прочий мусор.



а



б

Рисунок 4 – Примеры фотографий объектов разных классов из тренировочной базы изображений: электронные компоненты (а), пластик (б)

При обучении ИНС была применена техника искажения изображений путем их аффинного преобразования (сдвига, поворота, отражения). Такой подход позволяет избежать переобучения сети (чтобы она запоминала не конкретные пиксели изображения, а целые паттерны) [8].

Первый этап обучения заключался в тренировке корректной классификации изображений из базы данных (рис. 5). Этап дообучения ИНС осуществлялся для датасета из 484 изображений и составил 30 эпох (полных циклов прогона базы данных через сеть). По времени это заняло 35 минут при обучении на ПЭВМ с CPU Intel Core i5-2430M 2.40GHz с 8 Гб оперативной памяти. Использовался алгоритм оптимизации Adam с размером минибатча 64 изображения. Начальный коэффициент обучения равнялся 0,000025 со снижением в 2 раза каждые 8 эпох. В результате была достигнута средняя точность классификации объектов – 83,67 %.

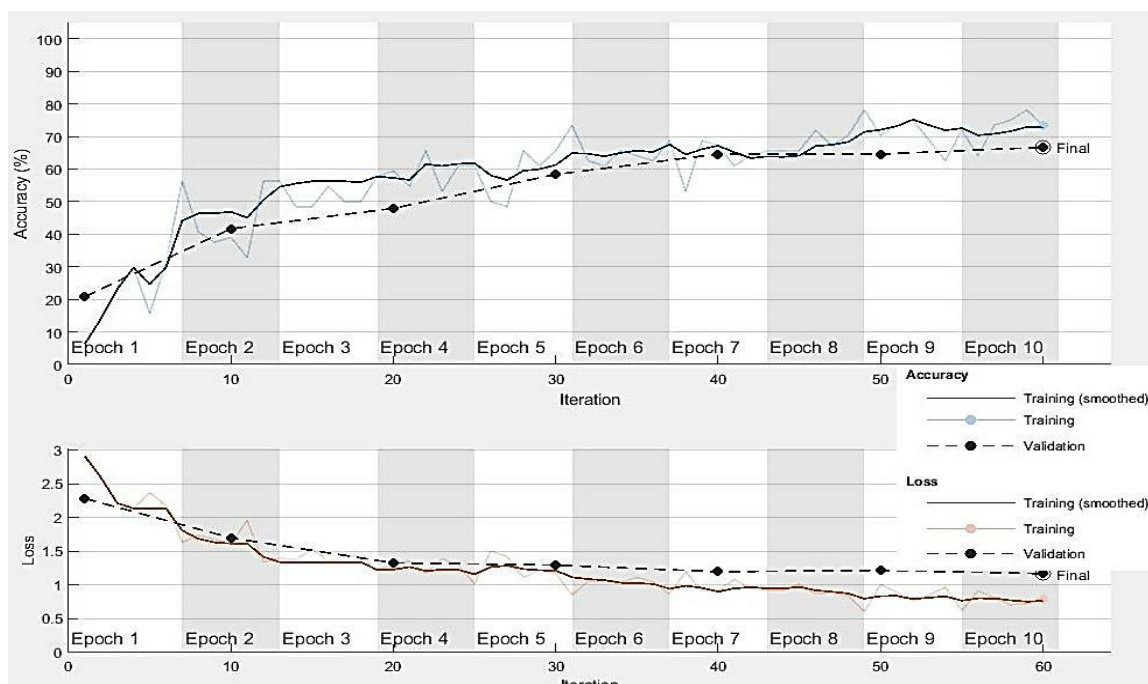


Рисунок 5 – Процесс обучения нейросети

Для оценки точности классификации объектов ИНС для тестовой части датасета помимо среднего значения часто используют *ковариационную матрицу* (рис. 6). Она показывает соответствие действительного класса (строки) предсказанному классу (столбцы). Правильно классифицированные классы расположены по диагонали матрицы (синие), ложные классификации помечены розовым; это позволяет определить, предсказание каких классов вызывает наибольшие затруднения для ИНС. Как следует из рисунка 6, наибольшее количество ложных классификаций было у класса «стекло».

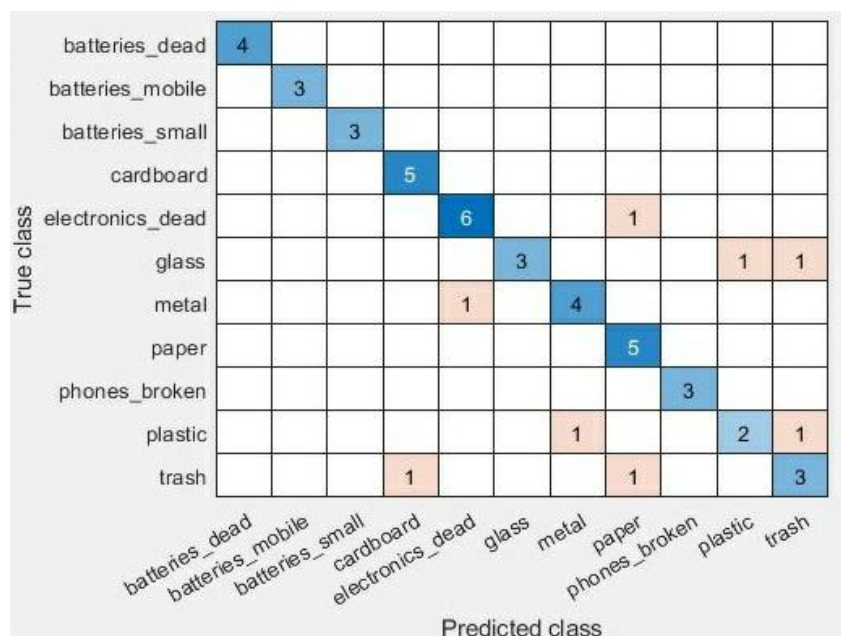


Рисунок 6 – Матрица ковариации для тестовой выборки

Второй этап обучения состоит в обучении ИНС непосредственно детектированию объектов, т.е. поиску объекта на изображении и указанию его положения (либо координатами центра описывающего его прямоугольника, либо попиксельным выделением всего изображения объекта). Были опробованы две популярные архитектуры ИНС для детектирования объектов:

- архитектура Faster R-CNN [17, 18], являющаяся модернизацией конволюционной нейронной сети (в нашем случае, AlexNet). Выходом этой сети являются координаты центра описываемого вокруг объекта прямоугольника и номер класса, которому принадлежит найденный объект;
- архитектура U-Net (рис. 7), отличающаяся от стандартных архитектур. У нее нет полносвязных слоёв, и она имеет форму буквы U. Данная архитектура позволяет получать на выходе попиксельное выделение найденных объектов [14].

В нейронной сети Faster R-CNN изображение проходит через свёрточные слои. Затем методами машинного обучения выделяются области изображения, которые предположительно могут являться объектами классов. После этого производится классификация областей и отсеивание тех из них, в которых вероятность принадлежности к классу ниже установленного порога.

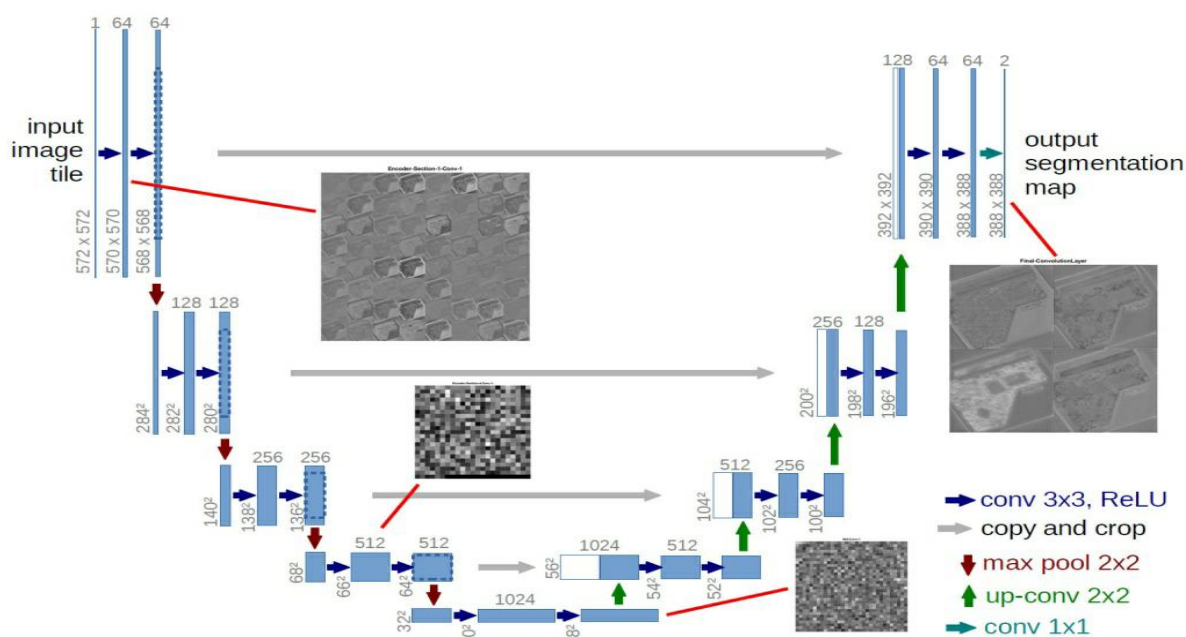


Рисунок 7 – Архитектура U-Net для детектирования и классификации объектов на изображении (показан результат работы некоторых слоев сети для тестового изображения)

Подготовка базы изображений для архитектуры U-Net является более трудоёмкой задачей. Причина – для тренировочных изображений, помимо самих изображений, требуются также маски объектов, находящихся на каждом изображении. Вследствие этого, а также учитывая значительное время обучения ИНС, количество классов в базе изображений было сокращено до 4-х: электроника, телефоны, батареи телефонов, а также фон (все, что не относится к первым трем классам).

Длительность обучения сети для датасета из 74 изображений составила 130 эпох. По времени это соответствовало 25 часам на ПЭВМ с CPU Intel Core i5-2430M 2.40GHz; 8Гб оперативной памяти. Использовался алгоритм оптимизации SGDM с размером минибатча 8 изображений. Начальный коэффициент обучения равнялся 0,025 со снижением в 2 раза каждые 10 эпох. Точность детектирования объектов составила 45,5 %.

На рисунке 8 приведены результаты работы ИНС: на «а» – для тестового изображения; «б» – выходные изображения сети, являющиеся масками для каждого из распознанных сетью классов. Видно наличие шума, однако достигнуто достаточно чёткое разделение объекта «электроника» и фона. Полученные изображения требуют дополнительного улучшения, в частности, обработки медианным фильтром. Результатом является идентификатор класса объекта, его размер, координаты X, Y геометрического центра, а также ориентация объекта в рабочей зоне, просматриваемой СТЗ (рис. 8, в).

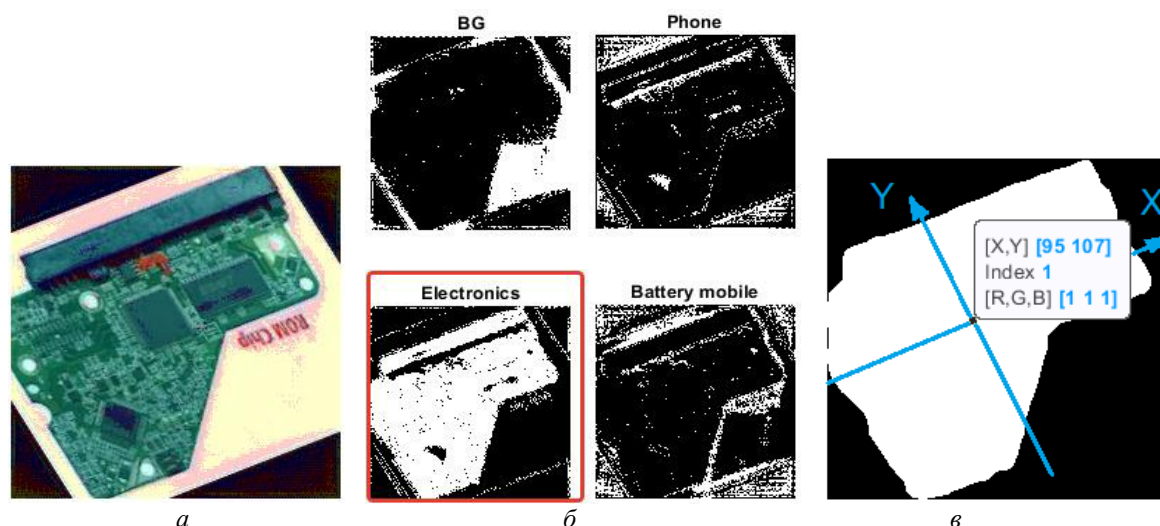


Рисунок 8 – Распознавание объектов сетью U-Net: исходное изображение (а), выход сети для каждого из классов (б), обработанное изображение с координатами объекта (в)

Полученные на уровне детектирования РКДС данные в виде класса и координат центра распознанного объекта передаются на сортировочный уровень системы управления, где контроллер планирования формирует последовательность сбора объектов манипуляторами.

Вероятно, более высокую точность детектирования можно получить, если дальнейшую тренировку нейронной сети проводить на изображениях из ресурса Google Colaboratory. В то же время более правильным является улучшение качества датасета изображений для тренировки сети в условиях, приближенных к реальным. Отметим также, что данная нейросеть обучалась на изображениях, где представлены крупные объекты, для того, чтобы она смогла запомнить текстуру объектов. В таком же формате установленная телекамера будет видеть объекты на конвейере. На небольших объектах нейросеть не испытывалась, и таких примеров нет в датасете.

Манипуляторы РКДС. Для разрабатываемой системы необходимо было выбрать манипулятор с учетом высоких требований по быстродействию. После анализа известных кинематических схем было предложено использовать *дельта-манипулятор* параллельной структуры [15] (рис. 9). Он имеет высокие динамические характеристики: быстродействие – до 300 захватов в минуту, скорость перемещения захватного устройства – 10 м/с, а также позволяет сохранять пространственную ориентацию захватного устройства при его движении [6].

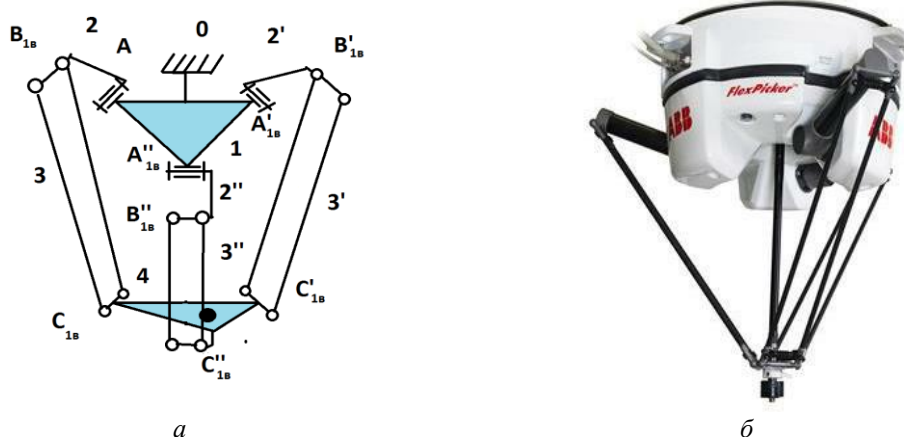


Рисунок 9 – Дельта-манипулятор: типовая кинематическая схема (а), пример промышленного решения (ABB FlexPicker, б)

С целью определения количества необходимых манипуляторов в РКДС и их параметров (зоны сервиса, максимальной скорости и ускорения захватного устройства), а также допустимой скорости движения конвейера и плотности расположения объектов в зоне обслуживания необходимо было построить физическую модель дельта-манипулятора и варьировать ее параметры, анализируя полученные результаты (рис. 10). Данная модель позволяет задавать управляющие воздействия и считывать сигнал как на валу приводов «3», так и на захватном устройстве «8».

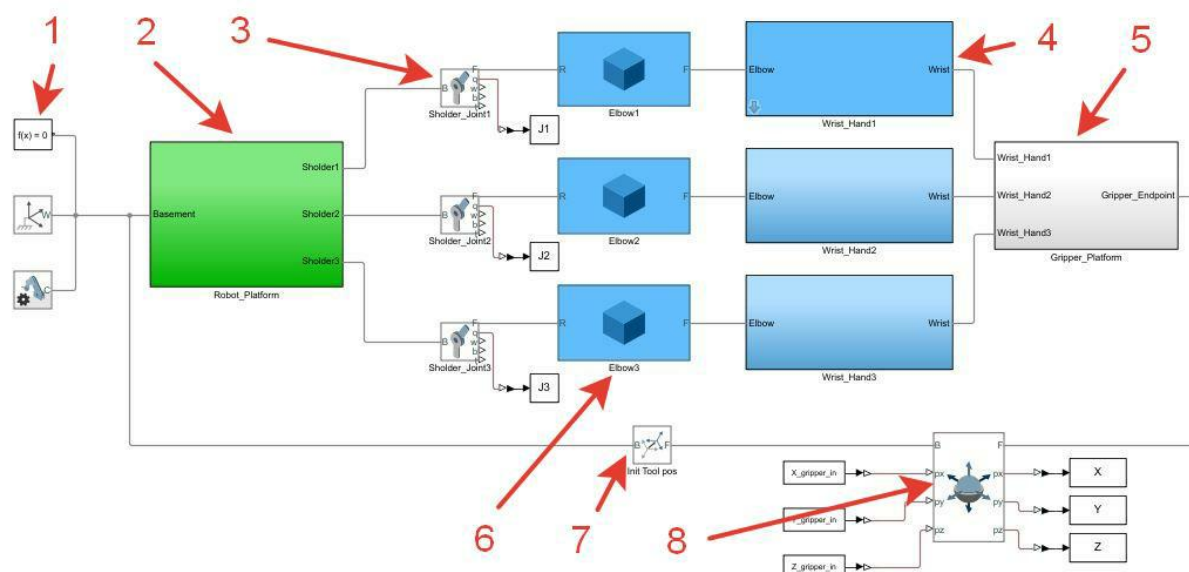


Рисунок 10 – Модель дельта-манипулятора в Matlab Simulink Simscape: 1 – система координат робота; 2 – геометрия платформы и приводы манипулятора; 3 – сочленение приводов; 4 – парные «предплечья» робота; 5 – геометрия захватного устройства; 6 – «плечевые» звенья; 7 – система координат захватного устройства; 8 – кинематическая пара захватного устройства

Целью моделирования являлось определение допустимых параметров РКДС для выполнения следующих условий:

- зона сервиса манипулятора должна включать в себя рабочую область размером $1 \times 1 \times 0,3$ м, необходимую для перекрытия полной ширины конвейера и возможности переноса объектов с конвейера в емкости-сборники без задевания других объектов на конвейере;
- пропуск («незахват») обнаруженных СТЗ объектов в рабочем цикле манипулятора должен быть сведен к минимуму;
- допустимые значения внутренних параметров РКДС (в частности, максимальной скорости и ускорения захватного устройства) и его внешних параметров (скорости конвейера и плотности расположения объектов на нем) должны минимизировать пропуск обнаруженных объектов при заданной производительности завода в целом.

В результате моделирования была получена зона сервиса (обслуживания) манипулятора, имеющая достаточно сложную форму (рис. 11).

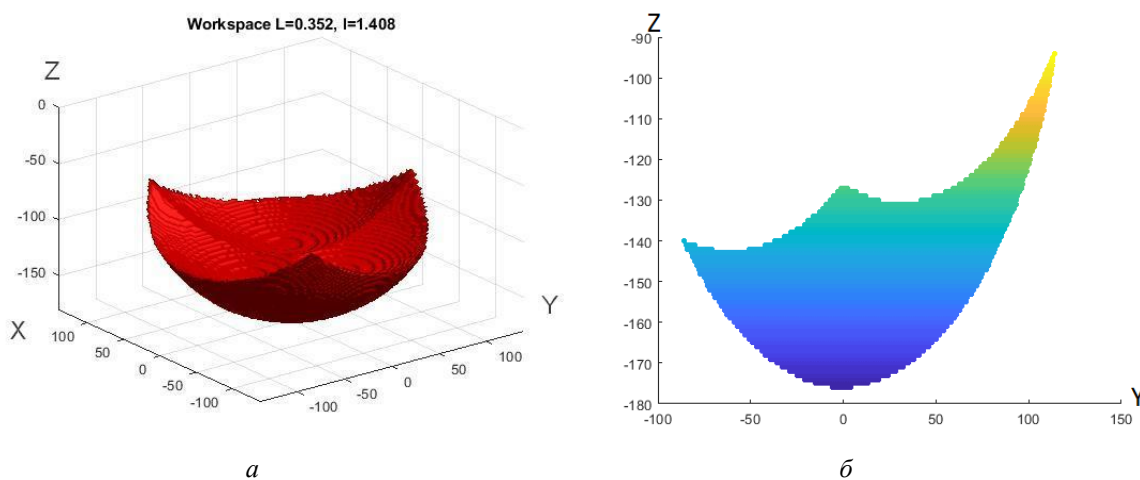


Рисунок 11 – Зона сервиса манипулятора РКДС: объемное представление (а), срез вдоль плоскости YOZ (б)

Зона сервиса симметрична относительно оси OZ и разделена на три одинаковых сектора вдоль этой оси, соответствующих трем тягам параллельной структуры манипулятора. Ограничения зоны сервиса являются положения, когда тяги либо максимально вытянуты, либо максимально сложены. Так-

же зону ограничивают критические (допустимые) углы сгиба между звеньями. Эффективной зоной манипулятора, позволяющей вписать рабочую область заданного размера, является область между -178 см и -140 см по оси OZ (рис. 11, б), поскольку она имеет максимальный охват и отсутствие пустот («мертвых зон» внутри обслуживаемой области).

Для определения необходимой скорости и ускорения движения манипулятора, максимальной скорости конвейера и допустимой плотности расположения объектов при моделировании в качестве критерия использовался коэффициент пропуска K_{loss} (равный количеству пропущенных объектов в единицу времени). Для этого было проведено моделирование 2025 последовательностей процедуры сбора объектов манипулятором, при которых указанные параметры варьировались в заданных пределах.

В результате была получена следующая зависимость K_{loss} от наиболее сильно влияющих на него переменных: плотности расположения объектов и максимального ускорения манипулятора (рис. 12). Изменения остальных параметров в пределах проведенного исследования не приводили к значительному увеличению K_{loss} .

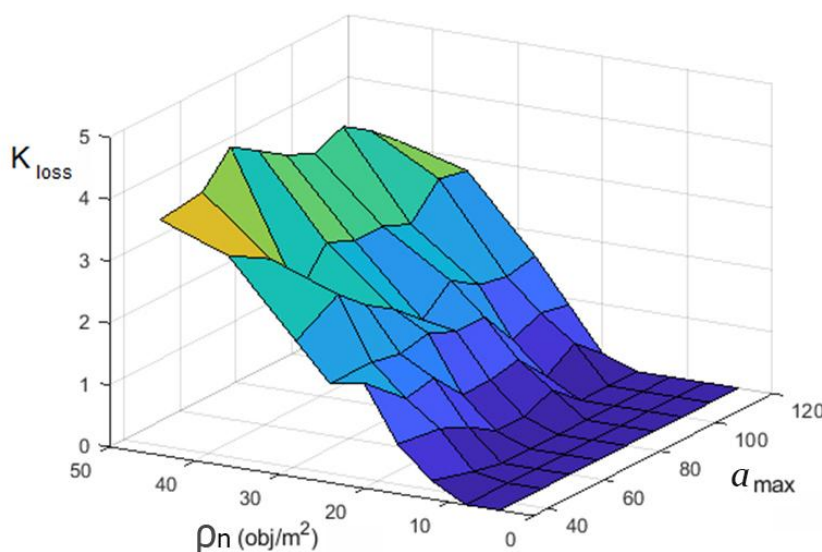


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента пропуска объектов K_{loss} от плотности расположения объектов ρ_n и максимального ускорения a_{max} при максимальной скорости захватного устройства $v_{max} = 5 \frac{м}{с}$ и скорости конвейера $v_{konv} = 0,4 \frac{м}{с}$

В общем случае линеаризованная функция зависимости коэффициента пропуска K_{loss} в точке минимального значения этого коэффициента при $a_{max} = 50 \frac{м}{с^2}$, $v_{max} = 5 \frac{м}{с}$, $\rho_n = 12 \frac{об}{м^2}$, $v_{konv} = 0,4 \frac{м}{с}$ от максимального ускорения a_{max} и скорости v_{max} захватного устройства, скорости конвейера v_{konv} и плотности расположения объектов ρ_n примет вид:

$$K_{loss} = -0,02a_{max} - 0,1v_{max} + 3,5v_{konv} + 0,1\rho_n + 0,2.$$

Данное выражение позволяет оценить эффективность работы всего РКДС при заданных параметрах, рассчитать необходимые скорость и ускорение манипулятора, а также определить необходимое число манипуляторов РКДС на конвейере (рис. 2, а). Анализ этой зависимости дает возможность распределить работу между манипуляторами с целью их более равномерной занятости, при которой достигается гарантированный захват объектов с поверхности конвейера.

Таким образом, оптимальный режим работы манипулятора достигается при $a_{max} = 50 \frac{м}{с^2}$, $v_{max} = 5 \frac{м}{с}$, $\rho_n = 12 \frac{об}{м^2}$, $v_{konv} = 0,4 \frac{м}{с}$. Для этих значений в конструкции манипулятора можно использовать приводы умеренной мощности при сохранении высоких показателей скорости захвата объекта и достигнуть нулевого коэффициента пропуска.

Алгоритм сбора распознанных объектов. Предложенная модель (рис. 10) позволяет разработать и исследовать алгоритм сбора распознанных объектов с конвейерной ленты. Предварительно в модели производится эмуляция работы СТЗ, для чего перед рабочей зоной манипулятора на конвейере генерируются произвольно расположенные объекты с заданной плотностью и известными координатами их геометрических центров.

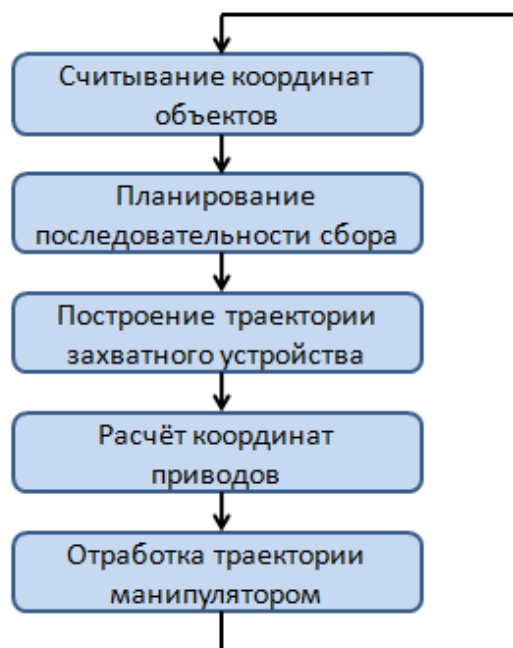


Рисунок 13 – Алгоритм сбора объектов с конвейерной ленты

Рассмотрим последовательность этапов алгоритма (рис. 13):

- контроллер планирования (рис. 2, б), имея список обнаруженных объектов, рассчитывает последовательность их сбора с конвейера. Определяется приоритет объектов – первыми собираются те, которые раньше всего выйдут из рабочей зоны. При этом просчитывается, успеет ли манипулятор захватить данный объект, если нет – объект игнорируется, т.е. на манипулятор не подаются исполнительные команды;
- сформировав последовательность сбора, контроллер планирования строит траектории перемещения захватного устройства манипулятора.
- сформированная последовательность перемещения захватного устройства путем решения обратной кинематической задачи пересчитывается в необходимые координаты поворота приводов манипулятора;
- манипулятор отрабатывает сформированные последовательности операций.

Примечание. Как отмечалось, если манипулятор не захватывает объект, аналогичные действия выполняет второй манипулятор, расположенный далее по ходу конвейера (рис. 2).

Выполненное исследование зависимости K_{loss} от параметров работы позволяет рассчитать предполагаемую загрузженность манипуляторов и определить их необходимое количество, что в свою очередь позволяет распределить объемы работы между манипуляторами и добиться их равномерной занятости с гарантированным захватом объектов.

В результате моделирования данного алгоритма были получены графики траектории движения захватного устройства манипулятора при осуществлении сбора объектов (рис. 14).

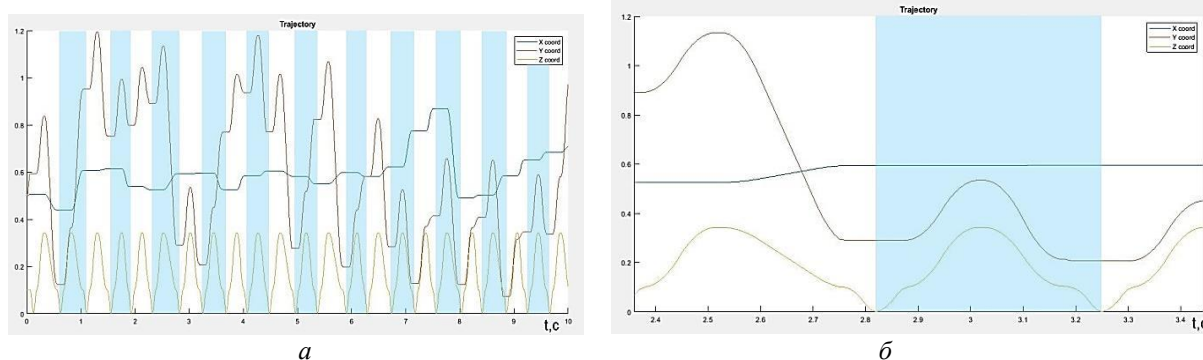


Рисунок 14 – Траектория перемещения захватного устройства при моделировании сбора 23-х объектов в течение 10 с (а) и за 2 цикла сбора по 0,4 с (б). По вертикальной оси отложены координаты X, Y, Z, каждой из которых соответствует свой график

Циклы обозначены чередующимися вертикальными полосами. Траектория захватного устройства в проекциях на оси OX , OY и OZ отложена по оси ординат, временная шкала отложена по оси абсцисс. Вид траекторий в осях $X-Y$ и $X-Y-Z$ приведен на рисунке 15.

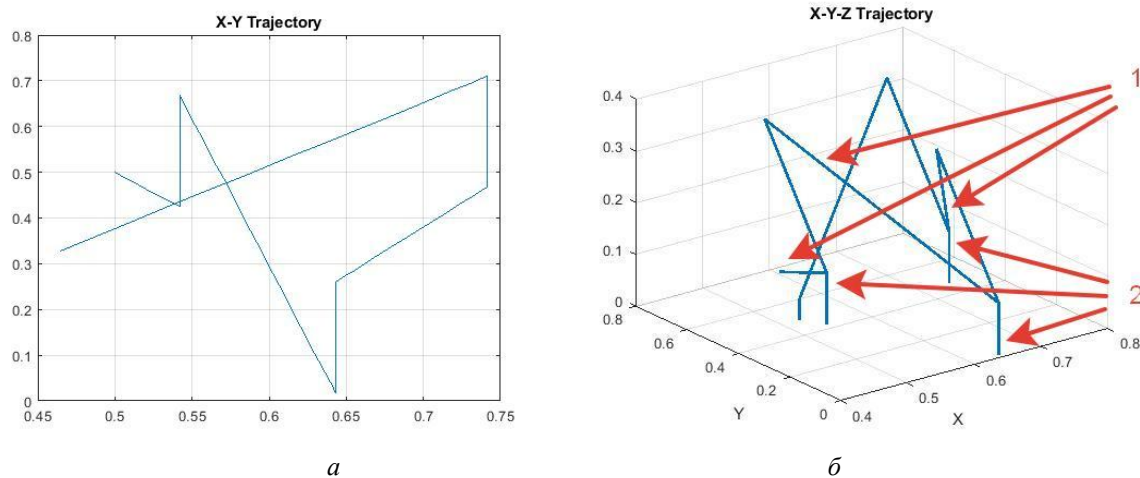


Рисунок 15 – Траектория перемещения захватного устройства манипулятора за 3 цикла сбора в осях: *a* – $X-Y$; *б* – $X-Y-Z$, где 1 – фаза наведения, 2 – фаза захвата

Полученные графики хорошо иллюстрируют циклическую работу алгоритма управления манипулятором и перемещения его захватного устройства. Подъем объекта с конвейерной ленты происходит вдоль оси OZ , перемещение в плоскости ленты – вдоль осей OX и OY . Каждый цикл захватное устройство манипулятора подходит к точке над объектом и опускается для его захвата. Затем осуществляется подъем выбранного объекта вверх и его доставка до одного из контейнеров (соответственно классу объекта). Новый цикл начинается с перемещения к следующему объекту из списка обнаруженных с помощью СТЗ.

Выводы. В результате выполнения данной работы получена общая схема РКДС и структура его системы управления. Предложено использовать иерархическую систему управления, включающую следующее: 1) уровень детектирования с СТЗ, выполняющей обнаружение объектов; 2) сортировочный уровень, осуществляющий планирование захвата и собственно захват обнаруженных объектов, их транспортировку в контейнеры.

Предложена структура СТЗ на основе двух сверточных нейронных сетей: AlexNet для классификации изображений и U-Net для детектирования объектов на изображении. Представлены коэффициенты обучения, алгоритмы оптимизации и результаты обучения ИНС, на примере объектов четырех классов. Показан фрагмент датасета (набора) изображений, использованного для тренировки ИНС. Приведен пример работы СТЗ при детектировании электронных компонентов на тестовом изображении.

Разработана модель дельта-манипулятора и определены его основные параметры. Описана зависимость коэффициента пропуска объектов манипулятором от скорости конвейера, плотности размещения объектов, а также максимальных значений скорости и ускорения манипулятора. Показано, что при плотности появления объектов до 12 об/с и скорости конвейера до 0,4 м/с, несмотря на варьирование скорости и ускорения манипулятора, потери объектов сводятся к нулю. Представлен алгоритм сбора объектов с конвейерной ленты и получены графики перемещения захватного устройства манипулятора при сборе распознанных объектов с конвейерной ленты.

Предложенный в статье РКДС позволяет заменить людей, выполняющих монотонный труд в опасной и вредной для жизнедеятельности среде. Комплекс способен выполнять сортировку ТБО круглосуточно, увеличивая время работы мусороперерабатывающего завода минимум в 2 раза. С внедрением такого решения также повысится качество сортировки и будет осуществлена оптимизация процесса переработки в целом. В конечном счете это приведет к повышению рентабельности работы завода.

Библиографический список

1. Инфографика. Пути отходов // Вокруг света. – 2012. – № 7. – С. 22.
2. Образование отходов производства и потребления по видам экономической деятельности по Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики : крат. стат. сб. – Москва : Росстат, 2018 – 522 с.
3. Росприроднадзор. Доклад «О ходе работ по выявлению и понуждению к ликвидации мест несанкционированного размещения твердых бытовых отходов в 2012 году». – Режим доступа: http://rpn.gov.ru/sites/all/files/documents/doklady/doklad_na_nevskiy_kongress-dlya_zhigileya.doc, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.04.2019).

4. Садыков С. С. Распознавание наложенных реальных плоских объектов по безразмерным признакам контуров их изображений / С. С. Садыков, Я. Ю. Кульков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 4 (36). – С. 10–20.
5. Сироткин И. А. Нейросетевая система управления манипулятором доильного робота / И. А. Сироткин, С. А. Воротников // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 205–215.
6. ABB Robotics. IRB 360 FlexPicker. Product specification. – Режим доступа: <https://new.abb.com/products/robotics/ru/Industrial-robots/irb-360>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 10.04.2019).
7. Agnieszka Mikołajczyk. Data augmentation for improving deep learning in image classification problem / Agnieszka Mikołajczyk, Michał Grochowski // 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPHDW). – May 2018. – P. 117–122. DOI: 10.1109/IIPHDW.2018.8388338.
8. Alex Krizhevsky. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks / Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton. – 17 November 2013. – P. 1–9.
9. Black Dog Publishing Recycle: a source book. – London, UK : Black Dog Publishing, 2006.
10. Bleiwas D. "Obsolete Computers, "Gold Mine," or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling" (PDF) / D. Bleiwas // USGS. – March 4, 2019. – P. 1–4.
11. Gershman, Brickner & Bratton, Inc. American Chemistry Council. The Evolution of Mixed Waste Processing Facilities 1970-Today. – 2015. – 62 p.
12. Hoo-Chang Shin. Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning / Hoo-Chang Shin, Holger R. Roth, Mingchen Gao et al. // IEEE Transaction on Medical Imaging. – 2016. – P. 1285–1298.
13. Irwin Sobel. History and Definition of the Sobel Operator / Irwin Sobel. – Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/271811982/History-and-Definition-of-Sobel-Operator>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.04.2019).
14. Olaf Ronneberger. U-Net – Convolutional networks for biomedical image segmentation / Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox // Computer Vision and Pattern Recognition. – 2015. – P. 234–241.
15. Raymond Clavel. Conception d'un robot parallele rapide à 4 degrés de liberté. These # 925 / Raymond Clavel. – EPFL, 1991. – 146 p.
16. Recycling through the ages: 1970s. Plastic Expert. – 30 July 2014. – Retrieved 7 March 2015.
17. Ross Girshick. Fast R-CNN / Ross Girshick // Microsoft research. – 2015. – P. 1–9.
18. Shaoqing Ren. Faster R-CNN. Towards real-time object detection with region proposal networks / Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick Jian Sun // Microsoft Research. – 2015. – P. 1–14.
19. West Jeremy. Spring Research Presentation: A Theoretical Foundation for Inductive Transfer / West Jeremy, Ventura Dan, Warnick Sean. – Brigham Young University, College of Physical and Mathematical Sciences, 2017. – Archived from the original on 2007-08-01. Retrieved 2007-08-05.
20. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. – Режим доступа: <http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 10.04.2019).
21. LeCun Y. Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition / Y. LeCun, B. Boser, J. S. Denker, D. Henderson, R. E. Howard, W. Hubbard and L. D. Jackel // Neural Computation. – 1989. – № 1 (4). – P. 541–551.

References

1. Infografika. Puti otkhodov [Infographics. Ways of waste]. *Vokrug sveta* [Around the world], 2012, no. 7, pp. 22.
2. Obrazovaniye otkhodov proizvodstva i potrebleniya po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti po Rossiyskoy Federatsii [Formation of production and consumption waste by type of economic activity in the Russian Federation]. *Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki* [Federal State Statistics Service]. Moscow, Rosstat, 2018. 522 p.
3. Rosprirodnadzor. Doklad «O provedenii rabot po vyyavleniyu i snizheniyu sprosa na bytovyye otkhody v 2012 godu» [Rosprirodnadzor. Report "On the progress of work to identify and compel the elimination of places of unauthorized disposal of municipal solid waste in 2012"]. Available at: http://rpn.gov.ru/sites/all/files/documents/doklady/doklad_na_nevskiy_kongress-dlya_zhigileya.doc (accessed 10.04.2019).
4. Sadykov S. S., Kulkov I. Yu. Raspoznavaniye nalozhennykh realnykh ploskikh obyektov po bezrazmernym priznakam konturov ikh izobrazheniy [Recognition of superimposed real flat objects on the dimensionless signs of the contours of their images]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie ivysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 4 (36), pp. 10–20.
5. Sirotkin I. A., Vorotnikov S. A. Neyrosetevaya sistema upravleniya manipulyatorom doilnogo robota. [The network control system of manipulator of a milking robot]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie ivysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 205–215.
6. ABB Robotics. IRB 360 FlexPicker. Product specification. Available at: <https://new.abb.com/products/robotics/ru/Industrial-robots/irb-360> (accessed 10.04.2019).
7. Agnieszka Mikołajczyk, Michał Grochowski. Data augmentation for improving deep learning in image classification problem. *2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPHDW)*, May 2018, pp. 117–122. DOI: 10.1109/IIPHDW.2018.8388338.
8. Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton. *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks*, 17 November 2013, pp. 1–9.
9. Black Dog Publishing Recycle: a source book. London, UK, Black Dog Publishing, 2006.
10. Bleiwas D. "Obsolete Computers, "Gold Mine," or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling" (PDF). *USGS*, March 4, 2019, pp. 1–4.

11. Gershman, Brickner & Bratton, Inc. American Chemistry Council. *The Evolution of Mixed Waste Processing Facilities 1970-Today*, 2015. 62 p.
12. Hoo-Chang Shin, Holger R. Roth, Mingchen Gao et al. Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning. *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 2016, pp. 1285–1298.
13. Irwin Sobel, History and Definition of the Sobel Operator. Available at: <https://ru.scribd.com/document/271811982/History-and-Definition-of-Sobel-Operator> (accessed 10.04.2019).
14. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox. U-Net – Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2015, pp. 234–241.
15. Raymond Clavel. Conception d'un robot parallele rapide à 4 degrés de liberté. These # 925. EPFL, 1991. 146 p.
16. *Recycling through the ages: 1970s. Plastic Expert*, 30 July 2014, Retrieved 7 March 2015.
17. Ross Girshick. Fast R-CNN. *Microsoft research*, 2015, pp. 1–9.
18. Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick Jian Sun. Faster R-CNN. Towards real-time object detection with region proposal networks. *Microsoft Research*, 2015, pp. 1–14.
19. West Jeremy, Ventura Dan, Warnick Sean. *Spring Research Presentation: A Theoretical Foundation for Inductive Transfer*. Brigham Young University, College of Physical and Mathematical Sciences, 2007, Archived from the original on 2007-08-01, Retrieved 2007-08-05.
20. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Available at: <http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/> (accessed 10.04.2019).
21. LeCun Y., Boser B., Denker J. S., Henderson D., Howard R. E., Hubbard W. and Jackel L. D. Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition. *Neural Computation*, 1989, no. 1 (4), pp. 541–551.

УДК 621.311.24 (06)

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ С ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ ВИХРЕВОГО ТИПА

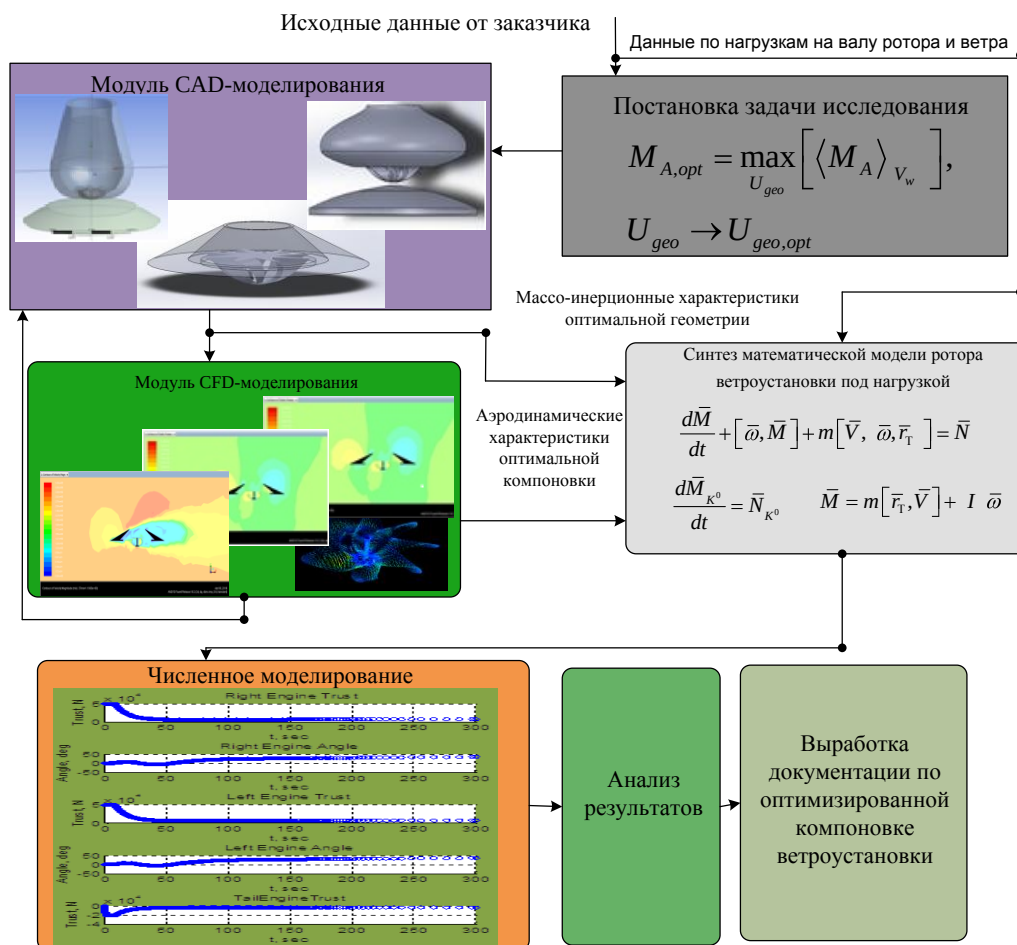
Статья поступила в редакцию 15.05.2019, в окончательном варианте – 28.05.2019.

Костюков Владимир Александрович, Южный федеральный университет, 347900, Российская Федерация, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: wkost-einheit@yandex.ru
Медведев Михаил Юрьевич, Южный федеральный университет, 347900, Российская Федерация, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2,
доктор технических наук, профессор, e-mail: medvmihal@sfedu.ru
Полуянович Николай Константинович, Южный федеральный университет, 347900, Российская Федерация, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: nik1-58@mail.ru

Рассматриваются возможности стабилизации частоты вращения ротора вертикально-осевой ветроэнергетической установки, которая может входить в качестве элемента в комплексную силовую энергетическую установку для дополнительного и аварийного электропитания надводных робототехнических комплексов. С этой целью в работе предлагается использовать метод стабилизации угловой скорости путем управления положением подвижного элемента конструкции рассматриваемой установки. Получен соответствующий закон регулирования угловой скорости вращения ротора. Проведено моделирование уравнений системы стабилизации частоты вращения ротора при аperiodическом ветровом возмущении. Показано, что построенный регулятор способен эффективно парировать влияние ветровых возмущений. Синтезирован регулятор, позволяющий осуществлять стабилизацию частоты вращения ротора ветроэнергетической установки вихревого типа с использованием изменяемых элементов геометрии ветроэнергетической установки. Регулятор способен поддерживать значение угловой скорости ротора при ветровых возмущениях с амплитудой аperiodической составляющей не более 2,5 м/с при длительности переходного процесса не более 6 секунд. Это достигается при значительном динамическом диапазоне изменения управляющей величины h . Использование данного способа регулирования скорости ротора ветроэнергетической установки позволит значительно повысить адаптивность системы управления в отношении её выходных характеристик; существенно расширить динамический диапазон регулирования момента на роторе ветроэнергетической установки, а также повысить робастность указанных характеристик к внешним ветровым и внутренним конструкционным параметрическим возмущениям.

Ключевые слова: вихревая ветроэнергетическая установка, аэродинамический момент, ротор, изменяемые элементы геометрии, ветровые возмущения, стабилизация, частота вращения ротора

Графическая аннотация (Graphical annotation)



FEATURES OF ELECTROMECHANICAL CONTROL OF COMPLEX POWER ENERGY INSTALLATION WITH VORTEX WIND POWER INSTALLATIONS

The article was received by editorial board on 15.05.2019, in the final version 28.05.2019.

Kostjukov Vladimir A., Southern Federal University, 2 Shevchenko St, Taganrog, 347900, Russian Federation,

Ph.D., Associate Professor, e-mail: wkost-einheit@yandex.ru

Medvedev Mikhail Yu., Southern Federal University, 2 Shevchenko St, Taganrog, 347900, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: medvmihal@sfedu.ru

Poluyanovich Nikolay K., Southern Federal University, 2 Shevchenko St, Taganrog, 347900, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: nik1-58@mail.ru

The possibilities of stabilizing the rotor speed of a vertical-axial wind power installation are considered, which can be included as an element in a complex power energy installation for additional and emergency power supply of surface robotic complexes. For this purpose, it is proposed to use the method of stabilizing the angular velocity by controlling the position of the moving structural element of the installation in question. Received the corresponding law of regulation of the angular velocity of rotation of the rotor. The equations of the system for stabilizing the rotor rotation frequency with aperiodic wind disturbance are simulated. It is shown that the constructed regulator is able to effectively counter the influence of wind disturbances. A regulator has been synthesized that allows the stabilization of the rotor speed of a wind turbine of a vortex type using variable elements of the wind turbine geometry. The regulator is able to maintain the value of the angular velocity of the rotor with wind disturbances with an amplitude of the aperiodic component of no more than 2.5 m/s with a transient duration of no more than 6 seconds. This is achieved with a significant dynamic range of control value. Using this method of regulating the speed of the rotor of the wind turbine will significantly improve the adaptability of the control system with respect to its output characteristics; significantly expand the dynamic range of torque control on the rotor of a wind power installation, as well as increase the robustness of these characteristics to external wind and internal structural parametric perturbations.

Keywords: vortex wind power installation, aerodynamic moment, rotor, variable geometry elements, wind disturbances, stabilization, rotor speed

Введение. Задача управления ветроэнергетическими установками (ВЭУ), которые могут входить в состав дополнительных/резервных силовых источников для питания морских надводных платформ (робототехнических комплексов), является актуальной [13, 15]. Здесь под «платформой» понимается носитель, который может быть роботизирован. Это термин, принятый в робототехнических приложениях.

Однако в существующих публикациях эта задача рассмотрена недостаточно полно. Поэтому целью данной работы была попытка устранить указанный недочет.

Общая характеристика проблематики предметной области. В настоящей статье рассматривается задача управления частотой вращения ротора вихревой вертикально-осевой ВЭУ (см. рис. 1, а), содержащей осесимметричную с ротором статическую двусвязную часть конструкции – статор. Положение нижней подвижной части статора, характеризуемое величиной h , может изменяться по вертикали относительно ротора (рис. 1, б). Поэтому указанная часть статора есть изменяемый элемент геометрии (ИЭГ) ВЭУ [14]. Отклонение положения этого элемента приводит к изменению аэродинамических свойств установки.

Возможный вариант применения рассматриваемой ВЭУ в составе комплексной силовой установки для катера малого водоизмещения показан на рисунке 1, в.

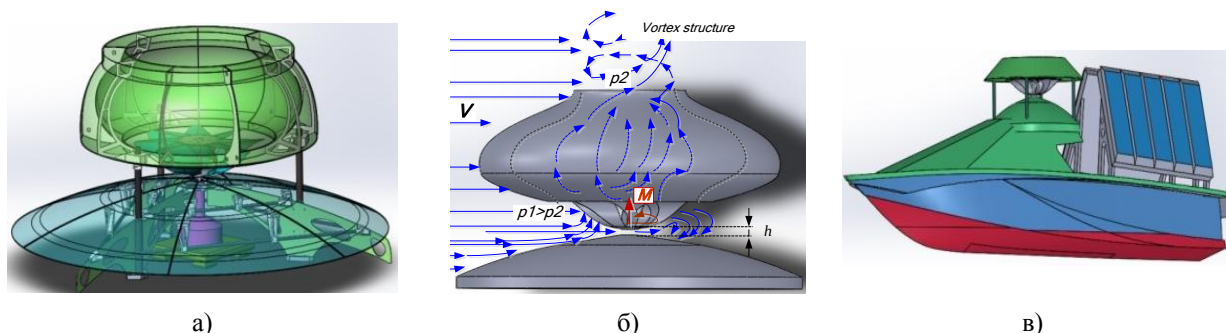


Рисунок 1 – Использование разрабатываемой ВЭУ для электроснабжения подвижных объектов: а) 3d-модель используемой ВЭУ вихревого типа; б) к пояснению управляющей величины; в) упрощенная модель маломерного катера с установленной на нём ВЭУ и солнечными панелями

В отличие от статьи [14], в настоящей работе ставится задача стабилизации угловой скорости вращения ротора с помощью управления положением ИЭГ. Эта задача здесь решается с учетом инерционности регулирования в соответствии с некоторым уравнением ошибки системы.

Стабилизация скорости нужна для следующих целей:

- а) предотвращения недопустимого увеличения скорости ротора, что грозит выходом его из строя;
- в) понижения требований к уровню стабилизации напряжения на входе генератора ВЭУ. Известно, что с изменением числа оборотов ротора амплитуда напряжения на генераторе может сильно меняться;
- с) возможности организации питания потребителя даже без АКБ – в перспективе.

Синтез регулятора ВЭУ. Пусть задано уравнение для управляемого объекта – ВЭУ, представляющее собой уравнение вращательного движения её ротора с угловой скоростью ω :

$$J \frac{d\omega}{dt} = M(V, \omega, h) + M_c(\omega), \quad (1)$$

где V – скорость ветра, изменения которой представляют в данной задаче внешнее возмущение; h – управляющая величина, определяющая положение ИЭГ; J – приведенный момент инерции ротора; $M(V, \omega, h)$ и $M_c(\omega)$ – полезный аэродинамический момент на роторе и момент сопротивления, определяемые следующими эмпирическими зависимостями [3]:

$$M(V, \omega, h) = V \left[a_1 + a_2 V - \tilde{V} \right] f_u h, \quad (2)$$

$$M_c(\omega) = -b\omega, \quad (3)$$

$$f_u h = \begin{cases} a_3 h^{-1} + a_4, & \text{при } h \in h_1, h_2; \\ h_1, & \text{при } h < h_1; \\ h_2, & \text{при } h > h_2, \end{cases} \quad (4)$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, b, \tilde{V}$ – постоянные коэффициенты; h_1, h_2 – граничные значения управляющей величины h , определяемые конструктивными особенностями ВЭУ.

Уравнение исполнительного устройства принимается в следующем виде:

$$q \frac{dh(t)}{dt} + rh(t) = f^*(t), \quad (5)$$

где q и r – некоторые постоянные коэффициенты, функция $f^*(t) = q\dot{h}^*(t) + rh^*(t)$; $h^*(t)$ – вспомогательная функция [2].

При синтезе искомого регулятора будем исходить из следующего уравнения ошибки [4]:

$$\frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + A\frac{d\varepsilon}{dt} + B\varepsilon = 0, \quad (6)$$

где $\varepsilon = \omega_g - \omega$ – ошибка регулирования; ω_g – целевое значение угловой скорости ω ; A, B – некоторые постоянные коэффициенты, определяющие характер переходного процесса по угловой частоте, в частности, время затухания этого процесса и степень его перерегулирования.

Комбинируя (1)–(6), можно прийти к следующему выражению для управляющей величины:

$$h(t) = \begin{cases} \tilde{h}(t) \equiv h^*(t) + [h_0 - h^*(0)] \exp -rt/q, & \text{при } \tilde{h}(t) \in h_1; h_2, \\ h_1, & \text{при } \tilde{h}(t) < h_1; \\ h_2, & \text{при } \tilde{h}(t) > h_2, \end{cases} \quad (7)$$

где $h_0 = h(0)$ – заданное начальное значение величины h . Функция $h^*(t)$ находится в результате решения дифференциального уравнения

$$\frac{dh^*}{dt} = \frac{1}{M'_h} BJ\varepsilon - F(V, \dot{V}, \omega, h^*) \quad (8)$$

совместно с уравнением ВЭУ (1). Функция $F(V, \dot{V}, \omega, h^*)$ и частная производная M'_h в (8) определяются выражениями:

$$F(V, \dot{V}, \omega, h^*) = [a_1 + a_2\omega(2V - \tilde{V})] f_u h^* \dot{V} + \frac{1}{J} [a_2 V(V - \tilde{V}) f_u h^* + AJ - b] (M + M_c), \quad (9)$$

$$M'_h = \begin{cases} V \begin{bmatrix} a_1 + a_2 & V - \tilde{V} & \omega \end{bmatrix} a_4 - a_3 h^{-2}, & \tilde{h}(t) \in (h_1, h_2), \\ V \begin{bmatrix} a_1 + a_2 & V - \tilde{V} & \omega \end{bmatrix} a_4 - a_3 h_1^{-1}, & \tilde{h}(t) \leq h_1, \\ V \begin{bmatrix} a_1 + a_2 & V - \tilde{V} & \omega \end{bmatrix} a_4 - a_3 h_2^{-1}, & \tilde{h}(t) \geq h_2. \end{cases} \quad (10)$$

Выражения (6)–(10) описывают искомый регулятор ВЭУ.

Эта схема построена на известных принципах в теории управления. Новшество заключается в том, что эти принципы впервые применены для управления аэродинамикой ВЭУ с изменяемыми элементами геометрии.

Структурная схема системы стабилизации угловой скорости ротора приведена на рисунке 2. Задающее устройство формирует целевой закон изменения угловой скорости вращения ω_g с учетом тока и напряжения на нагрузке и целевых установок оператора в отношении требуемого характера электро-снабжения этой нагрузки. Далее на основании ω_g и выхода ω' измерителя угловой скорости ω ротора (инкодера) формируется сигнал ошибки $\varepsilon = \omega_g - \omega' \approx \omega_g - \omega$, поступающий на регулятор. Последний в соответствии с выражениями (6)–(10) формирует величину $h^*(t)$, поступающую на исполнительное устройство, которое изменяет положение ИЭГ, компенсируя изменения скорости ветра.

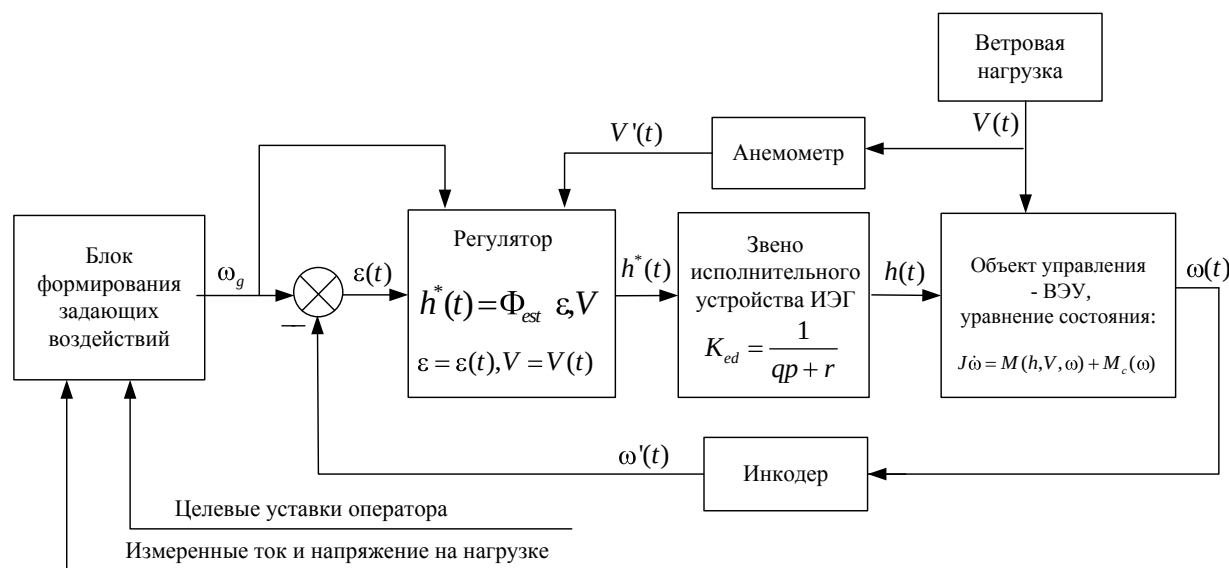


Рисунок 2 – Структурная схема системы стабилизации скорости вращения ротора

Регулятор построен по заданному уравнению ошибки регулирования – в виде дифференциального уравнения второго порядка. Закон регулирования, определяемый уравнениями в форме Коши (1) и (8), более сложен по сравнению с наиболее распространенными типами регуляторов. К последним относятся пропорциональный, пропорционально-дифференциальный или пропорционально-интегрально-дифференциальный регуляторы.

Моделирование. Компьютерная модель реализована средствами программной среды Matlab 2016.

При исследовании разработанной системы была принята следующая зависимость возмущающего ветрового воздействия от времени:

$$V(t) = V^* + A_v \exp \alpha_v t \sin \Omega_v t,$$

где A_v – амплитуда ветровых колебаний; α_v , Ω_v – постоянные параметры, $\alpha_v < 0$. Моделирование проводилось при следующих параметрах: три значения начальной амплитуды колебаний скорости: $A_v = 1; 2; 2,5; 3,36$ м/с; граничные значения диапазона управляющей величины: $h_1 = 0,01$ м, $h_2 = 0,65$ м; целевое значение скорости ротора $\omega_g = 2\pi$ рад/с, допустимое время завершения переходного процесса $T_{\max} = 6$ с; начальные условия $\omega_0 = 3\pi$ рад/с, $h_0 = 0,015$ м; $\Omega_v = 2\pi$ рад/с; постоянная времени исполнительного устройства – $q/r = 0,2$ с.

На рисунке 3, а представлены временные зависимости угловой скорости $\omega(t)$, а на рисунке 3, б – управляющей величины $h(t)$, полученные в результате моделирования.

Из этих графиков видно, что длительность переходного процесса вплоть до амплитуды колебаний ветра $A_v = 2,5$ м/с является допустимой: $t_{\text{пт}} \approx 5$ с $< T_{\max}$, потому что удовлетворяется неравенство $t_{\text{пт}} \approx 5$ с $< T_{\max}$.

Однако при значении $A_v = 3,36$ м/с аналогичное время $t_{\text{пт}} \approx 10$ с $> T_{\max}$ является уже недопустимым, потому что неравенство $t_{\text{пт}} \approx 10$ с $< T_{\max}$ в этом случае уже не удовлетворяется.

Следовательно, предложенный регулятор частоты вращения ротора ВЭУ, изменяющий положение ИЭГ при некоторых интервалах изменения скорости ветра способен повысить эффективность и надежность работы ВЭУ, а также качество вырабатываемой электроэнергии.

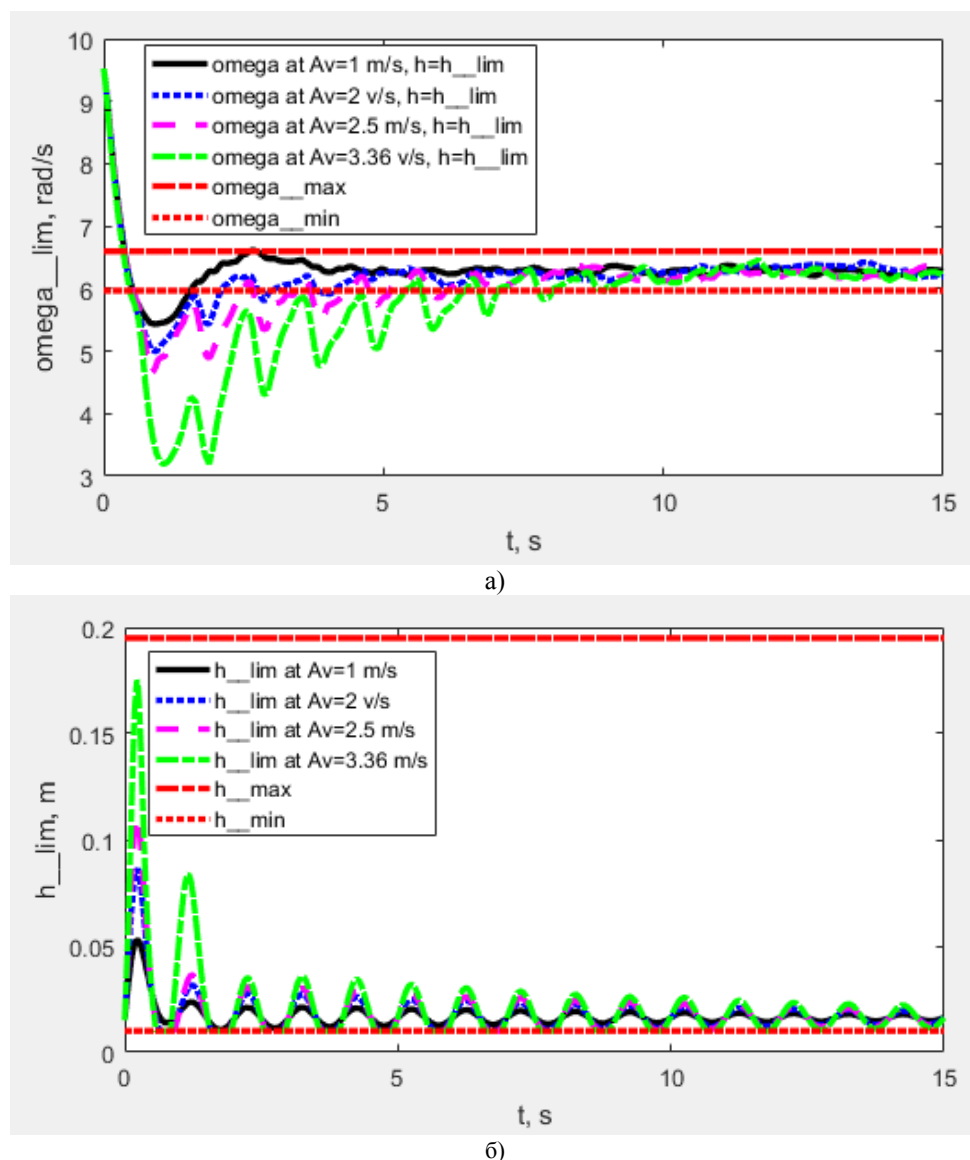


Рисунок 3 – Результаты моделирования: а) – зависимость от времени угловой скорости $\omega(t)$; (б) – зависимость управляющей величины $h(t)$

Выводы.

1. В работе синтезирован регулятор, осуществляющий стабилизацию частоты вращения ротора ветроэнергетической установки вихревого типа с использованием изменяемых элементов геометрии ВЭУ.
2. Предлагаемый регулятор способен поддерживать значение угловой скорости ротора при ветровых возмущениях с амплитудой аperiodической составляющей не более 2,5 м/с при длительности переходного процесса не более 6 секунд. Это достигается при значительном динамическом диапазоне изменения управляющей величины h .
3. Применение предложенного способа регулирования скорости ротора ВЭУ позволит значительно повысить адаптивность системы управления в отношении её выходных характеристик; существенно расширить динамический диапазон регулирования момента на роторе ветроэнергетической установки, а также повысить робастность указанных характеристик к внешним ветровым и внутренним конструкционным параметрическим возмущениям.

Библиографический список

1. Горелов Д. Н. Энергетические характеристики ротора Дарье (обзор) / Д. Н. Горелов. – Новосибирск : Издательство Сибирского отделения РАН, 2010. – С. 325–333.
2. Костюков В. А. Исследование перспективной ветроэнергетической установки с типом компоновки «ротор в растребе» / В. А. Костюков, М. Ю. Медведев, А. Н. Маевский, Н. К. Полуянович, В. В. Савченко // Вестник Донского государственного технического университета. – 2017. – № 1(88). – С. 85–91.

3. Костюков В. А. Оптимизация форм геометрии раstraбы ветроэнергетической установки типа «ротор в раstrубе» / В. А. Костюков, М. Ю. Медведев, А. Н. Маевский, Н. К. Полуянович, В. В. Савченко // Вестник Донского государственного технического университета. – 2017. – № 4 (91). – С. 61–68.
4. Костюков В. А. Математическая модель надводного мини-корабля / В. А. Костюков, А. Н. Маевский, Б. В. Гуренко // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3297, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
5. Костюков В. А. Методика расчета гидродинамических коэффициентов АНПА / В. А. Костюков, А. Е. Кульченко, Б. В. Гуренко // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3226, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Матвеев Н. М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений / Н. М. Матвеев. – Москва : Высшая школа, 1967. – 555 с.
7. Медведев М. Ю. Разработка комплексной силовой энергетической установки для надводных робототехнических платформ / М. Ю. Медведев, В. А. Костюков, А. М. Маевский, Д. Д. Павленко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 01. – С. 194–208.
8. Михненко Л. В. Ветроэнергетическая установка планетарного типа / Л. В. Михненко // Научный Вестник МГТУ ГА. Серия «Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов». – 2002. – № 49. – С. 110–113.
9. Михненко Л. В. Ветроэнергетическая установка планетарного типа / Л. В. Михненко // Научный вестник МГТУ. – 2008. – № 125. – С. 22–24.
10. Патент на полезную модель «Устройство преобразования кинетической энергии ветра в механическую энергию с использованием нижней направляющей структуры» / В. А. Костюков, М. Ю. Медведев, А. М. Маевский, Н. К. Полуянович, В. В. Савченко, от 11.08.2016 г., № 175397.
11. Пшихопов В. Х. Математические модели манипуляционных роботов : учебник / В. Х. Пшихопов. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. 117 с.
12. Heo Y. G. CFD study on aerodynamic power output of a 110 kW building augmented wind turbine / Y. G. Heo, N. J. Choic, K. H. Choib, H. S. Jia, K. C. Kima // Energy and Buildings. – Vol. 129. – P. 162–173.
13. Innovative Technologies & Solutions for Sustainable Shipping // Eco Marine Power. – Режим доступа: ecomarinepower.com/en/about-us, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 26.10.2018).
14. Kostjukov V. A. Adaptive mechatronic management system of wind-driven power-plant with variable geometry / V. A. Kostjukov, A. M. Maevskiy, N. K. Poluyanovich and M. N. Dubyago // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – Erlagol, 2017. – P. 460–464.
15. Ocius Technology Limited (Australia). – Режим доступа: ocius.com.au, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 26.10.2018).
16. Qing'an Li. Experimental and numerical investigation of the effect of turbulent inflow on a Horizontal Axis Wind Turbine (part II: Wake characteristics) / Qing'an Li, Junsuke Murata, Masayuki Endo, Takao Maeda, Yasunari Kamada // Energy. – Vol. 113. – P. 1304–1315.
17. Rafał Wróżyński. The application of GIS and 3D graphic software to visual impact assessment of wind turbines / Rafał Wróżyński, Mariusz Sojka, Krzysztof Pyszny, Krzysztof Pyszny // Renewable Energy. – Vol. 96, part A. – P. 625–635.
18. Wanga L. Liub X. Renewable and Sustainable Energy Reviews / Wanga L. Liub X., A. Koliosa. – Vol. 64. – P. 195–210.
19. Wenyi Liu. Design and kinetic analysis of wind turbine blade-hub-tower coupled system / Wenyi Liu // Renewable Energy. – Vol. 94. – P. 547–557.
20. Ying P. Computational and experimental investigations of an omni-flow wind turbine / P. Ying, Y. K. Chen, Y. G. Xu, Y. Tian // Applied Energy. – Vol. 146. – P. 74–83.

References

1. Gorelov D. N. *Energeticheskie kharakteristiki rotora Dare (obzor)* [Energy characteristics of the Darier rotor (review)]. Novosibirsk, Publishing House of Sibirean branch of RAS, 2010, pp. 325–333.
2. Kostyukov V. A., Medvedev M. Yu., Maevskiy A. N., Poluyanovich N. K., Savchenko V. V. Issledovanie perspektivnoy vetroenergeticheskoyustanovki s tipom komponovki «rotor v rastrube» [Investigation of a promising wind power plant with the “rotor in a bell” arrangement type]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Don State Technical University], 2017, no. 1 (88), pp. 85–91.
3. Kostyukov V. A., Medvedev M. Yu., Maevskiy A. N., Poluyanovich N. K., Savchenko V. V. Optimizatsiya form geometrii rastruba vetroenergeticheskoy ustanovki tipa «rotor v rastrube» [Optimization of the geometry of the socket of the wind turbine of the “rotor in the socket” installation]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Don State Technical University], 2017, no. 4 (91), pp. 61–68.
4. Kostyukov V. A., Maevskiy A. N., Gurenko B. V. Matematicheskaya model nadvodnogo mini-korablya [Mathematical model of the surface mini-ship]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of Don], 2015, no. 3. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3297.
5. Kostyukov V. A., Kulchenko A. E., Gurenko B. V. Metodika rascheta gidrodinamicheskikh koeffitsientov ANPA [The method of calculating the hydrodynamic coefficients of the AUV]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of Don], 2015, no. 3. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3226.
6. Matveev N. M. *Metody integrirvaniya obyknovennykh differentsialnykh uravneniy* [Methods of integration of ordinary differential equations]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967. 555 p.

7. Medvedev M. Yu., Kostyukov V. A., Maevskiy A. M., Pavlenko D. D. Razrabotka kompleksnoy silovoy energeticheskoy ustanovki dlya nadvodnykh robototekhnicheskikh platform [Development of a complex power plant for surface robotic platforms]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki* [News of South Federal University], 2018, no. 01, pp. 194–208.
8. Mikhnenkov L. V. Vetroenergeticheskaya ustanovka planetarnogo tipa [Wind power plant of planetary type]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA. Seriya "Ekspluatatsiya vozdušnogo transporta i remont aviatsionnoy tekhniki. Bezopasnost poletov* [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation. Series "Operation of air transport and repair of aviation equipment. Flight safety"], 2002, no. 49, pp. 110–113.
9. Mihnukov L. V. Vetroenergeticheskaya ustanovka planetarnogo tipa [Wind power plant of planetary type] *Nauchnyy vestnik MGTU* [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University], 2008, no. 125, pp. 22–24.
10. Kostyukov V. A., Medvedev M. Yu., Maevskiy A. M., Poluyanovich N. K., Savchenko V. V. *Patent na poleznuyu model «Ustroystvo preobrazovaniya kineticheskoy energii vetra v mekhanicheskuyu energiyu s ispolzovaniem nizhney napravlyayushchey struktury»* [Patent for utility model "Device for converting kinetic wind energy into mechanical energy using the lower guide structure"] of 11.08.2016, no. 175397.
11. Pshikhov V. Kh. *Matematicheskie modeli manipulyatsionnykh robotov : uchebnik* [Mathematical models of manipulation robots : textbook]. Taganrog, 2008. 117 p.
12. Heo Y. G. , Choic N. J., Choib K. H., Jia H. S, Kima K. C. CFD study on aerodynamic power output of a 110 kW building augmented wind turbine. *Energy and Buildings*, vol. 129, pp. 162–173.
13. Innovative Technologies & Solutions for Sustainable Shipping. *Eco Marine Power*. Available at: ecomarine-power.com/en/about-us (accessed 26.10.2018).
14. Kostyukov V. A., Maevskiy A. M., Poluyanovich N. K. and Dubyago M. N. Adaptive mechatronic management system of wind-driven power-plant with variable geometry. *18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*. Erlagol, 2017, pp. 460–464.
15. Ocius Technology Limited (Australia). Available at: ocius.com.au (accessed 26.10.2018).
16. Qing'an Li, Junsuke Murata, Masayuki Endo, Takao Maeda, Yasunari Kamada. Experimental and numerical investigation of the effect of turbulent inflow on a Horizontal Axis Wind Turbine (part II: Wake characteristics). *Energy*, vol. 113, pp. 1304–1315.
17. Rafał Wróżyński, Mariusz Sojka, Krzysztof Pyszny, Krzysztof Pyszny. The application of GIS and 3D graphic software to visual impact assessment of wind turbines. *Renewable Energy*, vol. 96, part A, pp. 625–635.
18. Wanga L. Liub X., Koliosa. A. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, pp. 195–210.
19. Wenyi Liu. Design and kinetic analysis of wind turbine blade-hub-tower coupled system. *Renewable Energy*, vol. 94, pp. 547–557.
20. Ying P., Chen Y. K, Xu Y. G., Tian Y. Computational and experimental investigations of an omni-flow wind turbine. *Applied Energy*, vol. 146, pp. 74–83.

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 004.02:[001.6+002]

МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ИСПЫТУЕМЫМИ ЯРКОСТНО-ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ, ОБЪЕМОВ И УСТОЙЧИВОСТИ ИХ ЦВЕТОВОЙ ПАМЯТИ

Статья поступила в редакцию 15.04.2019, в окончательном варианте – 02.06.2019.

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

Рамазанова Лия Шамильевна, Астраханский государственный медицинский университет, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии, e-mail: ram-l@list.ru

Молимонов Дмитрий Александрович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
студент, e-mail: dmolimonov@mail.ru

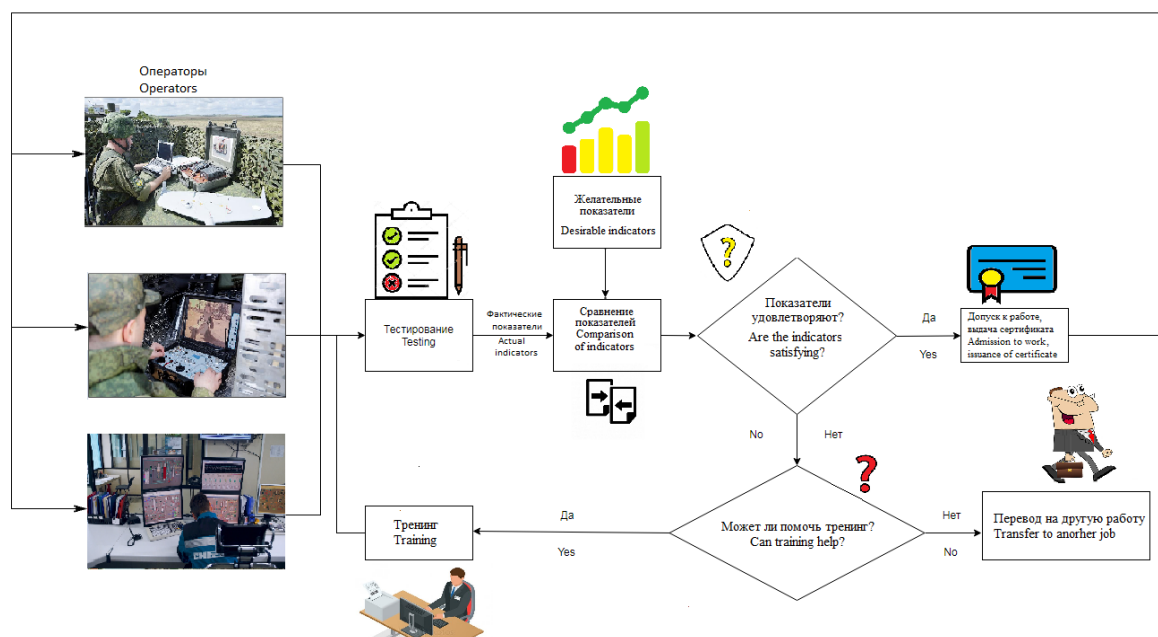
Тишкова Антонина Сергеевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
студент, e-mail: tonya_tishk@mail.ru

Нежников Ратибор Игоревич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
студент, e-mail: ratibor.nezhnikov@mail.ru

Указаны профессии и ситуации, для которых важны вопросы оценки точности восприятия яркостно-цветовых характеристик объектов, объемов и устойчивости цветовой памяти испытуемых лиц. Показано что в настоящее время комплексные методики, позволяющие выполнить такие исследования, недостаточно развиты и потому практически не используются. В связи с этим обоснована актуальность разработки соответствующих методик инструментальных исследований, а также тренинга цветовой памяти, в том числе с использованием адаптивных режимов. Потенциально возможные технические решения для проведения исследований и тренинга рассмотрены по двум основным направлениям: 1) чисто программные средства для автономных и сетевых ПЭВМ, ноутбуков, компьютерных планшетов, смартфонов; 2) автономные аппаратно-программные решения на основе собственных микропроцессоров, дисплеев, динамики и пр. Сравнены достоинства и недостатки этих двух направлений (подходов) к тестированию/тренингу, а также их разновидностей. Предложены показатели для количественных оценок рассматриваемых в статье характеристик восприятия цвета и яркости объектов, цветовой памяти испытуемых лиц. Охарактеризованы факторы, влияющие на корректность (адекватность) получаемых при тестировании значений этих показателей. Подробно описаны предлагаемые методики исследований, варианты их программной и аппаратно-программной реализации, функциональные возможности и ограничения, способы обработки результатов. Обоснована возможность (целесообразность) исследования устойчивости цветовой памяти с применением различных «помех», воздействующих на сенсорные системы испытуемых лиц. Проанализированы вопросы накопления результатов тестирований испытуемых лиц в компьютерных базах данных; подходы к обработке совокупностей таких данных – в том числе на основе методов, относимых к классу Data Mining. Такая обработка может иметь два основных направления: оценка динамики изменения показателей одного испытуемого во времени; анализ показателей для групп испытуемых, выделяемых по определенным критериям.

Ключевые слова: восприятие цветов, точность восприятия, запоминание цветов, показатели объема памяти, показатели устойчивости памяти, влияние помех, профотбор, диагностика заболеваний, базы данных, data mining

Графическая аннотация (Graphical annotation)



METHODS AND TECHNICAL SOLUTIONS FOR ASSESSING HUMAN TEST SUBJECTS' PERCEPTION ACCURACY OF OBJECTS BRIGHTNESS AND COLOR CHARACTERISTICS, VOLUMES AND STABILITY OF THEIR COLOR MEMORY

The article was received by editorial board on 15.04.2019, in the final version – 22.05.2019.

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

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

Ramazanov Leah Sh., Astrakhan State Medical University, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Medicine), Professor of Department of Ophthalmology, e-mail: ram-l@list.ru

Molimonov Dmitry A., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

student, e-mail: dmolimonov@mail.ru

Tishkova Antonina S., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

student, e-mail: tonya_tishk@mail.ru

Nezhnikov Ratibor I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

student, e-mail: nezhnikov1998@gmail.com

Authors specify professions and situations in which issues of human subjects assessment of perception accuracy of brightness and color characteristics of objects, volumes and stability of color memory are important. It is shown that nowadays integrated techniques allowing to carry out such researches are underdeveloped and therefore hardly applied. In this regard, the relevance of development of corresponding techniques of instrumental investigations as well as the relevance of color memory training, including the training involving use of the adaptive modes, is substantiated. Potentially feasible technical solutions for carrying out researches and training are considered in two main directions: 1) purely software solutions for autonomous and network PC's, laptops, computer tablets, smartphones; 2) autonomous hardware and software solutions on the basis of researchers' own microprocessors, displays, loudspeakers and so forth. Merits and demerits of these two directions (approaches) to the testing/training, as well as of their variations, are compared. Indicators for quantitative estimates of the characteristics of perception of color and brightness of objects, as well as of color memory of human test subjects, considered in this article are suggested. Authors characterize the factors affecting accuracy (adequacy) of the values of these indicators obtained during the testing. This article describes in detail suggested techniques of researches, options for their software and software-hardware implementation, functionality and restrictions, ways of results processing. The feasibility (expediency) of conducting color memory stability research involving application of different "noises" affecting human test subjects sensor systems

is substantiated. Authors analyze issues concerning accumulation of the human test subjects testing results in computer databases; approaches to processing such data sets – including on the basis of the methods belonging to the class “data mining”. Such processing can have two main directions: assessment of change dynamics over time for the indicators of one human test subject; analysis of indicators for groups of human test subjects selected according to certain criteria.

Keywords: color perception, perception accuracy, storing of colors, memory capacity indicators, memory stability indicators, noises influence, professional selection, diagnosis of diseases, databases, data mining

Введение. Общеизвестно, что зрение обеспечивает для человека большую часть информации об окружающем его мире, происходящих в нем процессах. Поэтому вопросам исследования характеристик (показателей) зрения человека, и в том числе процессов цветовосприятия, в литературе уделяется значительное внимание [3, 8, 12, 13, 15, 23, 36]. Для решения конкретных задач по этому направлению разрабатываются специальные устройства [1], экспериментальные методики [6, 7, 25].

Однако некоторые виды показателей зрения (ПЗ) слабо обеспечены методиками исследований, а также техническими средствами реализации таких методик. К таким направлениям относятся, в частности, следующие: оценки точности восприятия яркостно-цветовых характеристик (ЯЦХ) объектов и одно-временного (параллельного) воспроизведения их на объектах-аналогах; определение «объемов» оперативной цветовой памяти испытуемых (ЦПИ); оценки устойчивости ЦПИ во времени, в частности при наличии внешних воздействий на испытуемых по различным сенсорным каналам.

Оценки указанных ПЗ могут быть важны для решения следующих задач. 1. Диагностика (выявление) некоторых видов заболеваний, в том числе глаз и центральной нервной системы [7, 22], некоторых других заболеваний, включая алкогольную зависимость [27]. 2. Исследования динамики изменения показателей зрения, в том числе в процессе лечения заболеваний, в рамках реабилитационных процессов после заболеваний и травм [7]. 3. Задачи профессионального отбора и/или оценки профессиональной пригодности [6, 7]. 4. Использование цветов в учебном процессе для оценки психофизиологического статуса студентов [28]; для развития способностей цветовосприятия у учащихся [30]. 5. Для определения необходимости, направлений и объемов реализации мер поддержки бытовой деятельности для некоторых категорий лиц. 6. При визуальной оценке характеристик качества для ряда объектов, включая пищевые [18, 21, 35] и непищевые товары [2, 20, 32], некоторые виды расходных материалов, в том числе моторные топлива [11]. Для этого направления с целью повышения точности оценок могут использоваться следующие подходы: *6а)* экспертное оценивание группами экспертов [9] вместо оценивания одним человеком. При этом могут делаться количественные оценки степени согласованности мнений экспертов [26]; *6б)* инструментальные методы (например, [14]). Однако они сложнее в технической реализации, обычно требуют использования специального оборудования [19, 36] (в том числе и лабораторного). Отметим, что методы оценки цвета прозрачных и непрозрачных объектов отличаются. В частности, для прозрачных объектов можно использовать спектрофотометр с монохроматором и получить график зависимости коэффициента пропускания объекта от длины волны. С точки зрения дальнейшей обработки такой график будет представлять собой набор пар значений «длина волны – коэффициент пропускания». Методы количественной оценки цветовых различий при восприятии цифровых изображений имеют определенную специфику [34]. 7. При оценке качества архитектурных объектов [24, 29], дизайнерских решений их интерьеров [4, 10]. 8. Некоторые задачи, связанные с обеспечением «гигиены труда» [5] и пр. 9. Задачи обеспечения эффективности деятельности человека-оператора в составе человеко-машинных систем автоматизированного управления [31, 33]; при управлении оператором сложными техническими системами на основе оперативно получаемой визуальной информации [16]. При этом точность и скорость восприятия информации человеком-оператором могут иметь критическое значение. Поэтому использование «цветовых выделений» для разных видов данных достаточно распространено. 10. Задачи оценки влияния особенностей освещения на риски для зрения [17], а также на восприятие объектов, включая их заметность для наблюдателей, воспринимаемые ими цвета и пр. Отметим, что в последнее время особое внимание уделяется использованию светодиодов – как при непрерывном, так и при импульсном освещении отдельных объектов или помещений в целом [17, 37].

Для улучшения ПЗ человека возможно также проведение тренинговых мероприятий на основе рассматриваемых далее методик, стандартных и специально разработанных аппаратно-технических и программно-технических средств. Особенностью тренинговых режимов обычно является следующее: оперативное отображение получаемых результатов – чтобы тренирующийся мог сразу же скорректировать свои действия; в некоторых случаях – отображение подбираемых им параметров по ходу выполнения тестовых заданий (ТЗ); иногда – отображение правильных вариантов ответов по ТЗ наряду с фактическими (также в порядке организации «обратной связи» тренинговой системы с испытуемым).

Поэтому целями данной публикации являются систематизация информации по теме статьи и разработка комплексных подходов к исследованию ПЗ, включая следующее: системы количественных показателей для оценки ПЗ; аппаратно-технических и программно-технических решений для обеспече-

ния получения таких оценок; направлений обработки полученных результатов (для отдельных физических лиц и/или их групп, выделенных по заданным критериям).

Общая характеристика видов и особенностей объектов по теме статьи. Прежде всего отметим, что объекты, в отношении которых в рамках проводимых экспериментов для испытуемых может быть необходимо оценивать (и/или запоминать) их цвета и/или яркости, могут быть двух основных типов: самосветящиеся и несамосветящиеся, т.е. воспринимаемые за счет отраженного излучения.

К самосветящимся объектам мы отнесем следующее: светодиоды (СД) – белого свечения, цветные монохромные, двухцветные, RGB-светодиоды; сигнальные неоновые лампочки; миниатюрные лампы накаливания; малогабаритные лампы дневного света, в том числе использующие подсветку люминофора ультрафиолетовым излучением; объекты, испускающие свет за счет остаточной фосфоресценции (в период после окончания засветки); изображения на экранах «активных» мониторов/дисплеев, т.е. использующих светящиеся пиксели. В случае самосветящихся объектов условия внешнего освещения также могут оказывать определенное влияние на точность восприятия цвета и яркости, особенно если интенсивность свечения этих объектов невысокая.

Существенно, что восприятие ЯЦХ самосветящихся объектов может значительно меняться при переходе от длительных периодов их подсветки к кратковременным («импульсным»). При этом необходимо учесть, что три вида колбочек (воспринимающих красный, зеленый, синий цвета) и располагающихся в глазах человека, имеют различные минимальные по длительности «пороги» восприятия свечения. Поэтому, в частности, может значительно меняться характер цветовосприятия для «смеси» цветов в случаях таких длительностей свечения, при которых «пороги» превышены только для одного или двух базовых цветов (БЦ) – красного, зеленого или синего.

К несамосветящимся мы отнесем все объекты, зрительное восприятие которых возможно за счет использования внешних источников освещения (подсветки), включая естественное и искусственное освещение. В эту группу мы включаем, в частности, монохромные жидкокристаллические мониторы, использующие отраженный свет; различные архитектурные объекты; предметы одежды и быта; пищевые продукты (для них цвет может быть важен с точки зрения оценки их качества, пригодности употребления в пищу). Характеристики внешнего освещения для таких объектов значительно влияют на условия их восприятия, включая воспринимаемый цвет и субъективно воспринимаемую «яркость». Это особенно касается случаев кратковременной подсветки таких объектов. Поэтому для объективной оценки цвета ряда объектов разрабатываются инструментальные методы, использующие стандартизованные условия освещения.

Отметим, что наряду с RGB-моделью при задании цветов объектов применяются и иные, например HLS (рис. 1).



Рисунок 1 – Расширенные варианты выбора цвета текста в текстовом редакторе MsWord 2003

В данной статье мы будем иметь в виду исследование ПЗ человека главным образом с использованием самосветящихся объектов. При этом предполагается применение тестов, включающих в себя серии ТЗ. Для программного управления «стимулами», применяемыми в ТЗ, предусматривается возможность использования трех основных подходов: 1) воспроизведение стимулов с «детерминированными» характеристиками в отношении цвета, яркости, длительности и пр.; 2) выбор характеристик стимулов в каждом ТЗ случайным образом в заданных диапазонах значений; 3) адаптивный подход, при котором характеристики последующих ТЗ выбираются с учетом результатов по предыдущим ТЗ в том же тесте и, возможно, предыдущих тестах.

Исследования точности восприятия ЯЦХ и цветовой памяти испытуемых могут быть важны, в частности, в следующих случаях.

1. Оценки возможности (целесообразности) выполнения физическими лицами производственных функций для некоторых категорий профессий. Например, для водителей автотранспорта при медицинском обследовании достаточно подтверждения факта различения ими ограниченного количества цветов, используемых для представления знаков управления дорожным движением; трех цветов в светофорах; цветов габаритных и «поворотных» огней автомобилей и пр. В то же время для художников-дизайнеров и архитекторов, проектирующих различные виды объектов, нужны более «тонкие» оценки качества цветоторазличения ими объектов. Высокие требования к цветоторазличению, а также хранению в памяти пространственной и цветовой информации об объектах, предъявляются к художникам; лицам, профессионально работающим в сфере декоративно-прикладного искусства, конструирования моделей одежды, осуществляющим визуальный контроль качества продукции, исходного сырья и пр.

2. Изучение влияния общего физического и умственного утомления в отношении точности восприятия ЯЦХ объектов и цветовой памяти. Такие оценки могут быть важны, в частности, для операторов человеко-машинных систем управления, использующих «цветные мнемосхемы» управляемых объектов, представленные на мониторах ПЭВМ и/или на крупноформатных демонстрационных табло. Отметим также важность оценок утомляемости операторов при работе со схемами расположения объектов в пространстве, представленными на дисплеях. При этом информативны еще и скорости реакций испытуемых на «цветовые стимулы».

3. Изучение влияния искусственно созданных «стрессовых ситуаций» (нехватка времени на ответы, наличие интенсивных помех и пр.) на точность цветовосприятия и характеристики ЯЦП испытуемых.

4. Оценка изменений точности цветовосприятия после интенсивной внешней засветки органов зрения человека. Определение продолжительности (эффекта последействия) таких изменений после указанной засветки. Это направление также может иметь «прикладные аспекты», в том числе в отношении водителей транспорта при организации ночного движения.

5. Изучение процессов восприятия испытуемыми наличия и направленности плавных изменений ЯЦХ объектов во времени; «пороговых» значений для скоростей таких плавных изменений, которые могут непосредственно восприниматься испытуемыми.

6. Аналог «4», но изменения ЯЦХ объектов носят дискретный характер. При этом ставятся задачи оценки «порогов» различий восприятия для сочетаний «яркость-цвет». Прикладное значение таких исследований может состоять в определении минимально допустимых порогов указанных различий, обеспечивающих уверенную реакцию испытуемых на изменения характеристик свечения объектов.

7. Инструментальная диагностика наличия некоторых видов заболеваний глаз, центральной нервной системы и пр.; оценка степени выраженности симптомов таких заболеваний, в том числе полуколичественная оценка.

8. Исследование динамики изменения показателей цветовосприятия и цветовой памяти по ходу процесса лечения (в том числе и медикаментозного) непосредственно органов зрения человека, а также головного мозга, в котором расположен так называемый «зрительный анализатор». Сюда же мы отнесем и исследование процессов реабилитации зрения со временем, происходящих без использования целенаправленных лечебных воздействий на пациентов.

9. Выявление наличия и динамики изменений характеристик цветового зрения и цветовой памяти испытуемых в результате целенаправленного тренинга, в частности с использованием некоторых инструментальных средств, которые будут рассмотрены далее.

Форма объектов. В типичных случаях формы объектов, используемых в процессе проведения экспериментов, могут представлять собой простейшие геометрические фигуры (круг, квадрат, эллипс и пр.). Однако возможны и некоторые усложненные варианты: кольца; квадраты с удаленными внутренними частями, сектора кругов (с разными положениями биссектрис) и пр.

Если в качестве объектов используются символы, несущие содержательную информацию (буквы, цифры, некоторые иные символы), или пиктограммы, то нагрузка на «зрительный анализатор» пользователя возрастает. Причина – он должен такие объекты не только увидеть, но и распознать – путем сопоставления с базой образов, хранимых в его памяти. При этом по времени процесс распознавания может быть более длительным, чем восприятие изображения (это особенно существенно при кратковременной демонстрации объектов).

В случае если в некоторых ТЗ требуется воспроизвести не только цвет символа, но и правильно выбрать его форму, то задача для испытуемого усложняется. Например, это касается правильного задания (установки) при ответе эксцентриситета эллипсов, показанных в виде зрительных стимулов.

Виды исследуемых объектов. В простейшем случае такие объекты являются двумерными (плоскими) – это дает возможность использовать для их воспроизведения максимально широкую номенклатуру технических средств. Однако в общем случае возможно применение при тестировании вещественных объемных (т.е. 3D) объектов, в том числе с некоторыми частями, подвижными друг относительно друга.

Отметим, что подсветка 3D-объектов возможна не только снаружи (извне), но и изнутри их – для прозрачных или полупрозрачных объектов.

Положение и подвижность объектов исследований.

1. Простейшим вариантом являются статические объекты, расположенные во фронтальной плоскости. Для кругов и колец, имеющих одинаковую цветность и яркость по всему полю, их восприятие инвариантно по отношению к поворотам. Однако если такие различия в отношении поворотов есть, то перед испытуемым может ставиться дополнительная задача в отношении запоминания «углового положения» объектов.

При этом для букв, цифр, пиктограмм помимо демонстрации в «нормальном» положении возможно представление их с различными поворотами, причем не только на 90° , 180° (Upside-Down), 270° .

2. Для плоских объектов, расположенных во фронтальной плоскости, с использованием программных средств в процессе демонстрации возможно задание некоторых перемещений (линейных; по прямоугольной, шестиугольной, круглой траектории; с «отражением» от границ экрана и пр.). Кроме того, возможно использование «вращений» плоских объектов во фронтальной плоскости, а также программных имитаций трехмерных вращений.

3. Для дисплеев с дискретно изменяемыми положениями в пространстве (например, с использованием шаговых двигателей) возможно задание наклонных положений не только во фронтальной плоскости, но и в сагиттальной, а также комбинаций наклонов в этих двух плоскостях.

4. Кроме того, для дисплеев по п. 3 возможно задание их плавных вращений. Например, для малогабаритного автономного устройства на основе двухстрочного дисплея с 16 позициями в строке можно организовать его вращение (в процессе демонстрации символов) вокруг горизонтальной оси, проходящей в сагиттальной плоскости; вращательно-реверсивное движение и пр. Это усложняет восприятие визуальных стимулов испытуемыми, так как такое восприятие может осуществляться по двум основным типам: а) символы воспринимаются только в период нахождения их вблизи фронтальной плоскости, т.е. фактически «приведенное к нормальным условиям восприятия» время демонстрации падает; б) символы воспринимаются испытуемыми большую часть демонстрируемого времени, но затем «мысленно» приводятся к расположению во фронтальной плоскости – это требует дополнительной нагрузки на «зрительный анализатор», кратковременную память испытуемых – в ней осуществляются операции «мысленного вращения».

Общая характеристика направлений исследований зрения по теме статьи.

А. Методики для обнаружения дефектов зрения человека в отношении правильности (точности) цветовосприятия. Сейчас они разработаны преимущественно для выявления дальтонизма или отсутствия восприятия испытуемыми одного из трех БЦ: красного, зеленого, синего [7]: **a1)** при массовых медицинских обследованиях для этой цели применяются в основном таблицы Рабкина [6, 7] стандартного размера, напечатанные на бумаге; **a2)** возможно также использование компьютеризованных аналогов таких таблиц и тестов Ишихары [7]; **a3)** для более «тонких» исследований точностей цветовосприятия испытуемых может применяться «перетаскивание» объектов на мониторах ЭВМ с целью их цветового «франжирования» [7] при помощи мыши (по технологии drag and drop). На ноутбуках для этой цели может использоваться перемещение пальцев испытуемых на «тач-пэдах» или вращение «трэк-боллов». На смартфонах и компьютерных планшетах (они имеют сенсорные экраны) «перетаскивание» объектов можно реализовать с помощью движений пальцами по дисплеям. При этом для экранов небольшого размера могут быть использованы специальные стилусы, что даст возможность работать с объектами небольших размеров.

Б. Исследование восприятия ЯЦХ светящихся объектов, в том числе с достаточно ограниченными временами их предъявления (демонстрации) испытуемым. По этому направлению исследований каких-либо общераспространенных методик нет. Однако есть экспериментальные методики на основе использования очков с фотозатворами.

На практике может быть особенно важным определение нижнего порога яркости светящихся объектов по отношению к фону, в том числе в специально затемненных помещениях. Для конкретных испытуемых такие «пороговые яркости» для разных цветов могут существенно различаться. Кроме того, эти пороги могут меняться в зависимости от длительности демонстрации стимулов испытуемым.

Оценки точности распознавания (восприятия) цветовых отличий фрагментов изображений различных объектов могут иметь многочисленные приложения: **а)** отметим, в частности, возможности использования стеганографических методов для сокрытия текстово-числовой информации в цветных изображениях. Например, в фото лица человека скрывается информация о его фамилии, имени, отчестве; **б)** при реставрации поврежденных картин и других произведений живописи иногда требуется, чтобы специалисты с близкого расстояния могли заметить цветовые различия, а неспециалисты со средних расстояний – не могли; **в)** при эксплуатации человеко-машинных систем важно обеспечить восприятие человеком-оператором [33] кратковременно появляющихся изображений на экранах дисплеев.

С методической точки зрения при компьютерной реализации вариантов исследований по этому направлению существенным недостатком может быть то, что разные модели дисплеев несколько по-разному воспроизводят цветовые оттенки демонстрируемых на экранах объектов. Этот недостаток мало-

существенен, если нужно оценивать цветоразличение испытуемыми только для трех БЦ. Однако для определения качества восприятия цветовых оттенков этот недостаток может быть важен.

Отметим, что в продаже имеются специальные мониторы, предназначенные для «дизайнерских работ». Они обеспечивают хорошее качество цветовоспроизведения, но в силу дороговизны пока распространены мало. Как следствие, при проведении тестирований на «обычных» мониторах может потребоваться применение специальных средств «цветовой коррективки» тех материалов (объектов), которые воспроизводятся на экранах мониторов в ТЗ.

В. Оценки характеристик яркостно-цветовой памяти (ЯЦП) испытуемых [8], т.е. их способности удерживать в памяти сочетания цветов и яркостей предъявленных на определенное время объектов (одного или нескольких). При таких исследованиях между предъявлением объектов и получением ответов от испытуемых целесообразно делать некоторую паузу по времени.

Эта пауза может использоваться для разных целей: **в1)** испытуемые просто находятся перед дисплеями, на которых ничего не отображается. Этот вариант может рассматриваться как некоторый «опорный» по отношению к последующим. В рассматриваемых далее вариантах «в2–в4» целью использования паузы является попытка «активного вытеснения» из оперативной памяти испытуемых лиц ЯЦХ объектов; **в2)** на сенсорные системы испытуемых (в том числе по визуальному каналу) в период паузы оказываются какие-то воздействия. При этом, по крайней мере, часть кратковременной (оперативной) памяти будет использоваться для обработки информации о поступающих воздействиях. Поэтому сведения о показанных ранее объектах могут в этой памяти утрачиваться или искажаться; **в3)** испытуемому в период паузы предлагается решать «в уме» какие-то несложные арифметические или арифметически-логические задачи. Для этой цели он вынужден использовать часть своей оперативной (кратковременной) памяти. При этом запомненная ранее информация об объектах будет из оперативной памяти «вытесняться». Чем меньше у испытуемого объемы оперативной памяти, тем такое «вытеснение» более вероятно; **в4)** испытуемый во время паузы выполняет какие-то физические упражнения. Это также требует использования оперативной памяти для обеспечения необходимой последовательности движений тела и/или конечностей, управления темпом движений, их координацией и пр.

Г. Для исследования ЯЦП испытуемому одновременно предъявляется совокупность объектов с индивидуальными (различающимися) характеристиками. При этом дополнительными по отношению к пункту «В» параметрами, которые испытуемые должны будут запоминать и удерживать в памяти могут быть следующие: **г1)** местоположение каждого плоского объекта. Если объекты имеют форму, инвариантную к вращению, то местоположение определяется двумя координатами («Х» и «У») их геометрических центров. Отметим, что местоположения объектов обычно запоминаются испытуемыми «в совокупности», т.е. с учетом их расположения по отношению друг к другу. Для некоторого упрощения запоминания положений объектов может применяться демонстрация на экране монитора пространственной сетки – двумерной «разграфки»; **г2)** форма объекта (предполагается, что количество таких форм ограничено – например, соответствует списку «окружность, квадрат, шестиугольник, звездочка»; **г3)** относительные размеры продемонстрированных объектов (с сохранением их форм при масштабировании на дисплеях разного размера).

Необходимость запоминания при тестировании ЯЦХ нескольких объектов, их взаимного расположения, соотношения их размеров, безусловно, увеличивает требования к используемым объемам кратковременной (оперативной) памяти испытуемых лиц.

Д. Усложненным вариантом по отношению к «Г» является не одновременное, а последовательное предъявление объектов – например, на мониторе. При этом испытуемый должен еще дополнительно запомнить, в какой именно последовательности предъявлялись объекты. Для пункта «Д» возможны, в частности, такие подварианты: **д1)** объекты предъявляются «строго по одному» друг за другом без промежутков по времени между предъявлениями. При этом каждый объект показывается на своей «позиции», которую также нужно запомнить, а затем воспроизвести; **д2)** между предъявлениями объектов делаются небольшие паузы по времени; **д3)** объекты предъявляются «группами» фиксированного объема – например, по два или три объекта сразу; **д4)** объекты предъявляются последовательно группами, но количества объектов в группах могут изменяться в детерминированном или случайном порядке (например, от одного до трех объектов для каждого предъявления).

Е. Некоторым аналогом варианта ТЗ типа «д1» может быть вариант с плавным изменением яркости предъявляемых монохромных объектов в процессе их демонстрации на мониторе. Например, каждый из объектов может предъявляться в двух вариантах: с возрастанием яркости от нуля до заданной для него максимальной; с уменьшением яркости от максимальной до заданной. При этом в качестве ответа на ТЗ может предусматриваться (предполагаться) следующее: **е1)** испытуемый запоминает (а потом указывает в ответах) только минимальную яркость; **е2)** испытуемый запоминает (а потом воспроизводит) максимальную яркость; **е3)** испытуемый должен указывать и минимальную и максимальную яркости. Описанный в данном разделе вариант может быть также реализован с помощью светодиодов белого свечения.

Ж. Возможен и «многоцветный» аналог «Е», в котором для каждого предъявляемого объекта используется один из цветов – например, из набора цветов «красный-зеленый-синий-черный».

Важно отметить, что с точки зрения технической реализации описанных выше вариантов ТЗ сложнее, оказывается, не воспроизведение заданий на мониторах (или с помощью светодиодов – если не требуется представлять форму объектов), а организация получения ответов от испытуемых. Причина – если испытуемым надо вводить много информации (например, для ТЗ типов «Д» и «Е»), то организация удобного интерфейса может потребовать использования особых технических решений, специальных усилий от программистов. Поэтому в последующем разделе подробно рассматриваются различные варианты использования аппаратно-технических средств для практической реализации указанных выше методик.

Анализ достоинств и недостатков возможных аппаратно-технических решений для проведения исследований и тренинга по тематике статьи. Ниже мы опишем эти решения по отдельным группам (классам) устройств.

1. Применение автономных настольных (desktop) персональных ЭВМ. Достоинства использования для тестирования: а) могут применяться статичные изображения объектов с различным их расположением на мониторах, в том числе для учета межзрачкового расстояния испытуемых лиц; б) широкие возможности использования динамических изображений, т.е. объектов, перемещающихся по экрану, изменяющих в процессе демонстрации свои размеры, форму, цвет, яркость и пр.; в) использование мыши и клавиатуры дает широкие методические возможности по вводу испытуемыми ответов по ТЗ; г) на ПЭВМ есть также удобные возможности задания помех: статических и динамических помех визуального характера, звуковых помех и пр. Такие помехи могут задаваться как во время демонстрации объектов, так и в период паузы перед началом ввода ответов испытуемыми. Дополнительное достоинство использования автономных ПЭВМ – лучшие возможности обеспечения конфиденциальности результатов тестирования (особенно если лица, проходящие тестирование, хранят результаты только на личных флэш-накопителях). Однако для автономных ПЭВМ необходима инсталляция тестирующего программного обеспечения (ПО) на каждый из компьютеров. Если предполагаются какие-то обновления ПО в процессе эксплуатации (например, корректировки баз ТЗ), то это будет приводить к большим объемам дополнительной работы по сопровождению ПО, инсталлированного на совокупность ПЭВМ.

2. ПЭВМ, подключенная к локальной компьютерной сети. Достоинства: может использоваться единственная для всех пользователей копия ПО, установленная на сервер (при необходимости обновления ПО осуществляются только для этой копии); возможности накопления результатов тестирований в базах данных (БД), в том числе и в порядке «предсменного контроля»; возможности анализа динамики показателей отдельных тестируемых лиц за разные даты, сравнения показателей разных лиц и пр. Недостаток: пользователи уже не могут контролировать дальнейшее использование своих результатов тестирования.

3. ПЭВМ, подключенная к интернету. При этом для проведения тестирования/тренинга может использоваться удаленный интернет-ресурс – в «бесплатном режиме» или по модели SaaS. *Преимущества:* возможность использования актуализированных версий ПО и баз данных с тестовыми материалами, обновляемых разработчиком; широкие возможности сопоставления результатов тестирований разных физических лиц с учетом их пола, возраста и пр. (при желании пользователей сохранить конфиденциальность, они могут регистрироваться под условными фамилиями или «прозвищами»).

Этот вариант может применяться и для планового внутриведомственного (внутрикорпоративного) тестирования персонала, работающего в разных населенных пунктах; или кандидатов для приема на работу и пр. При этом все пользователи получают индивидуальные пары «логин-пароль» – при необходимости по результатам модерации индивидуальных запросов на регистрацию.

4. Использование ноутбуков вместо ПЭВМ. В этом случае возможна реализация вариантов 1–3. При этом испытуемые лица могут относительно свободно располагаться в помещениях или даже вне их; работать с привычными для них клавиатурой, мышью, дисплеем и пр. В случае личных ноутбуков обеспечивается также лучшая конфиденциальность.

5. Применение компьютерных планшетов. Если их экраны достаточно велики, то воспроизведение ТЗ не вызывает особых затруднений. Однако для планшетов приходится использовать пальцы вместо компьютерной мыши; также отсутствует «внешняя» клавиатура, а применение экранной клавиатуры может быть неудобным. Это несколько снижает методические возможности в отношении номенклатуры возможных вариантов получения ответов от испытуемых лиц. Для проведения тестирования (тренинга) подключение планшетов может осуществляться либо к локальным компьютерным сетям (аналог пункта 2), либо к интернету (аналог пункта 3).

6. Использование смартфонов. Относительно небольшие размеры их экранов несколько ограничивают методические возможности проведения тестирований. С другой стороны, смартфонов используется значительно больше, чем настольных ПЭВМ, ноутбуков, планшетов. Поэтому потенциальное количество пользователей тестирующих программ, размещенных на интернет-ресурсах, может быть очень большим (особенно, если разработчики предусмотрели возможности переключения между языками интерфейса). Кроме того, выполнение тестов (а особенно тренинга) возможно в такие отрезки времени, которые не могут быть использованы для других целей. В связи с этим отметим, что рассматриваемые в статье тестовые программы будут конкурировать за внимание пользователей с различными компьютерными играми.

7. Использование сети терминальных станций в сочетании с некоторой «центральной» ЭВМ. Это фактически аналог «2», но несколько более дешевый. Такое решение может быть оправданным в следующих случаях: при проектировании (создании) специализированных кабинетов тестирования, в которых не предполагается применение сложных программ; если в организации уже есть терминальная сеть.

Сделаем также следующие дополнительные замечания к пунктам 1–7 данного раздела.

Для всех рассмотренных выше типов устройств существенным недостатком может быть зависимость результатов от «типа матрицы» мониторов, качества воспроизведения ими цветов; контрастности изображений на мониторах [7]. Для планшетов и смартфонов значительное влияние могут также оказывать условия внешнего освещения, особенно если работа с тестовыми (тренировочными) программами осуществляется без выбора «подходящего» места.

Если в помещении, в котором осуществляется тестирование, имеется демонстрационная панель, то на ней в реальном масштабе времени может показываться для сравнения совокупность результатов тестируемых лиц. Это в принципе позволяет показывать общие задания и сравнивать скорости реакций на них со стороны отдельных физических лиц; проводить некоторые варианты «групповых» тестирований; реализовать некоторые «соревновательные» (игровые) режимы для групп испытуемых лиц и пр.

8. Автономные аппаратно-программные комплексы (АПК) для проведения тестирования и тренинга, не предусматривающие возможность подключения к ПЭВМ – в таких устройствах используются собственные микропроцессоры, дисплеи, динамики, устройства управления, источники питания и пр.

Достоинства: а) возможность «малогабаритной» реализации, что позволяет использовать эти устройства в различных местах и при различных условиях. Аналогичные возможности есть и для смартфонов, однако при этом требуется либо доступ через интернет к ресурсу, на котором установлено приложение, либо предварительное скачивание приложения и установка его на смартфон; б) удобные возможности организации по ходу тестирования для АПК (или только для блока с дисплеем) различных фиксированных наклонов (по отношению к тестируемому лицу), перемещений, вращений, покачиваний и пр.; в) несколько более широкие возможности задания помех по сравнению с представленными ранее аппаратно-техническими решениями: в процессе демонстрации объектов; в период паузы после ее окончания; во время ввода испытуемыми лицами ответов; г) для тестирования могут использоваться RGB-светодиоды, допускающие плавную регулировку соотношения яркостей БЦ. Достоинства таких СД: малая стоимость и низкое энергопотребление; больший диапазон яркостей по сравнению с объектами, воспроизводимыми на мониторах ЭВМ; СД могут управляться непосредственно с микропроцессоров, так как потребляют достаточно малые токи; СД с «матовыми колбами» хорошо осуществляют «смещение» цветов. Для расширения методических возможностей могут применяться «группы» СД – это позволяет использовать ТЗ, в которых надо воспринимать и запоминать ЯЦХ для совокупности светящихся объектов.

Недостатки: а) достаточно узкие возможности по математической обработке результатов тестирования непосредственно на АПК – это особенно касается совокупностей результатов ТЗ, выполненных различными испытуемыми. Однако при необходимости результаты можно записывать на флэш-карту для последующего анализа на ПЭВМ; б) в автономных АПК могут использоваться собственные дисплеи. К сожалению, наиболее распространенные (и дешевые) жидкокристаллические сегментные монохромные дисплеи позволяют представить 2 строчки по 16 символов. Этого достаточно для отображения указаний для испытуемого и результатов тестирования (особенно при использовании возможностей вертикальной «прокрутки» строк). Однако для отображения визуальных стимулов такие дисплеи практически не пригодны. В то же время использование в автономных АПК цветных графических дисплеев, позволяющих представлять формы и цвета объектов, малоэффективно. Причина: если такие устройства имеют невысокую стоимость, то они обладают весьма ограниченными размерами. Если же использовать в АПК дисплеи с размерами хотя бы 5” по диагонали, то это потребует применения значительно более мощных микропроцессоров, источников питания и пр. Более подробно конструкция и функциональные возможности автономного АПК представлены в следующем разделе.

9. Автономный АПК с подключением к ПЭВМ по USB-кабелю. Такое решение дает значительно более широкие возможности в следующих отношениях: по обработке результатов тестирований в сериях тестов одного испытуемого, а также по совокупности испытуемых (за заданные временные интервалы); по управлению режимами демонстрации стимулов на АПК; может быть даже реализована цепочка биологической обратной связи – с испытуемого на ПЭВМ (это позволит программно менять режимы тестирования с учетом изменений физиологического состояния испытуемых); нет необходимости использовать собственный аккумулятор АПК, так как питание заводится с ПЭВМ.

10. Автономный АПК с беспроводным подключением к ПЭВМ. По сравнению с вариантом 9 преимущество состоит в том, что с АПК удобнее производить различные манипуляции в пространстве, в том числе и различные вращения, наклоны и пр. В то же время в АПК необходимо иметь собственный аккумулятор.

Характеристика конструкции автономного АПК. Для определенности дальнейшего изложения опишем типичное техническое решение для АПК по пункту «8» и его особенности применительно к

реализации различных типов тестирования/тренинга. При этом за основу была взята конструкция, представленная авторами ранее [7, 8].

Будем считать, что АПК состоит из двух блоков: основного блока (ОБ), имеющего форму параллелепипеда и пульта управления (ПУ) испытуемого, который связан с ОБ по кабелю. Вертикальное положение ОБ можно менять с помощью подставок – для того, чтобы размещать RGB-СД (см. ниже) на уровне глаз испытуемых (рис. 2).

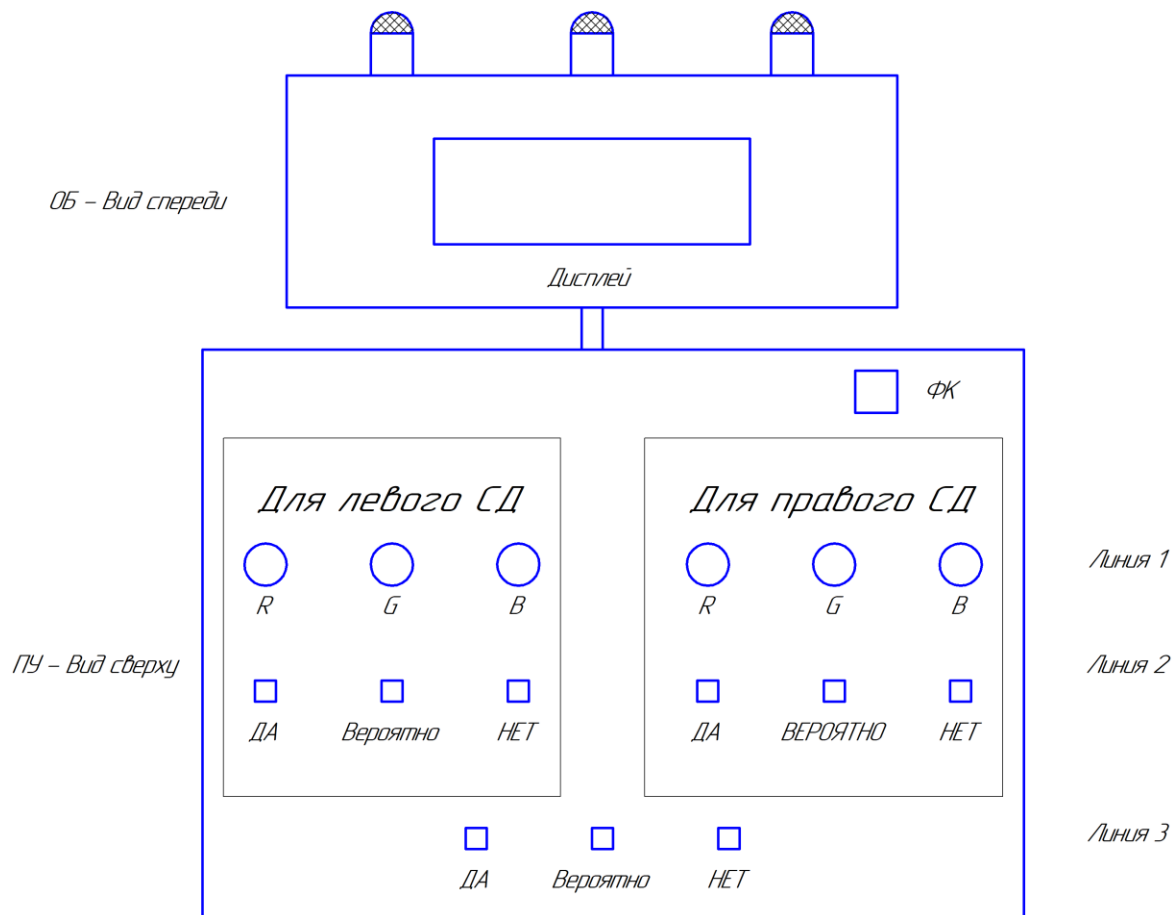


Рисунок 2 – Внешний вид основного блока и пульта управления испытуемого лица (маломощные белые СД, подсвечивающие органы регулирования и управления, на рисунке не показаны)

Основной блок. Внутри него размещено следующее. 1. Микроконтроллер (МК). Для определенности будем иметь в виду ArduinoMega – его преимущество – большое количество входов/выходов. 2. Динамик для вывода звуковых сигналов с разной тональностью, громкостью, количеством «звучаний». Однако в простейшем варианте может использоваться и «баззер», имеющий ограниченные возможности управления частотой сигналов. Цель использования динамика: сигнализация испытуемому о моментах начала и окончания выполнения ТЗ; об ошибочных действиях испытуемого при выполнении ТЗ; об окончании выполнения теста в целом.

В общем случае звуковые помехи при тестировании могут выводиться в следующих вариантах: с помощью динамика (или простейшего баззера); через стереонаушники, включая речевые команды испытуемому на выполнение неправильных действий. Для реализации последнего варианта могут использоваться либо записи «цифрового звука», либо компьютерный синтез речи на основе текста – это требует использования специальных программных средств. Питание АПК может осуществляться от собственного аккумулятора, однако возможно и получение питания от USB-порта ПЭВМ. Через этот же порт может проводиться загрузка программ в МК; передача на ПЭВМ информации с АПУ для углубленной статистической обработки (соответствует варианту «9», описанному выше).

Над верхней стенкой ОБ расположены **три** RGB-светодиода (СД): один посередине ширины ОБ; два – на равных расстояниях от него. Если использовать «симметрично раздвигаемые» СД, то их можно расположить на расстоянии, соответствующем межзрачковому. В то же время при необходимости прове-

дения исследований периферического зрения может использоваться дополнительная рейка большой длины, по которой симметрично относительно центра ОБ перемещаются два RGB-СД.

Кроме того, над ОБ могут размещаться дополнительные СД для задания визуальных помех.

На передней стенке ОБ размещено следующее: двухстрочный жидкокристаллический алфавитно-цифровой сегментный дисплей на 16 позиций; справа от него – два нажимных микропереключателя (НМП), предназначенных для «пролистывания» строчек на дисплее вверх и вниз. Дисплей предназначен для следующих целей: вывод указаний для испытуемого в текстовой форме; отображение текущих значений параметров, подобранных испытуемым в процессе выполнения ТЗ (в основном – при тренинге); вывод результатов по отдельным ТЗ; вывод сводок по тесту в целом. Подчеркнем, что при размерах текстов, превышающих 32 позиции (включая пробелы), может использоваться «бегущая строка» – возможно с двукратным повторением. Затем дисплей целесообразно очистить, чтобы не отвлекать внимания тестируемого динамическими объектами.

Над задней крышкой ОБ возможно вертикальное размещение (во фронтальной плоскости) цветных листов – для изменения фонов для RGB-СД, используемых при тестировании (см. далее).

В плоскости передней панели ОБ над его корпусом может размещаться частично прозрачный экран с нанесенными на него цветными объектами. Таким образом, RGB-СД размещаются между листом с фоном и частично прозрачным экраном (если один или оба таких объекта используются).

Над ОБ посередине его ширины в сагиттальной плоскости может устанавливаться вертикальная перегородка – для «отделения» изображений, видимых левым и правым глазами испытуемых.

Стереонаушники могут подключаться к МК через гнездо на боковой панели ОБ. Могут использоваться для передачи испытуемому звуковых команд, помех, создания некоторого звукового фона (например, музыки).

Пульт испытуемого – панель небольшой толщины. На ней по трем параллельным «линиям» размещены органы регулирования и управления (ОРИУ) (рис. 2).

Линия 1 – ближайшая к ОБ. На ней расположены две группы по три вращаемых переменных резистора (т.е. $2 \times 3 = 6$ резисторов). Они предназначены для плавного управления яркостями каждого из БЦ (Red, Green, Blue) на левом СД (ЛСД) – резисторы с 1 по 3-й; правом СД (ПСД) – резисторы с 4 по 6-й.

Линия 2 – находится дальше от ОБ, чем «линия 1». На ней расположены две группы по три НМП ($2 \times 3 = 6$ НМП). Они предназначены для раздельной фиксации по ЛСД и ПСД ответов испытуемых типов «Да», «Вероятно» (Может быть), «Нет». Использование ответов типа «Может быть» позволяет реализовать «нечеткую логику», которая в ряде случаев более точно соответствует учету мнений испытуемых.

Линия 3 – расположена наиболее далеко от ОБ. На ней примерно в центре по ее ширине размещены три НМП для фиксации ответов испытуемых типов «Да»; «Может быть» (в некоторых видах ТЗ – «Равно»); «Нет», которые не «привязаны» к ЛСД или ПСД. Это позволяет задавать в ТЗ вопросы на сравнение ЯЦХ двух СД. В этом случае использование «нечеткой логики» также является полезным.

В правом верхнем углу ПУ расположена исполнительная кнопка (ИК), которую испытуемый может нажимать для передачи на МК информации о завершении им каких-то действий (например, подбора ЯЦХ СД).

На ПУ около всех описанных ОРИУ размещены соответствующие надписи. Кроме того, предполагается возможность подсветки ОРИУ на ПУ с помощью маломощных белых СД – для «прямых» указаний испытуемому, какими ОРИУ он должен пользоваться (это упрощает для него выполнение ТЗ). В случае если один и тот же ОРИУ (например, НМП) используется для ввода различных типов ответов, то целесообразно разместить около него две надписи, причем для каждой из них использовать отдельный СД для подсветки. Отметим, что может применяться подсвечивание торца прозрачного элемента, на котором нанесена надпись (такое «указание» легче воспринимается испытуемым).

Задание режимов тестирования осуществляется на основе запросов, отображаемых на дисплее. При этом используются те же ОРИУ, которые описаны выше. Однако при этом их функциональность иная, чем непосредственно при тестировании/тренинге.

Преимущества использования описанного варианта АПК.

Используются регуляторы и кнопки, которые в явной форме ассоциируются у испытуемых с RGB-СД, применяемыми для задания стимулов. В то же время при реализации ТЗ на ПЭВМ придется использовать «экраные» кнопки и «вращаемые регуляторы», которые сложнее в практическом использовании и помимо этого они будут отвлекать внимание испытуемых.

Альтернативное решение – можно назначить отдельные клавиши стандартной клавиатуры ПЭВМ тем НМП, которые описаны для АПК выше. Вращаемые переменные резисторы можно имитировать с помощью пар клавиш – например, со стрелками. Однако это потребует от испытуемых запоминания назначения таких клавиш, что будет неудобно, по крайней мере, для разовых тестирований.

Общая характеристика особенностей реализации тестов и отдельных тестовых заданий. В дальнейшем тексте статьи примем следующее. 1. Каждый тест состоит из ТЗ, выполняемых последовательно. 2. В пределах теста при необходимости могут комбинироваться ТЗ разных типов. 3. Уровни слож-

ности отдельных ТЗ могут меняться по ходу теста – если предусмотрен адаптивный режим тестирования/тренинга. 4. Количество ТЗ в тесте также может при необходимости изменяться. 5. Время тестирования в целом, а также продолжительности ответов на отдельные ТЗ могут изменяться. 6. В ТЗ, относящихся к данному разделу, предполагается одновременное наблюдение испытуемым двух или трех RGB-СД.

Примем, что в каждом из ТЗ ЯЦХ свечения RGB-СД, управляемых с МК, могут задаваться так: из predetermined последовательности значений (детерминированный сценарий тестирования); случайным образом, но в установленных (заданных) пределах; адаптивно – с учетом результатов, полученных при тестировании по одному или нескольким предыдущим ТЗ. Кроме того, осуществляется контроль времени – по тесту в целом и по отдельным ТЗ.

В дальнейшем описании мы будем ориентироваться в основном на реализацию ТЗ с использованием АПК по пункту «9», описанном в предыдущем разделе. Необходимые отличия в реализации ТЗ с использованием других технических средств будут оговариваться особо.

Тестовые задания, направленные на определение точности восприятия и воспроизведения цвета.

Вариант 1а. Для автономного АПК левый и правый RGB-светодиоды подсвечиваются одинаковым БЦ (красным, зеленым или синим), но обязательно с разной яркостью. Перегородка над центром ОБ в сагиттальной плоскости не используется. На дисплее испытуемому задается вопрос «Какой СД горит ярче?». Ответом испытуемого является нажатие одного из четырех НМП на «линии 2» (они подсвечиваются, чтобы было понятно, что нужно нажимать). При этом испытуемый может выбрать в качестве «нечеткого» ответа НМП, соответствующие ЛСД или ПСД (соответственно 1-й или 6-й НМП при отсчете слева-направо), а в качестве нечеткого – 2-й или 5-й. Нажатие 3-го или 4-го НМП может трактоваться как ошибочное (их нецелесообразно подсвечивать).

Альтернативный вариант: с помощью одного из трех НМП, расположенных на 3-й линии, выбирать ЛСД, ПСД или указать «равенство» яркостей СД путем нажатия среднего НМП.

Время выбора ограничивается, причем оставшееся время на получение ответа от испытуемого (в секундах) может динамически отображаться на дисплее в порядке «обратного отсчета» (count down). Возможные категории ответов испытуемых: верный выбор ЛСД; ошибочный выбор ЛСД; верный выбор ПСД; ошибочный выбор ПСД; отсутствие ответа за заданное время; верный выбор «равенства яркостей»; неверный выбор равенства яркостей (последние два случая соответствуют «альтернативному варианту»). Вариант ТЗ «1а» может повторяться многократно для разных цветов и разных уровней «средней» (по двум СД) яркости светодиодов. Это позволит оценить «дифференцирующую способность» восприятия яркостей для разных цветов. Кроме того, раздельный учет ответов по правому и левому СД позволяет сделать определенные заключения о наличии «асимметрии» восприятия объектов, хотя в силу наличия саккад зрачков между ЛСД и ПСД для восприятия обоих светодиодов фактически используются оба глаза.

Вариант «1а» может быть реализован и на ПЭВМ, компьютерном планшете, ноутбуке и пр. Однако возможности проведения «яркостной калибровки» экранов (или корректировки яркостей отображаемых объектов с учетом особенностей экранов) в этом случае достаточно ограничены. Вместо трех линий ОРиУ на мониторах может отображаться только нужная линия элементов (плюс экранная ИК).

Вариант 1б. Аналог варианта 1а, но используется вертикальная перегородка в сагиттальной плоскости по центру ОБ. Это позволяет «разделить» восприятие СД левым и правым глазами.

Варианты 2а и 2б являются аналогами 1а и 1б. Однако вопрос на дисплее формулируется иначе «Левый СД горит ярче?» (или «Правый СД горит ярче?»). Ответами испытуемого являются нажатия любого из 1–3 НМП (если вопрос формулируется по ЛСД) или любого из 4–6 НМП (если вопрос формулируется по ПСД).

Вариант 3а. Сначала ЛСД и ПСД подсвечиваются одинаковым цветом с одинаковой яркостью. Затем яркость одного из СД начинает наращиваться – плавно или скачкообразно. Указание на дисплее «При появлении различий яркостей СД нажмите кнопку». Ответ испытуемого – нажатие НМП «Да» на «Линии 3». Как альтернатива может нажиматься кнопка «Вероятно» на линии 3. Это ТЗ также направлено на выявление «порога дифференциации» яркостей при неизменной цветности.

Вариант 3б. Аналог «3а», но с использованием вертикальной перегородки по центру ОБ в сагиттальной плоскости.

Вариант 4а. Аналог «3а», но яркость одного из СД начинает не наращиваться, а снижаться. Испытуемый должен обнаружить это различие и нажать НМП. Вариант «4б» отличается от «4а» использованием вертикальной перегородки над ОБ.

В совокупности пара вариантов «3а»–«4а» (или «3б»–«4б») позволяет выявить наличие некоторого «гистерезиса» восприятия порогов яркости в случаях «наращивания» яркости и ее «уменьшения».

Вариант 5а первоначально ЛСД и ПСД имеют разные яркости. Потом яркость более яркого СД начинает снижаться. Указание на дисплее «Когда яркости СД сравняются, нажмите кнопку». Ответ испытуемого: нажатие НМП «Да» на «Линии 3». Альтернатива – нажатие НМП, соответствующей «Может быть» на «Линии 3».

Варианты 6а–9а. Это аналоги вариантов 1а–4а, но используются не отдельные БЦ, а смешение двух БЦ (R-G; R-B; G-B) в равных пропорциях для ЛСД и ПСД. При этом для любых изменений яркостей СД пропорциональность яркостей БЦ сохраняется.

Варианты 10а–13а. Это аналоги вариантов 1а–4а, но используются не БЦ, а смешение трех цветов (R-G-B) в равных пропорциях для ЛСД и ПСД. При этом для любых изменений яркостей СД пропорциональность яркостей БЦ сохраняется.

Вариант 14. Целью является оценка цветоразличения испытуемых. Для обоих СД используется смесь двух БЦ с различной яркостью, но суммы яркостей (оцениваемые по сигналам подсветки с МП) для обоих СД одинаковы. Вопрос на дисплее: «Отличаются ли цвета СД?». Ответ: нажатие одного из МП на «Линии 3». В частности, может быть нажат и средний НМП, соответствующий «Может быть».

При реализации вариантов 1–14 на ПЭВМ, компьютерном планшете, смартфоне целесообразно отображать на экране только одну из «линий» с кнопками (2-ю или 3-ю) – это позволяет не использовать «подсветку» соответствующих экранных кнопок.

В нескольких последующих ТЗ предполагается подбор испытуемыми яркостей БЦ (R-G-B) с помощью переменных резисторов на «Линии 1» ПУ. Окончание подбора фиксируется нажатием ИК. При «перерасходе» испытуемым времени отведенного на ТЗ (т.е. если он не нажал исполнительную кнопку) принимаются те положения резисторов, которые имеют место в момент окончания времени. При реализации этих вариантов на ПЭВМ, компьютерном планшете, смартфоне придется реализовывать вращение «головок экранных резисторов» с помощью мыши (альтернатива – использование стрелок на клавиатуре, но с предварительным выбором вращаемого «экранного резистора» при помощи щелчка мышью).

Вариант 15а. ЛСД подсвечивается на основе сигнала, вырабатываемого МК. Эти характеристики свечения рассматриваются как «эталонные». Испытуемый должен для ПСД подобрать одинаковые (по сравнению с эталонными) ЯЦХ свечения – путем регулирования яркостей БЦ для ПСД. Оцениваемые показатели в одном ТЗ: точность подбора испытуемым яркостей по отдельным БЦ (абсолютная или относительная); интегральная характеристика отклонения подобранных яркостей БЦ от фактических ЯЦХ ЛСД; фактическая продолжительность выполнения ТЗ. Возможны и некоторые углубленные оценки информации по ТЗ – например, количество «переходов» через «эталонные яркости» для каждого из БЦ в процессе подбора. В варианте 15б для разделения «каналов восприятия» левым и правым глазом используется ширма в сагитальной плоскости над ОБ по его центру

Варианты 16а и 16б. В качестве эталона (его ЯЦХ управляет МП) используется ПСД, а для ЛСД испытуемым осуществляется подбор ЯЦХ.

Варианты 17а и 17б. Попеременное (в «шахматном порядке») или случайное выполнение ТЗ по вариантам 15 или 16.

Вариант 18. По сигналам с МК подсвечивается центральный СД. Испытуемый должен подобрать ЯЦХ свечения для ЛСД и ПСД (с использованием шести переменных резисторов на 1-й линии). Помимо показателей, приведенных для вариантов 15 и 16 (соответствуют ЛСД и ПСД «по отдельности»), появляются дополнительные: «рассогласование» подобранных испытуемым ЯЦХ для ЛСД и ПСД; различия в длительностях подбора ЯЦХ для ЛСД и ПСД и др. (эти различия можно оценить по моментам начала и конца изменения яркостей каждого из БЦ для ЛСД и ПСД).

Вариант 19. Задание на «мониторинг и подстройку цвета». Для ЛСД осуществляется непрерывное свечение, причем яркости по двум БЦ находятся на одном уровне, а яркость по третьему БЦ плавно изменяется в некоторые периоды времени вокруг того же уровня. Для ПСД яркости двух БЦ устанавливаются аналогичными ЛСД, а яркостью третьего БЦ (того, яркость которого меняется на ЛСД) испытуемый может управлять с помощью соответствующего переменного резистора.

При обнаружении испытуемым изменения ЯЦХ ЛСД испытуемый старается поддерживать аналогичную ЯЦХ для управляемого им БЦ на ПСД. При этом он может реагировать на изменения ЯЦХ ЛСД с запаздыванием, ошибочно обнаруживать изменения ЯЦХ; неточно воспроизводить на ПСД изменения ЯЦХ на ЛСД и пр.

Определяемые в ТЗ показатели: а) пороги реакции (пороги обнаружения) испытуемого на изменения яркости по каждому из БЦ. Они могут быть различны для процессов увеличения и уменьшения яркости, зависят от уровня яркости других двух БЦ и др.; б) доли ошибочных попыток изменения яркости ПСД при неизменной яркости ЛСД; в) среднеинтегральные значения для модулей различий изменяемых яркостей БЦ на ЛСД и ПСД – это показатель характеризует точность «сопровождения» испытуемым изменяемых ЯЦХ ЛСД.

Вариант 20. Аналог варианта 19, но МК управляет ПСД, а испытуемый – ЛСД.

Вариант 21. Аналог варианта 19, но МК управляет центральным RGB-СД, а испытуемый в режиме сопровождения устанавливает аналогичные ЯЦХ для ЛСД и ПСД. В этом случае появляются дополнительные показатели качества «сопровождения», связанные с рассогласованиями ЯЦХ ЛСД и ПСД.

Описанные варианты тестирования с некоторыми модификациями могут быть использованы и для тренинга. Эти модификации возможны в основном в следующих направлениях:

а) тренирующийся получает результаты выполнения каждого ТЗ сразу после его окончания. Это позволяет ему учесть допущенные недочеты и постараться их исправить на следующих ТЗ;

б) результаты подбора ЯЦХ СД высвечиваются на дисплее в процессе подбора в дискретные моменты времени. Это позволяет испытуемому скорректировать свои действия по подбору;

в) сложность ТЗ по ходу теста меняется – исходя из результатов, полученных в предыдущих заданиях (одном или большем количестве) и времени, фактически затраченного на их выполнение. Это позволяет динамически адаптировать сложность ТЗ к возможностям испытуемых лиц.

Методики оценки яркостно-цветовой памяти испытуемых. Наверное, наиболее известным вариантом тестирования цветовой памяти испытуемых является следующий. Перед испытуемым располагают несколько объектов одинаковой формы и размера, но разного цвета (для определенности будем иметь в виду совокупность кубиков с 8–12 цветами без текстур и рисунков). После демонстрации этих кубиков в течение определенного времени испытуемого просят отвернуться и затем переставляют все или часть кубиков в другом порядке. Затем совокупность кубиков с измененной последовательностью демонстрируют испытуемому и просят восстановить их правильный (прежний) порядок. Оценка осуществляется исходя из количества допущенных ошибок в размещении кубиков. Автоматизация обработки результатов этого теста возможна путем размещения кубиков на площадках, способных «различать» коды, расположенные на одной из сторон кубиков. Например, это могут быть токопроводящие контактные площадки или магнитные прямоугольники (при наличии на «рабочей» стороне кубика направляющего ключа, который обеспечивает размещение кубика определенным образом). Описанный тест можно реализовать и на ПЭВМ, причем для перемещения объектов можно использовать технологии типа Drag and Drop.

Однако в указанном тесте не предусмотрены возможности подбора цветов отдельных объектов, что снижает его функциональные возможности. Впрочем, этот недостаток можно уменьшить, если испытуемому демонстрировать 10–12 кубиков, а затем предложить ему выбирать подходящие кубики из набора, содержащего 40–50 кубиков с разными цветовыми оттенками.

С целью обеспечения «функциональной полноты тестирования» ниже описываются иные подходы. В них управление визуальными стимулами производится путем изменения ЯЦХ свечения светодиодов, а получение ответов от испытуемых осуществляется позже прекращения воздействия стимула. Поэтому испытуемый должен запомнить и удержать в кратковременной памяти ЯЦХ стимулов (на период паузы), а затем воспроизвести их по памяти. Ответ испытуемого: «нажатие одного из НМП, затем ИК» или «подбор ЯЦХ управляемого им СД, затем также нажатие ИК».

Управление сложностью ТЗ, рассматриваемых в данном разделе, может обеспечиваться за счет следующих решений: а) использования для подсветки СД только одного БЦ; смеси двух БЦ с различными яркостями; смеси трех БЦ с различными яркостями; б) изменения длительности подсветки СД при воспроизведении стимула; в) изменения длительности паузы между окончанием времени воспроизведения стимула и началом подбора (выбора) испытуемым ответов; в) наличием и интенсивностью помех, задаваемых в период воспроизведения стимула, паузы и во время выбора ответа испытуемыми; г) ограничением времени на выбор (подбор) ответа испытуемым.

Вариант 22. На определенное время подсвечивается ЛСД с выбранными ЯЦХ (взятыми из детерминированного сценария тестирования или определенными случайным образом в заданном диапазоне значений). Затем делается пауза. Далее испытуемый должен за период времени, не превышающий заданный, установить ЯЦХ того же ЛСД, аналогичные тому, которые были в воспроизведенном стимуле. При обработке результатов целесообразно учитывать следующее: отклонения (с учетом знаков) по каждому БЦ для подобранных испытуемым ЯЦХ ЛСД от того, что было задано в стимуле; длительность свечения стимула (эта длительность может влиять на точность восприятия и качество запоминания ЯЦХ); количества «реверсов» при вращении переменных резисторов в процессе подбора ЯЦХ; длительность паузы между заданием стимула и началом подбора ответа испытуемым; наличие и интенсивность помех во время паузы, характер таких помех (визуальный, звуковой и пр.).

Вариант 23. Аналог 22, но подсвечивается ПСД и затем ЯЦХ подбираются именно для него.

Вариант 24. Варианты 22 и 23 используются либо в «шахматном порядке», либо со случайным выбором последовательности.

Вариант 25. Аналог 22, но подсвечивается центральный СД, затем делается пауза. Потом испытуемый должен подобрать ЯЦХ центрального СД, ЛСД или ПСД.

Вариант 26. Аналог 22, но одновременно подсвечиваются ЛСД и ПСД с разными ЯЦХ. Затем делается пауза, после которой испытуемый должен подобрать ЯЦХ обоих СД.

Вариант 27. Аналог 25, но подсветка ЛСД и ПСД осуществляется раздельно по времени (без паузы по времени между ними).

Вариант 28. Для ЛСД (или ПСД) производится несколько периодов свечения СД (с равными промежутками по времени, но с разными ЯЦХ свечения) – в типичных случаях, от 2-х до 4-х. Испытуемый должен запомнить эти ЯЦХ и последовательно воспроизвести их на том же ЛСД (или ПСД). Таким

образом, в данном ТЗ он должен будет нажимать исполнительную кнопку несколько раз (по числу периодов свечения СД).

Вариант 29. На центральном СД воспроизводится четное количество периодов свечения СД (с равными промежутками по времени, но с разными ЯЦХ свечения) – 2, 4 или 6. После паузы по времени испытуемый должен запомнить им ЯЦХ для нечетных периодов воспроизводить (последовательно) на ЛСД, а для четных периодов – на правом. Это задание более сложное, чем предыдущее – в силу необходимости не только хранения ЯЦХ в памяти, но и некоторого манипулирования ими.

Вариант 30. На центральном СД воспроизводится стимул с плавно изменяющейся в процессе свечения ЯЦХ светодиода. Испытуемый должен запомнить начальную и конечную ЯЦХ свечения, а затем воспроизвести их. Поскольку заранее испытуемый не знает длительности свечения, то он должен удерживать в памяти не только начальную ЯЦХ, но и текущую. После паузы испытуемый должен на ЛСД воспроизвести начальную ЯЦХ, а на ПСД – конечную. Обработка ответов в отношении точности воспроизведения цвета предполагается раздельная для «начального» и «конечного» ЯЦХ. Таким образом, можно выявить некоторые различия в отношении качества их запоминания.

В отношении тренинга испытуемых (развития их яркостно-цветовой памяти) можно сделать те же замечания, что и в предыдущем разделе.

Накопление результатов тестирования и их последующая обработка. Как уже отмечалось ранее, при использовании автономных АПК возможности накопления и углубленного анализа данных являются достаточно ограниченными. Передача данных с таких АПК на ПЭВМ позволяет обеспечить возможности анализа, по крайней мере, в следующих направлениях.

1. По одному испытуемому для совокупности ТЗ в пределах одного теста. При этом могут быть выявлены следующие три периода: «врабатывания» – когда показатели по ТЗ постепенно улучшаются; стабилизации – показатели примерно одинаковы; утомления – показатели ухудшаются. Выявление момента начала периода утомления (при отсутствии помех и их наличии) особенно важно для оценки профессиональных качеств операторов человеко-машинных систем.

2. По одному испытуемому для совокупности тестов, пройденных в разное время. При этом целями могут быть следующие: оценка результатов проведения тренингов цветовосприятия или цветовой памяти; определение динамики улучшения состояния пациентов после заболеваний или травм; оценка изменений результатов тестирования до начала и после окончания смены.

3. Результаты могут оцениваться также для совокупностей (групп) испытуемых, результаты по тестированиям которых хранятся в базе данных специальной информационной системы. Эти группы могут выбираться по определенным критериям, причем разным для разных целей. В частности, могут решаться такие задачи: определение средних значений и показателей вариации для результатов тестирований в выбранных группах; оценки статистической значимости различий результатов тестирований для «выборки с попарно не связанными вариантами» и пр.

Выводы. 1. Задачи оценки точности восприятия цветовых и ЯЦХ объектов могут быть важны для многих профессий, а также в бытовой деятельности. 2. Оценки цветовой памяти испытуемых могут быть важны для определения профессиональной пригодности персонала; для оценки психофизиологического состояния операторов человеко-машинных систем; для оценки результатов лечения заболеваний; протекания процессов реабилитации после заболеваний и травм. 3. Для оценки характеристик восприятия ЯЦХ объектов и цветовой памяти испытуемых могут быть использованы различные технические средства, включая ПЭВМ, компьютерные планшеты, смартфоны, полностью автономные АПК; АПК, работающие в комбинации с ПЭВМ. 4. Предложенные в данной статье варианты ТЗ дают возможность расширить функциональные возможности тестирования цветовосприятия и цветовой памяти испытуемых. 5. Описанные в данной статье варианты тестирования могут быть реализованы не только на АПК, но и на других технических средствах, включая ПЭВМ. 5. При этом использование смартфонов и компьютерных планшетов может дать следующие преимущества: применение всегда актуальной базы ТЗ и методов тестирования, размещенных на сервере разработчика; возможности централизованного накопления результатов (вероятно с полной или частичной анонимизацией пользователей) и анализа данных для больших групп тестируемых лиц; более широкие возможности тренинга в периоды времени, которые неудобно использовать для других целей (например, при поездках на транспорте, а также в периоды кратковременного отдыха – как альтернатива несложным «компьютерным играм»).

Библиографический список

1. Патент на полезную модель RUS 82107. Устройство для диагностики цветоощущений / Э. А. И. Айду, К. В. Голубцов, В. В. Максимов, В. Г. Трунов. – 10.12.2008.
2. Арискина К. А. Качественная и количественная оценки цвета керамических материалов / К. А. Арискина, Р. А. Арискина, А. Г. Николаев, А. М. Салахов // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 5. – С. 20–22.
3. Архипов О. П. Многокритериальный выбор тестового множества при исследовании цветовосприятия / О. П. Архипов, З. П. Зыкова // Информационные технологии. – 2011. – № 2. – С. 67–73.

4. Бавбеков Р. И. Цветовые характеристики и использование цвета в интерьере / Р. И. Бавбеков // Инновации в науке. – 2016. – № 7 (56). – С. 17–21.
5. Бакуткин В. В. Объективное исследование цветовосприятия в гигиене труда / В. В. Бакуткин, В. А. Зеленов, И. В. Бакуткин // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 17.
6. Брумштейн Ю. М. Методы исследования дифференцирующей способности зрительного аппарата человека в отношении восприятия яркостей объектов / Ю. М. Брумштейн, Т. Х. Куаншкалиев, Л. Ш. Рамазанова, А. Е. Бамбышева // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2015 : матер. Всерос. школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. – Саратов : Саратовский источник, 2016. – С. 205–207.
7. Брумштейн Ю. М. Аппаратно-программные решения для исследования точности восприятия и запоминания человеком яркостно-цветовых характеристик светящихся объектов / Ю. М. Брумштейн, Т. Х. Куаншкалиев, Д. А. Молимонов, Л. Ш. Рамазанова // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине / под ред. проф. Д. А. Усанова. – Саратов : Саратовский источник, 2017. – С. 77–80.
8. Брумштейн Ю. М. Цветовая память испытуемых: анализ методик исследований и способов обработки результатов / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Молимонов // Математические методы в технике и технологиях. – 2018. – Т. 5. – С. 72–76.
9. Веретов Л. А. Экспертная методика оценки цветообразования для пищевых добавок и мясных продуктов / Л. А. Веретов // Мясная индустрия. – 2013. – № 3. – С. 32–35.
10. Веркина К. О. Психологическое воздействие цвета на человека в решении внутреннего архитектурного пространства / К. О. Веркина // Центральный научный вестник. – 2019. – Т. 4, № 3 (68). – С. 25–26.
11. Вишняков А. В. Оценка влияния изменения эксплуатационных показателей моторного масла на его цвет / А. В. Вишняков, Л. А. Бердников // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса : материалы 5-й Международной научно-практической интернет-конференции / под общ. ред. А. Н. Новикова. – 2016. – С. 8–14.
12. Володина С. Ю. К вопросу о восприятии цвета человеком / С. Ю. Володина, Л. А. Пятко, И. Ф. Шарagina // Современная наука: актуальные проблемы и перспективы развития : материалы и доклады Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 321–327.
13. Высоцкая Т. А. Цветовосприятие и цветоощущение : учебное пособие / Т. А. Высоцкая, С. Ю. Дегтярева ; Забайкальский гос. гуманитарно-пед. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. – Чита, 2006.
14. Гвоздев С. М. Метрологическая оценка световой среды на основе фотометрического контроля и диагностики восприятия визуальной информации оператора / С. М. Гвоздев, К. С. Маков, В. А. Сторожева // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2008. – Т. 42, № 6-1. – С. 48–50.
15. Данилова М. В. Цветовые категории и цветоразличение / М. В. Данилова, Д. Д. Моллон // Экспериментальная психология. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 39–56.
16. Жаринов И. О. Оценка меры различия цветов и оттенков в цветовых пространствах, применяемых в авионике / И. О. Жаринов, О. О. Жаринов, А. В. Шукалов, П. П. Парамонов // Молодёжь и современные информационные технологии : сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. – С. 251–252.
17. Капцов В. А. Восприятие цвета при светодиодном освещении – риски здоровью / В. А. Капцов, В. Н. Дейнего // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 2. – С. 16–25.
18. Квасников А. А. Комплексный подход к оценке цвета новых варёных колбас «Мальва» і «Лиановская» / А. А. Квасников, Л. В. Молоканова // Товарознавчий вісник. – 2012. – № 5. – С. 271–276.
19. Квашук А. Н. Количественная оценка цветовых характеристик шкурки норки цветового типа сапфир / А. Н. Квашук // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 18. – С. 161–166.
20. Кожина А. И. Основы теории и практика использования количественной оценки показателей цвета в меховом производстве / А. И. Кожина, А. И. Сапожникова, А. С. Окутин // Дизайн и технологии. – 2018. – № 64 (106). – С. 23–30.
21. Козырев И. В. Исследование цветовых характеристик мышечной и жировой тканей и мраморности говядины / А. И. Кожина, А. И. Сапожникова, А. С. Окутин // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. – 2017. – Т. 11, № 11. – С. 128–131.
22. Кузнецова С. О. Особенности искажения цветовосприятия при депрессивных расстройствах / С. О. Кузнецова, С. Е. Строгова // Актуальные вопросы современной науки : сборник статей по материалам XVII Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2018. – С. 142–145.
23. Леонова А. Ю. Влияние фонового окружения на восприятие и различные яркости и цвета у человека : дис. ... канд. биол. наук / А. Ю. Леонова. – Москва, 2000.
24. Мигалина И. В. О критериях оценки цвета в архитектуре / И. В. Мигалина // Наука, образование и экспериментальное проектирование : материалы Международной научно-практической конференции. – 2012. – С. 412–413.
25. Миронова М. В. Экспериментальные исследования на предмет цветовосприятия / М. В. Миронова // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2010. – № 48. – С. 176–182.
26. Никоноров А. В. Применение принципа согласованности оценок в задаче идентификации моделей цветовоспроизведения / А. В. Никоноров, С. Б. Попов, В. А. Фурсов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2002. – Т. 4, № 1. – С. 159–164.
27. Перегуда С. Н. Нейропсихологическое исследование факторов восприятия цвета при алкогольной зависимости / С. Н. Перегуда // Коллекция гуманитарных исследований. – 2016. – № 3 (3). – С. 77–91.
28. Рослякова Е. М. Психофизиологический статус студентов в зависимости от цветовосприятия / Е. М. Рослякова, А. Г. Бисерова, А. С. Игибаева, Н. С. Байжанова, А. С. Алипбекова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-8. – С. 1529–1532.
29. Седова Ю. А. Восприятие цвета в архитектуре / Ю. А. Седова, У. Урнухбаяр // Символ науки. – 2018. – № 5. – С. 154–156.

30. Сердюкова М. В. Развитие способности цветовосприятия у учащихся общеобразовательной школы / М. В. Сердюкова // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Психологические науки. – 2008. – № 4. – С. 79–86.
31. Сидорчук Д. С. Комплексирование радиолокационных изображений и оптических снимков в видимом и тепловом диапазонах с учетом различий в восприятии яркости и цветности / Д. С. Сидорчук, В. В. Волков // Сенсорные системы. – 2018. – Т. 32, № 1. – С. 14–18.
32. Толмачев В. С. Анализ методов определения показателя цвета льняного сырья / В. С. Толмачев, Т. О. Кузьмина // Товарознавчий вісник. – 2011. – № 3. – С. 310–319.
33. Учаев Д. Ю. Анализ и управление рисками, связанными с информационным обеспечением человеко-машинных АСУ технологическими процессами в реальном времени / Д. Ю. Учаев, Ю. М. Брумштейн, И. М. Ажмухадеев, О. М. Князева, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 2 (34). – С. 82–97.
34. Хорунжий М. Д. Метод количественной оценки цветов различий при восприятии цифровых изображений / М. Д. Хорунжий // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2008. – Т. 6, № 1. – С. 81–89.
35. Шидловская В. П. Цвет молока и молочных продуктов и его роль в оценке их качества / В. П. Шидловская // Переработка молока. – 2010. – № 1 (123). – С. 60–61.
36. Юстова Е. Н. История развития и современное состояние цветовых измерений / Е. Н. Юстова // Мир измерений. – 2009. – № 12. – С. 6–12.
37. Kornaga V. I. Research of visual perception by the eye of man of brightness of permanent and impulsive light signal of light-emitting diodes / V. I. Kornaga, A. V. Rybalochka, V. M. Sorokin // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – № 1 (27). – С. 81–87.

References

1. Aydu E. A. I., Golubtsov K. V., Maksimov V. V., Trunov V. G. *Ustroystvo dlya diagnostiki tsvetooshchushcheniy Patent na poleznuyu model* [The device for diagnostics of color sensations. The Patent for the useful model]. *RUS 82107*, 10.12.2008.
2. Ariskina K. A., Ariskina R. A., Nikolaev A. G., Salakhov A. M. *Kachestvennaya i kolichestvennaya otsenki tsveta keramicheskikh materialov* [Qualitative and quantitative estimates of color of ceramic materials]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2017, vol. 20, no. 5, pp. 20–22.
3. Arkhipov O. P., Zykhova Z. P. *Mnogokriterialnyy vybor testovogo mnozhestva pri issledovanii tsvetovospriyatiya* [The multicriteria choice of a test set at a color perception research]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2011, no. 2, pp. 67–73.
4. Bavbekov R. I. *Tsvetovyye kharakteristiki i ispolzovanie tsveta v interere* [Color responses and use of color in an interior]. *Innovatsii v nauke* [Innovations in Science], 2016, no. 7 (56), pp. 17–21.
5. Bakutkin V. V., Zelenov V. A., Bakutkin I. V. *Obektivnoe issledovanie tsvetovospriyatiya v gigiene truda* [An objective research of color perception in occupational health]. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Medicine of Work and Industrial Ecology], 2017, no. 9, pp. 17.
6. Brumshteyn Yu. M., Kuanshkaliev T. Kh., Ramazanova L. Sh., Bambysheva A. Ye. *Metody issledovaniya differentsiruyushchey sposobnosti zritel'nogo apparata cheloveka v otnoshenii vospriyatiya yarkostey obektov* [Methods of a research of the differentiating ability of the visual device of the person concerning perception of brightness of objects]. *Metody kompyuternoy diagnostiki v biologii i meditsine – 2015 : materialy Vserossiyskoy shkoly-seminara* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine – 2015 : Proceedings of the All-Russian school-seminar]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2016, pp. 205–207.
7. Brumshteyn Yu. M., Kuanshkaliev T. Kh., Molimonov D. A., Ramazanova L. Sh. *Apparatno-programmnye resheniya dlya issledovaniya tochnosti vospriyatiya i zapominaniya chelovekom yarkostno-tsvetovykh kharakteristik svetyashchikhsya obektov* [Hardware and software solutions for a research of accuracy of perception and storing by the person of brightness color responses of the shining objects]. *Metody kompyuternoy diagnostiki v biologii i meditsine* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2017, pp. 77–80.
8. Brumshteyn Yu. M., Molimonov D. A. *Tsvetovaya pamyat ispytuemykh: analiz metodik issledovaniy i sposobov obrabotki rezultatov* [Color memory of examinees: the analysis of techniques of researches and ways of processing of results]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh* [Mathematical methods in the equipment and technologies], 2018, vol. 5, pp. 72–76.
9. Veretov L. A. *Ekspertnaya metodika otsenki tsvetobrazovaniya dlya pishchevykh dobavok i myasnykh produktov* [An expert technique of assessment of a tsvetobrazovaniye for nutritional supplements and meat products]. *Myasnaya industriya* [Meat Industry], 2013, no. 3, pp. 32–35.
10. Verkina K. O. *Psikhologicheskoe vozdeystvie tsveta na cheloveka v reshenii vnutrennego arkhitekturnogo prostanstva* [Psychological impact of color on the person in a solution of internal architectural space]. *Tsentrallyy nauchnyy vestnik* [The Central Scientific Bulletin], 2019, vol. 4, no. 3 (68), pp. 25–26.
11. Vishnyakov A. V., Berdnikov L. A. *Otsenka vliyaniya izmeneniya ekspluatatsionnykh pokazateley motornogo masla na ego tsvet* [Impact assessment of change of operational indicators of engine oil on its color]. *Aktualnye voprosy innovatsionnogo razvitiya transportnogo kompleksa : materialy 5-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii* [Topical issues of the innovative development of a transport complex : Materials of the 5-th International Scientific and Practical Internet Conference], 2016, pp. 8–14.
12. Volodina S. Yu., Pyatko L. A., Sharagina I. F. *K voprosu o vospriyatii tsveta chelovekom* [To a question of perception of color by the person]. *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy i perspektivy razvitiya : Materialy i doklady*

Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Modern science: current problems and perspectives of development : Materials and Reports of the International Scientific and Practical Conference], 2018, pp. 321–327.

13. Vysotskaya T. A., Degtyareva S. Yu. *Tsvetovospriyatie i tsvetooshchushchenie* [Color perception and color sensation]. Chita, 2006.

14. Gvozdev S. M., Makov K. S., Storozheva V. A. *Metrologicheskaya otsenka svetovoy sredy na osnove fotometricheskogo kontrolya i diagnostiki vospriyatiya vizualnoy informatsii operatora* [Metrological assessment of the light environment on the basis of photometric control and diagnostics of the operator's visual information perception]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina* [Aerospace and Environmental Medicine], 2008, vol. 42, no. 6-1, pp. 48–50.

15. Danilova M. V., Mollon D. D. *Tsvetovye kategorii i tsvetorazlichenie* [Color categories and color discrimination]. *Eksperimentalnaya psikhologiya* [Experimental psychology], 2010, vol. 3, no. 3, pp. 39–56.

16. Zharinov I. O., Zharinov O. O., Shukalov A. V., Paramonov P. P. *Otsenka mery razlichiya tsvetov i ottenkov v tsvetovykh prostranstvakh, primenyaemykh v avionike* [Assessment of a measure of distinction of flowers and shades in the color spaces applied in avionics]. *Molodezh i sovremennye informatsionnye tekhnologii : sbornik trudov XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Youth and modern information technologies : Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists]. Tomsk, National Research Tomsk Polytechnic University, 2014, pp. 251–252.

17. Kaptsov V. A., Deynogo V. N. *Vospriyatie tsвета pri svetodiodnom osveshchenii – riski zdorovyu* [Perception of color at LED lighting – risks to health]. *Analiz riska zdorovyu* [Risk Analysis to Health], 2017, no. 2, pp. 16–25.

18. Kvasnikov A. A., Molokanova L. V. *Kompleksnyy podkhod k otsenke tsвета novykh varenykh kolbas "Malva" i "Lianovskaya"* [An integrated approach to assessment of color of the new Hollyhock boiled sausages i Lianovskaya]. *Tovarovoznavchiy visnik* [Tradable Bulletin], 2012, no. 5, pp. 271–276.

19. Kvashuk A. N. *Kolichestvennaya otsenka tsvetovykh kharakteristik shkurok norki tsvetovogo tipa sapfir* [Quantitative assessment of color responses of skins of a mink of color type sapphire]. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike* [Technical science – from the theory to practice], 2013, no. 18, pp. 161–166.

20. Kozhina A. I., Sapozhnikova A. I., Okutin A. S. *Osnovy teorii i praktika ispolzovaniya kolichestvennoy otsenki pokazatelya tsвета v mekhovom proizvodstve* [Bases of the theory and practice of use of quantitative assessment of indicators of color in fur production]. *Dizayn i tekhnologii* [Design and Technologies], 2018, no. 64 (106), pp. 23–30.

21. Kozyrev I. V. *Issledovanie tsvetovykh kharakteristik myshechnoy i zhirovoy tkaney i mramornosti govyadiny* [Research of color responses of muscular and fatty fabrics and mramornost of beef]. *Aktualnye voprosy pererabotki myasnogo i molochnogo syrya* [Topical issues of processing of meat and dairy raw materials], 2017, vol. 11, no. 11, pp. 128–131.

22. Kuznetsova S. O., Strogova S. Ye. *Osobennosti iskazheniya tsvetovospriyatiya pri depressivnykh rasstroystvakh* [Features of distortion of color perception at depressive frustration]. *Aktualnye voprosy sovremennoy nauki : sbornik statey po materialam XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Topical issues of modern science : Collection of Articles on Materials of the XVII International Scientific and Practical Conference]. Ufa, 2018, pp. 142–145.

23. Leonova A. Yu. *Vliyaniye fonovogo okruzeniya na vospriyatie i razlichnye yarkosti i tsвета u cheloveka* [Influence of a background environment on perception and different brightness and colors at the person]. Moscow, 2000.

24. Migalina I. V. *O kriteriyakh otsenki tsвета v arkhitekture* [About criteria for evaluation of color in architecture]. *Nauka, obrazovanie i eksperimentalnoe proektirovaniye : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science, education and experimental design : Materials of the International Scientific and Practical Conference], 2012, pp. 412–413.

25. Mironova M. V. *Eksperimentalnye issledovaniya na predmet tsvetovospriyatiya* [Pilot studies regarding color perception]. *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye nauki* [The Bulletin of the Amur State University. Series: Humanities], 2010, no. 48, pp. 176–182.

26. Nikonorov A. V., Popov C. B., Fursov V. A. *Primeneniye printsipa soglasovannosti otsenok v zadache identifikatsii modeley tsvetovospriyatiya* [Use of the principle of coherence of estimates in a problem of identification of models of color reproduction]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2002, vol. 4, no. 1, pp. 159–164.

27. Pereguda S. N. *Neyropsikhologicheskoe issledovanie faktorov vospriyatiya tsвета pri alkogolnoy zavisimosti* [A neuropsychological research of factors of perception of color at alcohol addiction]. *Kollektsiya humanitarnykh issledovaniy* [Collection of Humanitarian Researches], 2016, no. 3 (3), pp. 77–91.

28. Roslyakova Ye. M., Biserova A. G., Igibaeva A. S., Bayzhanova N. S., Alipbekova A. S. *Psikhofiziologicheskiy status studentov v zavisimosti ot tsvetovospriyatiya* [The psychophysiological status of students depending on color perception]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* [The International Journal of Application and Basic Researches], 2015, no. 12-8, pp. 1529–1532.

29. Sedova Yu. A., Urnukhbayar U. *Vospriyatie tsвета v arkhitekture* [Perception of color in architecture]. *Simvol nauki* [Symbol of Science], 2018, no. 5, pp. 154–156.

30. Serdyukova M. V. *Razvitiye sposobnosti tsvetovospriyatiya u uchashchikhsya obshcheobrazovatelnoy shkoly* [Development of ability of color perception in pupils of comprehensive school]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Psikhologicheskie nauki* [Bulletin of the Moscow state regional university. Series: Psychological sciences], 2008, no. 4, pp. 79–86.

31. Sidorchuk D. S., Volkov V. V. *Kompleksirovaniye radiolokatsionnykh izobrazheniy i opticheskikh snimkov v vidimom i teplovom diapazonakh s uchetom razlichiy v vospriyatii yarkosti i tsvetnosti* [Integration of radar images and optical pictures in the visible and thermal ranges taking into account differences in luminance perception and chromaticity]. *Sensornyye sistemy* [Sensor Systems], 2018, vol. 32, no. 1, pp. 14–18.

32. Tolmachev V. S., Kuzmina T. O. *Analiz metodov opredeleniya pokazatelya tsвета lnyanogo syrya* [Analysis of methods of definition of an indicator of color of linen raw materials]. *Tovarovoznavchiy visnik* [Tradable Bulletin], 2011, no. 3, pp. 310–319.

33. Uchaev D. Yu., Brumshteyn Yu. M., Azhmukhadedov I. M., Knyazeva O. M., Dyudikov I. A. Analiz i upravlenie riskami, svyazannymi s informatsionnym obespecheniem cheloveko-mashinnykh ASU tekhnologicheskimi protsessami v realnom vremeni [The analysis and risk management for the technological processes, connected with information support of human-machine ACS in real time]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 2 (34), pp. 82–97.

34. Khorunzhiy M. D. Metod kolichestvennoy otsenki tsvetov razlichiy pri vospriyatii tsifrovyykh izobrazheniy [A method of quantitative assessment of flowers of distinctions at perception of digital images]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii* [The Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Information technologies], 2008, vol. 6, no. 1, pp. 81–89.

35. Shidlovskaya V. P. Tsvet moloka i molochnykh produktov i ego rol v otsenke ikh kachestva [Color of milk and dairy products and its role in assessment of their quality]. *Pererabotka moloka* [Processing of Milk], 2010, no. 1 (123), pp. 60–61.

36. Yustova Ye. N. Istoriya razvitiya i sovremennoe sostoyanie tsvetovykh izmereniy [History of development and current state of color measurements]. *Mir izmereniy* [World of Measurements], 2009, no. 12, pp. 6–12.

37. Kornaga V. I., Rybalochka A. V., Sorokin V. M. Research of visual perception by the eye of man of brightness of permanent and impulsive light signal of light-emitting diodes. *Optiko-elektronni informatsiyno-energetichni tekhnologii* [Optical-Electronic Information-Energy Technologies], 2014, no. 1 (27), pp. 81–87.

ПАМЯТИ ДМИТРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА УСАНОВА



Редакционная коллегия издания «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии» с глубоким прискорбием сообщает, что 5 июня 2019 г. на 76-м году жизни скоропостижно скончался член редколлегии журнала, заведующий кафедрой физики твердого тела Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заслуженный изобретатель Российской Федерации Дмитрий Александрович Усанов.

С 1960 г. жизнь, научная и учебная деятельность Д.А. Усанова была связана с Саратовским университетом. Дмитрий Александрович является автором более 400 опубликованных научных работ и около 200 изобретений, под его руководством защитили диссертации десятки кандидатов и докторов наук.

С 1989 по 2000 г. и с 2003 по 2013 г. он занимал должность проректора Саратовского университета по научно-исследовательской работе.

Особо отметим участие Д.А. Усанова в подготовке и проведении ежегодных Всероссийских школ-семинаров «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине», других научных мероприятий.

Дмитрий Александрович был отличным оратором, жизнерадостным, доброжелательным, внимательным к людям человеком, заинтересованным собеседником, всегда готовым обсуждать актуальные научные темы, давать конструктивные замечания и советы – особенно молодым исследователям.

Д.А. Усанов хорошо знал не только свою профессиональную область исследований, но и классическую литературу; имел звание мастера спорта СССР по гребле на байдарках и каноэ.

Редакция журнала «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии» выражает свои соболезнования семье покойного, его коллегам по работе.

ИНФОРМАЦИЯ О ПРЕДСТОЯЩИХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ

Приведена информация о предстоящих научных мероприятиях: Conference CIT&DS 2019 **Creativity in Intelligent Technologies & Data Science**. Volgograd, Russia, September 16–19, 2019; Международная научная конференция «**Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-32**» (июнь-ноябрь 2019 г., Санкт-Петербург, Саратов, Минск); молодежная школа-конференция «**Информационные технологии и моделирование процессов в фундаментальных и прикладных исследованиях**» 13–15 ноября 2019 г., г. Астрахань, АГАСУ; Ежегодная Всероссийская научная школа-семинар «**Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине**» (г. Саратов, 1–15.11.2019); YSIP-2019 Международная молодежная школа «**Тенденции развития информационных технологий**».

Ключевые слова: научные мероприятия, тематика, направления, объявления, информационные технологии

1. **Third Conference CIT&DS 2019 Creativity in Intelligent Technologies & Data Science**. Volgograd, Russia, September 16–19, 2019. Main topics of the conference: 1. Artificial intelligence & Deep Learning Technologies for Creative tasks. 2. Cyber-Physical Systems & Big Data-driven world. 3. Intelligent Technologies in Social Engineering. Contributions are solicited for the following categories: full research papers describing research accomplishments (approximately 5000 words, 10–12 pages in the LNCS/CCIS onecolumn page format) <http://www.springer.com/computer/lncs?SGWID=0-164-6-793341-0>, demonstrations and short communications; proposals for workshops, tutorials and panels. Submission of full papers deadline: April 14, 2019. Early-bird fee: for partion: €250.00 until July 10, 2019. Site: <http://citds2019.ru/>

2. XXXII Международная научная конференция «**Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-32**». 3–7 июня 2019 г., Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Россия; 21–25 октября 2019 г., Белорусский национальный технический университет (БНТУ), Минск, Беларусь; 30 октября – 1 ноября 2019 г., Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия.

3. III Международная молодежная школа-конференция «**Информационные технологии и моделирование процессов в фундаментальных и прикладных исследованиях**». 13–15 ноября 2019 г., г. Астрахань, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет.

Основные направления. «Информационные технологии в фундаментальных и прикладных исследованиях», «Моделирование процессов автоматизации в производственной и научно-технической отрасли». По результатам конференции будет выпущен сборник трудов, который будет индексироваться в РИНЦ. Участие в конференции БЕСПЛАТНОЕ. Лучшие доклады на английском языке могут быть опубликованы в сборнике трудов, который будет подан для индексации в Скопус. Сайт школы-конференции: <http://school2019.asuace.ru/>

4. **Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине** – Ежегодная Всероссийская научная школа-семинар (г. Саратов, 14–15 ноября 2019 г., на базе Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского). Секции. 1. Оборудование для биологии и медицины. 2. Моделирование биофизических явлений. 3. Обработка сигналов и изображений, научное программное обеспечение. 4. Материалы для биологии и медицины. 5. Методы медицинской диагностики. 6. Биоинформатика. Сайт: <http://biomedseminar.ru/>

5. **YSIP-2019**. Северо-Кавказский федеральный университет совместно с Международным центром вычислительной логики Технического университета Дрездена (Германия) с 17 по 20 сентября 2019 г. проводит **Международную молодежную школу «Тенденции развития информационных технологий»** (Young Scientist's Third International Workshop on Trends in Information Processing), YSIP-2019. К участию в работе школы приглашаются студенты, магистры и аспиранты, а также молодые ученые, занимающиеся исследованиями в ИТ-сфере.

Сайты: <http://ysip3.computational-logic.org/>; <http://ysip.ncfu.ru/>; <https://easychair.org/conferences/?conf=ysip3>
Все статьи, принятые к участию в школе, будут опубликованы в CEUR Workshop Proceedings с индексацией в базе данных Scopus. Рабочий язык конференции: английский.

Ответственный секретарь: Лапина Мария Анатольевна, телефон: +7-918-761-00-38, e-mail: mlapina@ncfu.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале публикуются материалы на английском и русском языках по тематике, соответствующей утвержденным для журнала отраслям наук, группам специальностей.

2. В список соавторов работ включаются только те лица, которые внесли творческий вклад в подготовку представленных материалов. Лицам, оказавшим только техническую помощь, можно выразить благодарность в конце статьи. Один человек может быть автором (соавтором) не более чем двух статей в одном номере журнала, причем единственным автором он может быть только в одной статье.

3. Объем публикаций для научных статей должен быть не менее 8 страниц, а количество источников в библиографическом списке (списке литературы) – не менее 15 позиций.

4. Содержание каждой статьи должно включать следующие элементы: УДК; название статьи; сведения об авторах, включая их место работы, должность, адрес электронной почты; аннотацию объемом от 100 до 250 слов, ключевые слова (от 9 до 13); графическую аннотацию, отражающую содержание статьи; название статьи, сведения об авторах, аннотацию и ключевые слова на английском языке (для англоязычных статей – на русском языке); введение – оно должно заканчиваться формулировкой цели работы в явной форме; собственно текст статьи – очень желательна его сегментация на разделы, имеющие содержательные заголовки; выводы или заключение (должны соответствовать формулировке цели статьи).

5. Для русскоязычных статей приводится два библиографических списка: на языке оригинала статьи; список с транслитерацией русскоязычных источников на латиницу и (дополнительно) приведением в квадратных скобках переводов названий статей и названий источников на английский язык.

В «русскоязычном» библиографическом списке (списке литературы) порядок следования источников – по алфавиту фамилий авторов (сначала русскоязычные источники, потом иноязычные). На все источники, включенные в библиографический список, должны быть даны ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. При необходимости авторы могут указывать номера страниц в источниках, на которые даются ссылки. Приветствуются ссылки на иноязычные источники, а также на материалы, опубликованные ранее в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии». Однако в последнем случае количество таких ссылок не должно превышать 20 % от общего количества источников, включенных в библиографический список. Для источников, имеющих DOI, целесообразно его указывать. При ссылках на статьи, опубликованные в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии», целесообразно в конце библиографического описания источника в круглых скобках указывать гиперссылку, указывающую на место размещения статьи на страничке сайта Астраханского государственного университета.

Ссылки в библиографическом списке на материалы, размещенные в интернете, допускаются при соблюдении следующих условий: если у материала, на который дается ссылка, имеется автор и/или название, то они должны быть указаны для этого источника; должен быть приведен полный маршрут доступа к источнику в интернете; должна быть указана дата обращения (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, подрисочных надписях допускается уменьшенный шрифт – вплоть до 10 кегля. Альбомная ориентация страниц допускается только в порядке исключения для следующих случаев: широкоформатные таблицы с большим количеством колонок; иллюстрации большого размера, которые не умещаются на странице с книжной ориентацией.

Абзацные отступы одинаковы по всему тексту – 1,25 см. Кавычки («»), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть аналогичными на протяжении всего предоставляемого для публикации материала.

10.2. Все таблицы, рисунки, формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Заголовки таблиц пишутся над ними и должны включать в себя номер таблицы и ее содержательное наименование.

10.3 Формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Для формул желательно избегать «многоэтажных конструкций». Нумероваться могут только те формулы, на которые есть ссылки в статье. Размеры шрифтов для формул в MS Equation Editor: основные символы – 14 пт.; подстрочные и надстрочные индексы – 10 пт.; дополнительные индексы для подстрочных и надстрочных индексов – 8 пунктов. Константы в формулах записываются прямым шрифтом, переменные – курсивом (наклонным шрифтом); векторные и матричные величины – полужирным шрифтом. Матричные величины могут указываться в квадратных скобках, векторные величины (наборы скаляров) – в фигурных скобках.

Дополнительная информация для авторов статей

Основная тематика журнала и требования к научному уровню представляемых статей – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trebovaniya.pdf>.

Адрес и телефоны редакционно-издательского дома – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/address.pdf>.

Пример оформления текста статьи – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/primer.pdf>.

Рекомендации по оформлению графических аннотаций – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/graf_ann.pdf, дополнительных материалов к статьям – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_mat.pdf.

Подробные правила оформления таблиц – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/tables.pdf>, оформления формул – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/formul.pdf>, оформления иллюстраций – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/ilustr.pdf>.

Пример оформления основного списка литературы к статье – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/spisok_liter.pdf, транслитерированного списка – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trasn_spisok_liter.pdf.

Дополнительные документы к статьям, представляемые авторами – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_doc.pdf.

Переписка с авторами и порядок рецензирования статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_recenz.pdf.

Условия и порядок оплаты статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_oplaty.pdf.

RULES FOR THE AUTHORS – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/en-rules/rules-for-authors.pdf>.

**Подписка на наши издания осуществляется
по 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 физических и технических наук.

Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Управление в социальных и экономических системах», «Математические и инструментальные методы экономики», «Системный анализ, управление и обработка информации», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», «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

2019
№ 2 (46)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Федеральной службы по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия
ПИ № ФС77-31932 от 16 мая 2008 г.

Учредитель
Астраханский государственный университет
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Адрес редакции:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20

Адрес издателя:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Подписной индекс – 73313
По Объединенному каталогу «Пресса России»

Редактирование, компьютерная правка
Н.Н. Сахно
Верстка *Ю.А. Яценко*

Дата выхода в свет 01.08.2019 г.

Цена свободная
Уч.-изд. 20,1. Усл. печ. л. 28,2.
Заказ № 4040. 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