

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2019

№ 3 (47)

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
№ 3 (47)

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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. Филист, 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)

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

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

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

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

© Астраханский государственный университет,
Издательский дом «Астраханский университет», 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. 3 (47)

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. 3 (47)**

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Ажмухамедов И.М.</i>	95–102	<i>Марков А.Е.</i>	70–82
<i>Анохин А.О.</i>	28–38	<i>Малых С.Б.</i>	121–130
<i>Астанков А.А.</i>	28–38	<i>Молимонов Д.А.</i>	143–162
<i>Боскебеев К.Дж.</i>	39–54	<i>Никутьчев Е.В.</i>	121–130
<i>Брумиштейн Ю.М.</i>	39–54	<i>Оконов М.</i>	39–54
	143–162	<i>Пивоваров В.В.</i>	28–38
<i>Воротников С.А.</i>	131–142	<i>Подколзин В.В.</i>	55–69
<i>Егунов В.А.</i>	70–82	<i>Полетайкин А.Н.</i>	55–69
<i>Захаров Д.А.</i>	163–180	<i>Поцелуйко А.С.</i>	17–27
<i>Жарких Л.И.</i>	82–94	<i>Пушкин П.Ю.</i>	121–130
<i>Кабачек Н.И.</i>	163–180	<i>Римша А.С.</i>	102–121
<i>Калиниченко С.В.</i>	131–142	<i>Римша К.С.</i>	102–121
<i>Кравец А.Г.</i>	17–27	<i>Скориков А.В.</i>	70–82
	28–38	<i>Сокольский В.М.</i>	163–180
<i>Кулешова Н.В.</i>	55–69	<i>Тарасов П.С.</i>	70–82
<i>Кульцова М.Б.</i>	17–27	<i>Филингов Л.И.</i>	10–17
<i>Кунц Е.Ю.</i>	55–69	<i>Чернухин Д.А.</i>	95–102
<i>Куцев Е.В.</i>	39–54	<i>Ясир Ш.</i>	28–38
<i>Лихтер А.М.</i>	10–17	<i>Ястребова И.В.</i>	131–142

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Л.И. Филинков, А.М. Лихтер

Анализ подходов к созданию системы
поддержки принятия решений
по снижению выбросов в воздух от котельных 10–17

А.С. Поцелуйко, А.Г. Кравец, М.Б. Кульцова

Персонализация интерфейсов мобильных приложений
на основе паттернов интерфейсов
для людей с ограниченными возможностями 17–27

Ш. Ясир, А.Г. Кравец, А.О. Анохин, В.В. Пивоваров, А.А. Астанков

Сбор и анализ гетерогенных данных в управлении услугами ЖКХ
по водоснабжению и водоотведению 28–38

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

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

Использование радиорелейных линий связи для социально-экономического развития
высокогорных регионов: оценка эффективности пространственно-разнесенного приема
(на примере Кыргызской Республики) 39–54

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

А.Н. Полетайкин, В.В. Подколзин,

Н.В. Кулешова, Е.Ю. Кунц

Нечеткая дескрипторная модель оценивания
выраженности индикаторов достижения компетенций 55–69

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

В.А. Егунов, А.Е. Марков,

А.В. Скоринов, П.С. Тарасов

Построение программной траектории движения
беспилотного наземного транспортного средства 70–82

Л.И. Жарких

Структура программного обеспечения процесса моделирования
межмолекулярного взаимодействия клеточной мембраны
с токсикантами при поиске антидотов 82–94

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

Д.А. Чернухин, И.М. Ажмухамедов

Особенности практической реализации протокола
тайного электронного голосования Фудзиока – Окамото – Охта 95–102

А.С. Римша, К.С. Римша

Анализ средств обеспечения информационной безопасности
АСУ ТП газодобывающих предприятий 102–121

П.Ю. Пушкин, Е.В. Никульчев, С.Б. Малых

Концепция защиты данных в открытой цифровой платформе
массовых психологических исследований DigitalPsyTools.ru 121–130

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

И.В. Ястребова, С.А. Воротников, С.В. Калинин

Система управления шагающим роботом вертикального перемещения 131–142

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю.М. Бруштейн, Д.А. Молимонов

Модели, методы, технические средства управления рисками
проектирования, создания и эксплуатации сложных человеко-машинных систем
с учетом психофизиологических характеристик людей-операторов 143–162

Н.И. Кабачек, Ю.М. Бруштейн, В.М. Сокольский, Д.А. Захаров

Управление эффективностью эксплуатации парка медицинского оборудования
в крупных лечебных учреждениях России: системный анализ целей,
методов принятия и реализации решений,
критериев оценки качества достигаемых результатов 163–180

ИНФОРМАЦИЯ О ПРЕДСТОЯЩИХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ 181

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 182

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER TECHNIQUE AND CONTROL

SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

L.I. Filinkov, A.M. Likhter

Analysis of approaches to create
the decision-making support system
to reduce air emissions from boiler houses 10–17

A.S. Potseluiko, A.G. Kravets, M.B. Kultsova

Personalization of mobile application interfaces
on the basis of interface patterns for people with special needs 17–27

Sh. Yasir, A.G. Kravets, A.O. Anokhin, V.V. Pivovarov, A.A. Astankov

Collection and analysis of heterogeneous data in the management
of housing services on water supply and water disposal 28–38

CONTROL IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

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

Using radio-relay communication lines for the socio-economic development
of high-mountain regions: efficiency evaluation of spatially separated reception
(by the example of the Kyrgyz Republic) 39–54

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM SYSTEMS

A.N. Poletaykin, V.V. Podkolzin, N.V. Kuleshova, E.Yu. Kunts

Fuzzy descriptor model for assessing
the severity of competence achievement indicators 55–69

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

V.A. Egunov, A.E. Markov, A.V. Skorikov, P.S. Tarasov

A software construction of the unmanned ground vehicle trajectory 70–82

L.I. Zharkikh

Structure of software for modeling intermolecular interaction
of cell membrane with toxicants in the search for antidotes 82–94

INFORMATION SAFETY AND INFORMATION PROTECTION

D.A. Chernukhin, I.M. Azhmukhamedov

Specific features of the Fujioka et al.
electronic voting scheme real-world implementation 95–102

A.S. Rimsha, K.S. Rimsha

Analysis of information security' tools
for APCS of gas producing enterprises 102–121

P.U. Pushkin, E.V. Nikulchev, S.B. Malykh

Data protection concept in open digital platform
for mass psychological research DigitalPsyTools.ru..... 121–130

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

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS**I.V. Iastrebova, S.A. Vorotnikov, S.V. Kalinichenko**

Control system of the walking wall climbing robot 131–142

MEDICAL INSTRUMENTS, SYSTEMS AND ITEMS**Yu.M. Brumshteyn, D.A. Molimonov**

Models, methods, technical means of risk management
of design, creation and operation of complex human-machine systems
taking into account psychophysiological characteristics of people-operators 143–162

N.I. Kabachek, Yu.M. Brumshteyn, V.M. Sokolsky, D.A. Zakharov

Management of efficiency of operation of the park of the medical equipment
in stationary medical institutions: the system analysis of the purposes,
methods of acceptance and implementation of decisions,
criteria for evaluation of the achieved results 163–180

INFORMATION ON FORTHCOMING SCIENTIFIC EVENTS 181

RULES FOR THE AUTHORS 182

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 629.039.58, 004.41

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ В ВОЗДУХ ОТ КОТЕЛЬНЫХ

Статья поступила в редакцию 12.08.2019, в окончательном варианте – 26.08.2019.

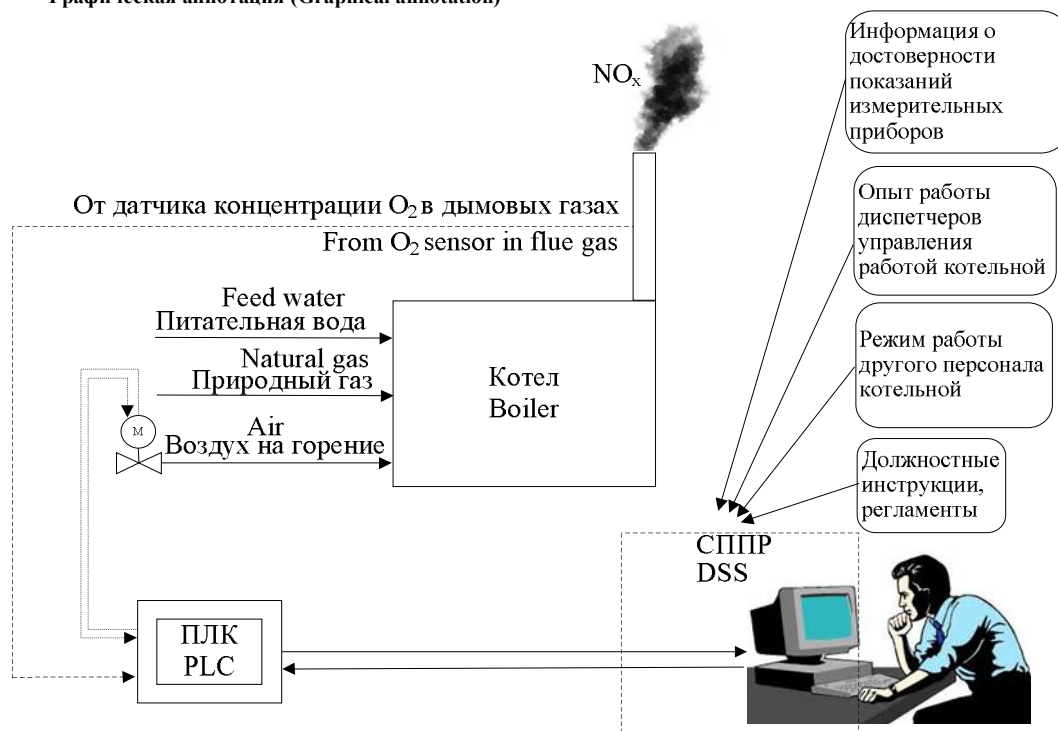
Филинков Леонид Игоревич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
старший преподаватель, аспирант, e-mail: leonid_filinkov@mail.ru, ORCID 0000-0003-0018-7664

Лихтер Анатолий Михайлович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Общая физика», e-mail: likhter@bk.ru

Большой вклад в загрязнение воздуха вносят котельные и электростанции, работающие на углеводородном топливе. Для котельных и электростанций, работающих на природном газе, подавляющий вклад в «суммарную вредность» выбросов вносят оксиды азота NO_x . В статье приведен анализ существующих способов снижения объемов выбросов оксидов азота, в том числе способа, основанного на сжигании природного газа с контролируемым химическим недожогом. Способ позволяет повысить КПД котельной при одновременном снижении «суммарной вредности» выбросов вредных веществ. В работе обоснованы подходы к выбору алгоритмических решений управления котлоагрегатами с использованием режима контролируемого химического недожога. Эти решения отличаются универсальностью и могут быть применены с целью снижения выбросов оксидов азота в системах поддержки принятия решений.

Ключевые слова: котельные, выбросы в атмосферу, режим химического недожога, алгоритм, система поддержки принятия решений, снижение выбросов оксидов азота, суммарная вредность, коэффициент избытка воздуха, датчик содержания кислорода, программируемый логический контроллер

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ANALYSIS OF APPROACHES TO CREATE THE DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEM TO REDUCE AIR EMISSIONS FROM BOILER HOUSES

The article was received by the editorial board on 12.08.2019, in the final version – 26.08.2019.

Filinkov Leonid I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Senior Lecturer, postgraduate, e-mail: leonid_filinkov@mail.ru, ORCID 0000-0003-0018-7664

Likhter Anatoly M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the General Physics Department, e-mail: likhter@bk.ru

A large contribution to air pollution is made by boiler rooms and power plants operating on hydrocarbon fuels. For boiler rooms and power plants operating on natural gas, nitrogen oxides NO_x make an overwhelming contribution to the “total harmfulness” of emissions. The article provides an analysis of existing methods for reducing nitrogen oxide emissions, including a method based on the combustion of natural gas with a controlled chemical underburning. The method allows to increase the efficiency of the boiler room while reducing the “total harmfulness” of emissions of harmful substances. The paper substantiates approaches to the selection of algorithmic solutions for controlling boiler units using the controlled chemical underburning mode. These solutions are versatile and can be applied to reduce nitrogen oxide emissions in decision support systems.

Keywords: boiler rooms, air emissions, chemical underburning mode, algorithm, decision support system, reduction of nitrogen oxide emissions, total harmfulness, excess air coefficient, oxygen content sensor, programmable logic controller

Введение. В связи с развитием энергетики обостряется проблема загрязнения окружающей среды. Снижение воздействия объектов энергетики на окружающую среду – сложная задача. Для поиска обоснованных решений в сложных многопараметрических задачах используются системы поддержки принятия решений (СППР). В настоящее время СППР нашли особенно широкое применение в медицине, помогая докторам принимать обоснованные решения, поскольку здоровье людей имеют исключительно высокую ценность, и цена ошибки огромна. В энергетике же СППР пока не нашли должного места. Одной из причин этого можно назвать недостаточность обоснования использования тех или иных алгоритмов работы технологического оборудования. В данной статье рассматривается теоретическое обоснование и мотивированное использование алгоритмов и методов для системы поддержки принятия решений по снижению выбросов в воздух от котельных и электростанций, работающих на природном газе.

Общая характеристика проблематики работы. Энергогенерирующие предприятия (котельные, тепловые электростанции) используют следующие виды углеводородного топлива: уголь, горючие сланцы, мазут, природный газ. При этом имеют место выбросы в атмосферу продуктов сгорания. Природный газ считается более экологичным видом топлива, чем нефть или уголь [1, 11, с. 3].

Как видно из рисунка 1, в структуре топлива, израсходованного российской теплоэнергетикой в 2015–2016 гг., доминирующее положение занимало газовое топливо (74 %), причем эта доля росла [2]. В 2016 г. доля твердого топлива составила 21,5 %, нефтепродукта – 2,8 % (рис. 1).

В работе [4] приведена формула для оценки суммарной вредности компонентов продуктов сгорания. В основе расчета лежит оценка частной вредности i -го компонента (Π_i) продуктов сгорания по формуле (1):

$$\Pi_i = m_i * (1 - \eta) / \left(\frac{Q_i^p}{(Q_i^p)_{\text{ут}}} * \frac{\text{ПДК}_{\text{м.р.}i}}{(\text{ПД}_{\text{м.р.}})_{\text{зола}}} \right), \quad (1)$$

где $Q_i^p, (Q_i^p)_{\text{ут}}$ – теплота сгорания соответственно рассматриваемого и условного топлив, [МДж/м³]; $\text{ПДК}_{\text{м.р.}i}; (\text{ПД}_{\text{м.р.}})_{\text{зола}}$ – максимально разовые предельно допустимые концентрации соответственно i -й примеси и золы, [мг/м³]; η – степень очистки дымовых газов от i -й примеси перед их выбросом в атмосферу (в долях от «1»).

Проведенные в [4] расчеты вредности продуктов сгорания по итогам проведенных испытаний показали, что для котельных или электростанций, работающих на природном газе, наибольшую опасность для человека в продуктах сгорания представляют оксиды азота NO и NO_2 , имеющие общую формулу NO_x . В то же время вклад продуктов химического недожога, включая угарный газ (CO) и бензпирен (БП), при обычных режимах сжигания ничтожно мал [3, 6]. Отсюда следует, что для увеличения экологической безопасности сжигания природного газа в первую очередь необходимо снижать эмиссию NO_x [5, 7, 8, 10].

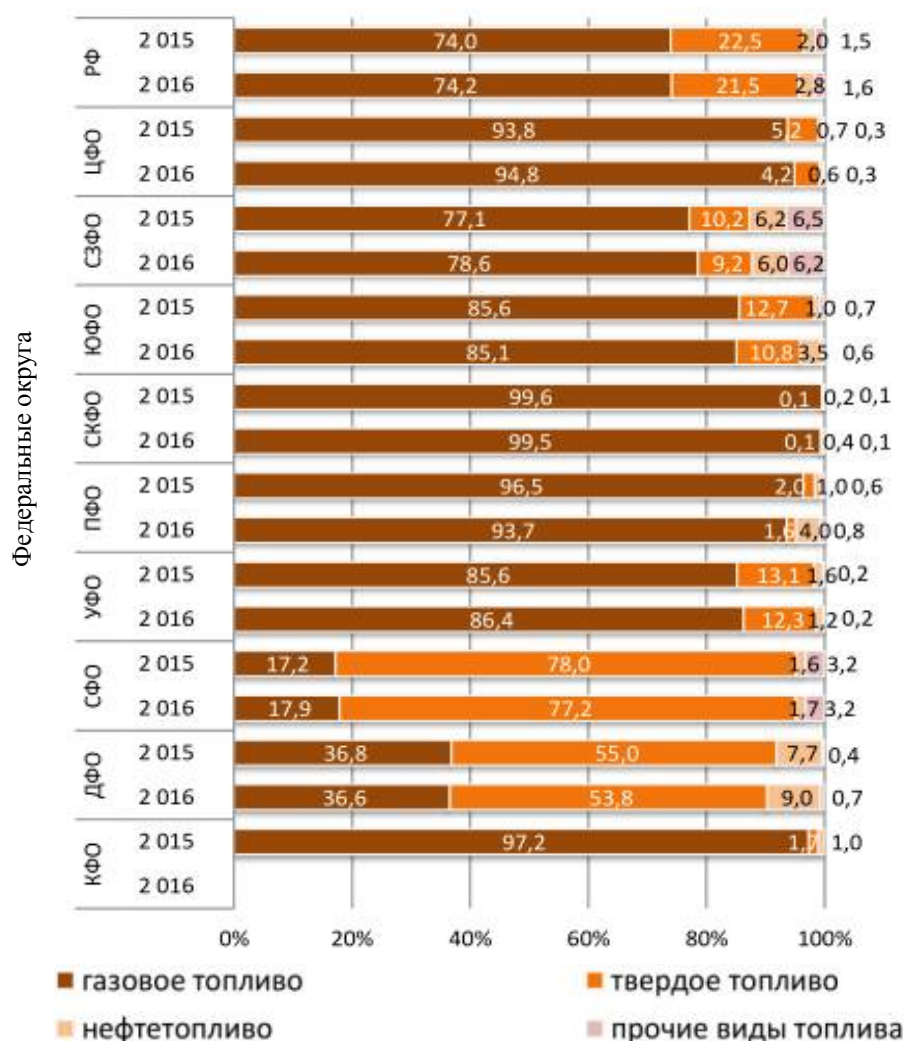


Рисунок 1 – Структура расхода по видам топлива в тепловой энергетике и теплоснабжении в целом по России и федеральным округам Российской Федерации в 2015–2016 гг., в процентах [2]

Анализ методов снижения выбросов NO_x . В настоящее время основным средством борьбы с выбросами оксидов азота на теплостанциях и в котельных являются технологические методы, так как стоимость их реализации на порядок ниже, чем очистка дымовых газов.

Эффект от малозатратных технологических мероприятий по подавлению выбросов NO_x , а также недостатки существующих методов, сравнены в таблице, взятой из [5].

Таблица 1 – Анализ малозатратных технологических мероприятий для подавления выбросов NO_x (из [5])

Вид мероприятия	Метод	Величина снижения NO_x , %	Недостатки
Упрощенное двухступенчатое сжигание	Отключение части горелок	20–40	Сложность реализации на котлах с малым числом горелок
Упрощенная схема рециркуляции	Подача части дымовых газов с выхлопа дымососа на всас дутьевого вентилятора	30–60	Снижение КПД котла, требуется запас по тяге и дутью, увеличиваются собственные нужды
Впрыск влаги	Установка форсунок	15–20	Снижение КПД котла
Нестехиометрическое сжигание	Рассогласование отношения топливо – воздух в горелках или по ярусам	35–55	Снижение эффективности на пониженных нагрузках
Снижение избытка воздуха	Снижение общего избытка воздуха	10–30	Возможность повышенного химнедожога

Как следует из данной таблицы, малозатратных способов снижения оксидов азота довольно много. При этом можно обеспечить снижение выбросов на 10–60 %. Одним из наиболее легко реализуемых режимных мероприятий является снижение избытка воздуха в топке. В результате уменьшения содержания кислорода в зоне горения происходит снижение выхода NO_x . При этом несколько повышается КПД котла за счет снижения потерь теплоты с уходящими газами и затрат электрической энергии на работу дутьевого вентилятора и дымососа. К недостаткам данного метода можно отнести риск появления повышенного химического недожога.

В результате опытов, проведенных П.В. Росляковым, И.Л. Ионкиным, К.В. Плешановым [4, 5, 9], было определено, что влияние коэффициента избытка воздуха α , равного отношению фактически подаваемого объема воздуха к теоретически необходимому, на образование оксидов азота для газомазутных котлов описывается зависимостью с максимумом при $\alpha_{\text{max}} = 1,2\text{--}1,25$ (рис. 2).

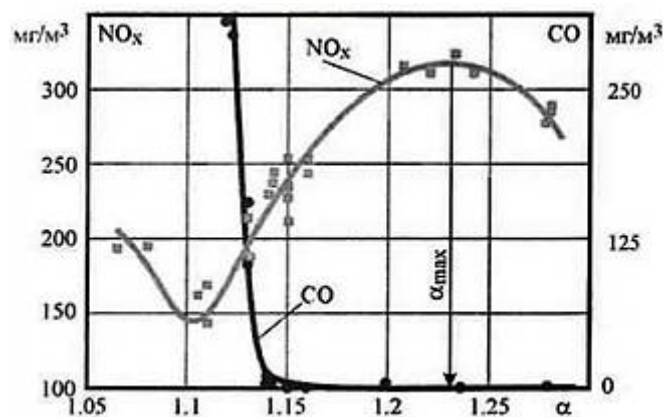


Рисунок 2 – Влияние избытка воздуха α на выход NO_x и CO : α – коэффициент избытка воздуха на выходе из воздухоподогревателя [5]

Как видно из рисунка 2, при увеличении избытка воздуха от 1,1 до 1,25 наблюдается значительное (в два раза) увеличение выхода оксидов азота. При этом максимум содержания NO_x в дымовых газах соответствует такому значению коэффициента избытка воздуха, при котором потеря теплоты от химического недожога q_3 минимальна. Это свидетельствует о максимально полном сгорании топлива (рис. 3).

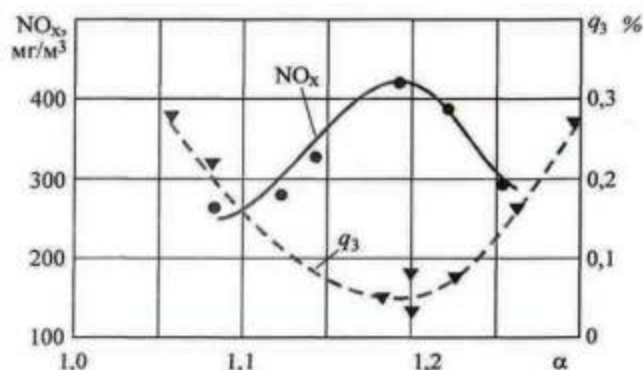


Рисунок 3 – Влияние избытка воздуха α на выход оксидов азота и недожог топлива: q_3 – потеря теплоты от химического недожога [5]

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что метод *контролируемого химического недожога* является универсальным способом снижения выбросов оксидов азота. При этом он требует принципиального пересмотра подходов к режимной наладке котлов. Можно предположить, что одной из причин, по которым на практике не реализуются режимы горения с химическим недожогом, является отсутствие математической модели и программно-аппаратного комплекса по динамическому управлению режимами горения.

Анализ работы газовых котельных Астраханской области показал, что котлы работают с достаточно высокими коэффициентами избытка воздуха, близкими к значениям α_{max} . Для таких агрегатов снижение избытков воздуха дает хорошие результаты в отношении снижения выброса

оксидов азота. Как следует из [5], в результате снижения избытков воздуха до значений $\alpha_{\text{раб}} = \alpha_{\text{кр}} + 0,02\text{--}0,04$ может наблюдаться уменьшение выбросов оксидов азота на 10–30 %.

Программно-аппаратный комплекс по управлению режимами горения. Предлагается программно-аппаратный комплекс по управлению интенсивностью подачи воздуха в котел для поддержания горения. Комплекс направлен на минимизацию суммарной вредности продуктов сгорания NO_x и CO при одновременном контроле (учете) их концентраций.

Аппаратная часть комплекса представлена программируемым логическим контроллером (далее – ПЛК), в качестве входного сигнала, получающего показания от датчика содержания кислорода в дымовых газах. Анализ существующих методов измерения концентрации кислорода в дымовых газах показал, что наиболее простыми, недорогими и не требующими сложного технического обслуживания являются датчики, основанные на электрохимическом принципе действия. В качестве примера можно привести датчики кислорода BOSCH (https://ru.bosch-automotive.com/ru/parts_and_accessories), устанавливаемые на большинстве отечественных и зарубежных автомобилей. Стоимость таких датчиков находится в диапазоне 1500–2000 руб.

Схема соединения элементов системы автоматического управления (САУ) положением воздушной заслонки, регулирующей подачу воздуха в котел, представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Структурная схема аппаратной части САУ: ПЛК – программируемый логический контроллер; ИМ – исполнительный механизм (электропривод, изменяющий положение воздушной заслонки)

В простейшем случае может быть реализована система автоматического управления (САУ) интенсивностью подачи воздуха на горение. В ней ПЛК управляет ИМ, которым в данном случае является шибер, оснащенный шаговым двигателем. На рисунке 5 приведена схема, описывающая алгоритм работы САУ. На основе данной схемы разрабатывается программа, которая будет заложена в контроллер.

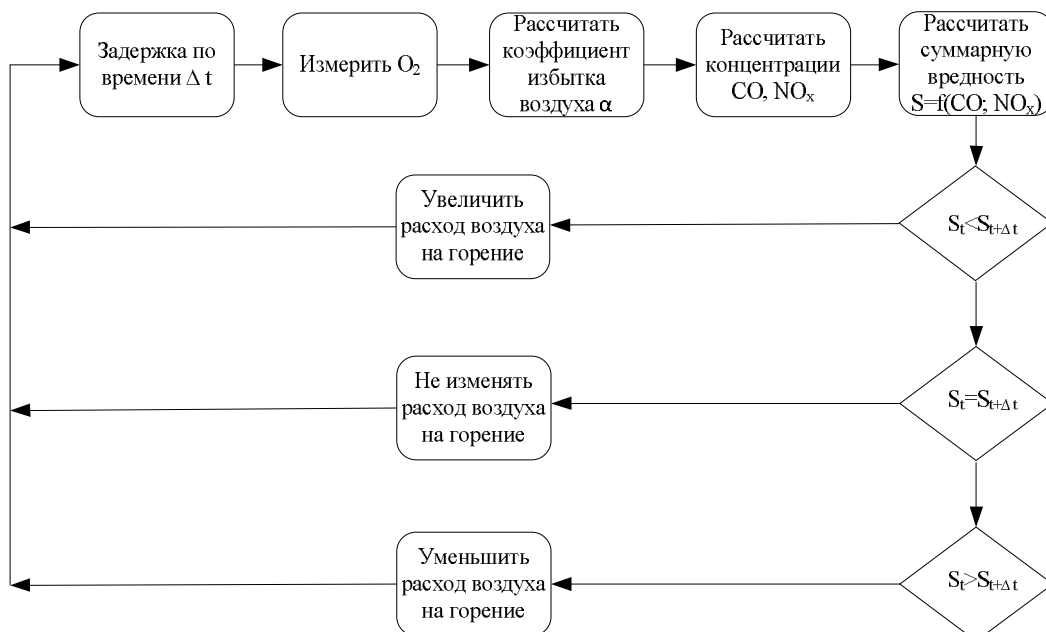


Рисунок 5 – Алгоритм управления подачей воздуха в котел (начиная со второго такта): S – «суммарная вредность» продуктов сгорания при данном коэффициенте избытка воздуха α ; t – момент начала такта по времени; t+Δt – момент конца такта по времени

Для реализации алгоритма управления подачей воздуха в котел (рис. 5), на вход контроллера нужно подать сигналы с датчиков концентраций кислорода, угарного газа и оксидов азота. Однако для удешевления и упрощения системы можно использовать лишь датчик концентрации кислорода. Для этого необходимо проделать экспериментальные работы, целью которых является определение функциональной зависимости концентрации выбросов (CO ; NO_x) от коэффициента избытка воздуха α . Данные зависимости являются индивидуальными для каждого котлоагрегата, поскольку каждый котел даже в пределах одной марки обычно уникален (например, количество присосов, геометрия, температуры, фактические скорости движения сред и т.п.). Затем останется лишь запрограммировать ПЛК с учетом выявленных в ходе опытов зависимостей.

Роль человека в предлагаемой СППР. Для корректного управления таким сложным объектом энергетики, как котлоагрегат, с целью снижения суммарной вредности выбросов, нужно принимать во внимание большое количество факторов (состояние обмуровки котла, наличие присосов воздуха, количество оперативно-ремонтного персонала, имеющееся в текущий момент времени и т.п.).

Поэтому нецелесообразно использовать для управления полностью автономную САУ, представленную на рисунке 4. Исходя из этого, САУ должна стать составной частью системы поддержки принятия решений (СППР), центральным звеном которой является человек-оператор (диспетчер энергосистемы) (рис. 6 и графическая аннотация). СППР поможет оператору (диспетчеру энергосистемы) принимать своевременные и правильные решения по управлению, корректно их реализовывать с учетом получаемой информации обратной связи, имеющегося опыта работы, рекомендаций САУ по управлению воздухопритоком.

На рисунке 6 показана общая схема взаимодействия человека-оператора (диспетчера энергосистемы) с указанной СППР.

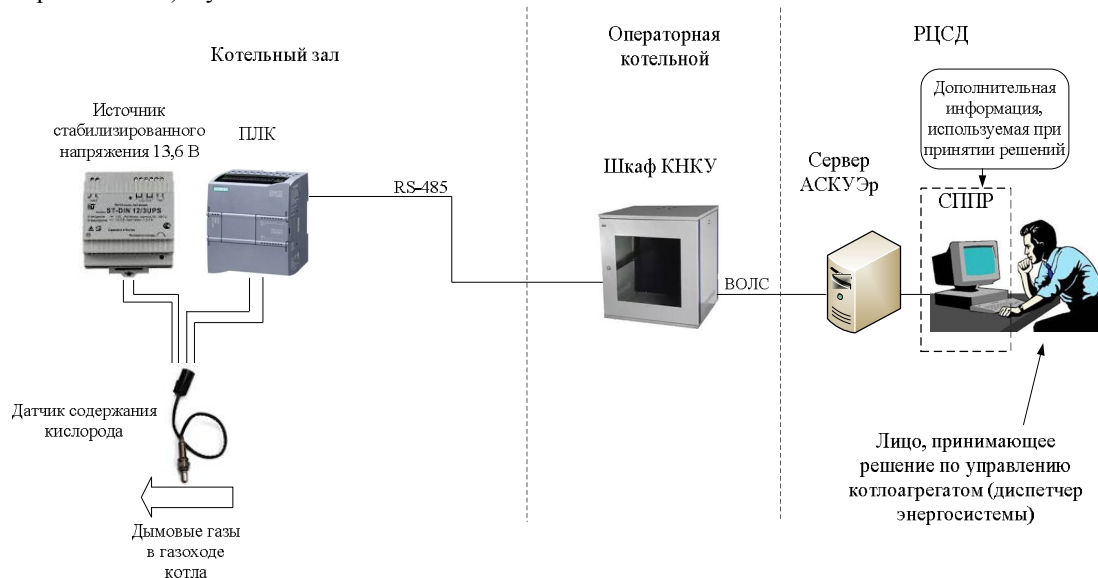


Рисунок 6 – Общая схема взаимодействия человека-оператора (диспетчера энергосистемы) с СППР: АСКУЭр – автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов; РЦСД – региональный центр сбора данных; ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи; АБК – административно-бытовой корпус; КНКУ – коммуникационное низковольтное, комплектное устройство; РМТ-59 – регистратор многоканальный технологический

В общем случае СППР будет помогать делать оператору обоснованные выводы о:

- задании необходимой величины избытка воздуха α на горение, исходя из условия минимизации «суммарной вредности» продуктов сгорания, выбрасываемых в воздух с дымовыми газами;
- имеющемся резерве тепловой мощности котлоагрегата (с учетом экологических параметров).

Анализ алгоритмов принятия и реализации решений в СППР (с учетом инерционности реакции режимов работы котлоагрегатов на управляющие воздействия, влияния некоторых

стохастических факторов, наличия факторов риска, возможно – нечеткости оценок и принимаемых решений) авторы предполагают выполнить в последующей работе.

Выводы:

1. Показано, что в котельных России преобладает использование в качестве топлива природного газа. Это делает актуальной проблематику по управлению «суммарной вредностью» выбросов в воздух с учетом характера этих выбросов при использовании именно газового топлива.

2. Проанализированы методы снижения выбросов оксидов азота в воздух от котельных, работающих на природном газе. Сделан вывод о перспективности использования метода контролируемого химического недожога, обеспечивающего при минимальных затратах снижение выбросов оксидов азота на 10–30 % без снижения их мощности.

3. Выбран критерий для реализации систем снижения выбросов из котельных, работающих на природном газе, – минимум величины «суммарной вредности» S продуктов сгорания, поступающих в воздух.

4. Представлен упрощенный алгоритм работы для САУ реального времени по управлению режимами работы котлоагрегата, основанный на применении критерия по п. 3. Описаны предлагаемые аппаратные решения для указанной САУ, учитывающие реалии проектирования и эксплуатации котлоагрегатов.

5. Показана целесообразность использования описанной САУ в сочетании с СППР, предназначенной для лиц, управляющих котлоагрегатами.

6. Охарактеризован состав информации, который должен учитывать человек-оператор (диспетчер энергосистемы) при принятии и реализации решений по управлению режимами горения в котлоагрегатах. Показаны направления использования САУ в сочетании с СППР.

7. Выполненная работа обеспечивает основу для создания алгоритмов принятия решений в СППР, а также последующей разработки ее программной части.

Библиографический список

1. Колпаков А. Ю. Энергосбережение и энергоэффективность / А. Ю. Колпаков // Компоненты и технологии. – 2009. – № 4. – С. 80–87.
2. Информационно-аналитический доклад «Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2015–2016 годы» / Министерство энергетики Российской Федерации. – Москва, 2018. – С. 40.
3. Нурмеев Б. К. Методы регулирования выбросов в атмосферу продуктов сгорания органического топлива от стационарных энергетических источников : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. К. Нурмеев. – Санкт-Петербург, 2006. – 24 с.
4. Плешанов К. А. Разработка и исследование способа сжигания топлив с умеренным контролируемым химическим недожогом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. А. Плешанов. – Москва, 2010. – 15 с.
5. Росляков П. В. Контролируемый химический недожог – эффективный метод снижения выбросов оксидов азота / П. В. Росляков, И. Л. Ионкин, Л. Е. Егорова. – Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2041, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 26.05.2019).
6. Edeleva O. A. Optimization of energy sources structure to minimize environment pollution / O. A. Edeleva, V. A. Stennikov // E3S Web of conferences. Green Energy and Smart Grids. – 2018. – № 69. – P. 1–7.
7. Li J. Effects of Flue Gas Internal Recirculation on NO_x and SO_x Emissions in a Co-Firing Boiler / J. Li, X. Zhang, W. Yang and W. Blasiak // International Journal of Clean Coal and Energy. – 2013. – Vol. 2, № 2. – P. 13–21. DOI: 10.4236/ijcce.2013.22002.
8. Nakomcic-Smaragdakis B. Data analysis of the flue gas emissions in the thermal-power plant firing fuel oil and natural gas / B. Nakomcic-Smaragdakis, Z. Cepic, M. Cepic, T. Stajic // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2014. – № 11. – P. 269–280.
9. Roslyakov P. V. Reducing Harmful Emissions Discharged into the Atmosphere from Operating Boilers by Applying a Combination of Low-Cost Technological Measures / P. V. Roslyakov, I. L. Ionkin, and K. A. Pleshanov // Thermal Engineering. – 2010. – Vol. 57, № 12. – P. 1052–1057.
10. Sudhakara Reddy A. V. Reconfiguration of Distribution Systems for Loss Reduction and Emissions Reduction using MVO Algorithm / A. V. Sudhakara Reddy, M. Damodar Reddy, Y. V. Krishna Reddy Feeder // Majlesi Journal of Electrical Engineering. – June 2018. – Vol. 12, № 2. – P. 1–8.
11. Yousef S. H. Najjar. Gaseous Pollutants Formation and Their Harmful Effects on Health and Environment / Yousef S. H. Najjar // Ashdin Publishing Innovative Energy Policies. – 2011. – Vol. 1. – Article ID E101203. – 9 p. DOI:10.4303/iep/E101203.

References

1. Kolpakov A. Yu. Energoberezhenie i energoeffektivnost [Energy saving and energy efficiency]. *Компоненты и технологии* [Components and technologies], 2009, no. 4, pp. 80–87.

2. *Informatsionno-analiticheskiy doklad «Teploenergetika i tsentralizovannoe teplosnabzhenie Rossii v 2015–2016 gody»* [Information and analytical report “Heat and Power and Centralized Heat Supply of Russia in 2015–2016”]. Ministerstvo energetiki Rossiyskoy Federatsii [Ministry of Energy of the Russian Federation]. Moscow, 2018.
3. Nurmeev B. K. *Metody regulirovaniya vybrosov v atmosferu produktov sgoraniya organicheskogo topliva ot statsionarnykh energeticheskikh istochnikov* [Methods for controlling emissions of fossil fuels from stationary energy sources into the atmosphere]. Saint Petersburg, 2006.
4. Pleshanov K. A. *Razrabotka i issledovanie sposoba szhiganiya topliv s umerennym kontroliruemym himicheskim nedozhogom* [Development and research of methods for burning fuel with a moderate controlled chemical burnout]. Moscow, 2010.
5. Roslyakov P. V., Ionkin I. L., Egorova L. E. *Kontroliruemyy himicheskyy nedozhog – effektivnyy metod snizheniya vybrosov oksidov azota* [Controlled chemical Incineration – an effective method to reduce nitrogen oxide emissions]. Available at: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2041 (accessed 26.05.2019).
6. Edeleva Olga A., Stennikov Valery A. Optimization of energy sources structure to minimize environment pollution. *E3S Web of conferences. Green Energy and Smart Grids*, 2018, no. 69, pp. 1–7.
7. Li J., Zhang X., Yang W. and Blasiak W. Effects of Flue Gas Internal Recirculation on NO_x and SO_x Emissions in a Co-Firing Boiler. *International Journal of Clean Coal and Energy*, 2013, vol. 2, no. 2, pp. 13–21. DOI: 10.4236/ijcce.2013.22002.
8. Nakomcic-Smaragdakis B., Z. Cepic, M. Cepic, T. Stajic. Data analysis of the flue gas emissions in the thermal-power plant firing fuel oil and natural gas. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2014, no. 11, pp. 269–280.
9. Roslyakov P. V., Ionkin I. L., and Pleshanov K. A. Reducing Harmful Emissions Discharged into the Atmosphere from Operating Boilers by Applying a Combination of Low-Cost Technological Measures. *Thermal Engineering*, 2010, vol. 57, no. 12, pp. 1052–1057.
10. Sudhakara Reddy A. V., Damodar Reddy M., Krishna Reddy Feeder Y. V. Reconfiguration of Distribution Systems for Loss Reduction and Emissions Reduction using MVO Algorithm. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, June 2018, vol. 12, no. 2, pp. 1–8.
11. Yousef S. H. Najjar. Gaseous Pollutants Formation and Their Harmful Effects on Health and Environment. *Ashdin Publishing Innovative Energy Policies*, 2011, vol. 1, Article ID E101203. 9 p. DOI:10.4303/iep/E101203.

УДК 004.822:338.482.22

ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПАТТЕРНОВ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ*

Статья поступила в редакцию 26.08.2019, в окончательной версии – 02.09.2019.

Поцелуйко Анастасия Сергеевна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,
аспирант, e-mail: anastasiyasergeevnap@gmail.com

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

Кульцова Марина Борисовна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: marina.kultsova@mail.com

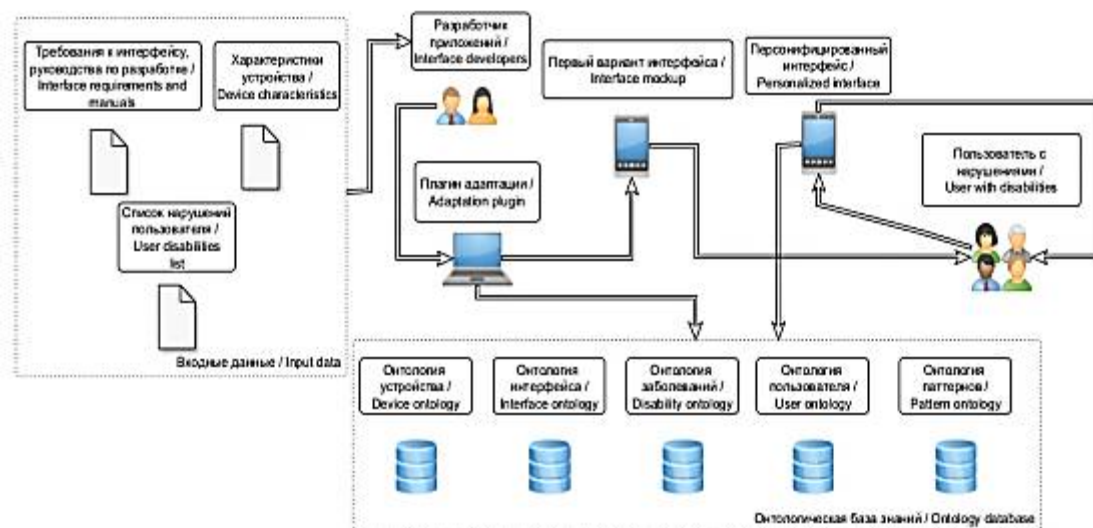
Статья посвящена проблеме персонализации интерфейса для людей с ограниченными возможностями. Пользователи с особыми потребностями испытывают неудобства при использовании приложений, которые могли бы помочь им преодолеть часть социальных барьеров в повседневной жизни. Процесс персонализации интерфейса для таких пользователей не может быть выполнен в один этап, так как необходимо учитывать информацию, собираемую при взаимодействии пользователя с мобильным приложением. Данная работа является продолжением исследований по разработке адаптивных пользовательских интерфейсов и посвящена исследованию существующих подходов к сбору и анализу информации о поведении пользователей и понятию контекстной информации, а также выработке рекомендаций по адаптации интерфейса. В статье описан механизм адаптации интерфейса на основе онтологического представления паттернов интерфейса, знаний (накопленной информации) о конечном пользователе и его поведе-

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-47-343001 «Разработка двухэтапного метода адаптации интерфейсов мобильных приложений для людей с ограниченными возможностями».

нии. Авторами был разработан набор правил адаптации интерфейса, который реализован в онтологической базе знаний. В статье описана модель онтологии, а также приведены некоторые примеры онтологического представления паттернов интерфейса.

Ключевые слова: ассистивные технологии, адаптивный пользовательский интерфейс, онтологическая модель пользователя, паттерны интерфейсов, поведение пользователей, пользователи с ограниченными возможностями

Графическая аннотация (Graphical annotation)



PERSONALIZATION OF MOBILE APPLICATION INTERFACES ON THE BASIS OF INTERFACE PATTERNS FOR PEOPLE WITH SPECIAL NEEDS

The article was received by the editorial board on 26.08.2019, in the final version – 02.09.2019.

Potseluko Anastasia S., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,
postgraduate, e-mail: anastasiyasergeevnap@gmail.com

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

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

Kultsova Marina B., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: marina.kultsova@mail.com

This article is devoted to the problem of personalization of the interface for people with disabilities. Users with special needs do not feel comfortable using applications that could help them to overcome some of the social barriers in everyday life. The process of personalizing the interface for specific users cannot be performed in one step; we suggest to take into account the information which is collected during user interaction with a mobile application. This work is a continuation of the research on the development of adaptive user interfaces. Much attention was paid to the study of existing approaches to the collection and analysis of information about user behavior and the concept of contextual information, as well as recommendations for adapting the interface. An improved interface adaptation mechanism was developed and described based on the ontological representation of interface patterns and knowledge of the end user and his behavior. A set of adaptation rules was developed and implemented in the ontology knowledge base. In the article, we described an improved ontology model and some examples of the ontological representation of interface patterns.

Keywords: assistive technologies, adaptive user interface, ontological user model, interface patterns, user behavior, users with special needs

Введение. Проблема социализации людей с особыми потребностями играет ключевую роль в современном мире, и особенно в сфере информационных технологий. По данным статистики организации WorldBank [17], каждый пятый человек в мире имеет некоторую степень инвалидности. Качество жизни многих людей зависит от удобства использования и доступности веб-сайтов, мобильных и настольных приложений, электронных устройств.

Для решения данной проблемы организация W3C создала руководство [19], содержащее набор рекомендаций по разработке интерфейсов для людей с ограниченными возможностями. Однако проблема остается нерешенной до сих пор, так как появляются новые устройства, типы приложений и новые типы взаимодействия человека с компьютером. Поэтому разработчики программного обеспечения стараются сделать все приложения более удобными для всех категорий пользователей, а их интерфейсы – более адаптивными и персонализированными. Самая распространенная проблема адаптации приложений для мобильных пользователей – проблема с соотношением размеров дисплеев и отображаемой информации на них, например, изображения или текст могут быть чересчур мелкими для лиц с нарушениями зрения.

Крупные IT-организации, такие как Google [9], Chrome, Android и YouTube, уже внедрили функционал для людей с ограниченными возможностями в свои продукты. А такие ведущие компании по разработке программного обеспечения, как Microsoft [15], Apple [6] и Android [4], разработали свои собственные рекомендации в отношении того, как сделать приложения более доступными. Кроме того, каждая из этих компаний предоставила в своих программных продуктах возможность персонализировать интерфейс. Например, выбрать альтернативу аудиофайлам, выполнять перевод голоса в текст, изменять контрастность цветовой гаммы приложений и т.д.

Вопросы адаптации интерфейсов для лиц с ограниченными возможностями по зрению решаются и создателями значительной доли российских и зарубежных сайтов – чаще всего с использованием специальных кнопок перенастройки интерфейса для слабовидящих людей [19].

К сожалению, не все разработчики программного обеспечения следуют рекомендациям при создании программных продуктов. Поэтому основная цель нашего проекта – облегчить разработку приложений для людей с ограниченными возможностями путем реализации набора соответствующих рекомендаций непосредственно в программной среде разработки.

Современное состояние проблемы персонализации интерфейсов. Лидеры в сфере разработки программного обеспечения в настоящее время предоставляют широкий набор инструментов для разработчиков интерфейсов, позволяющих создавать доступные приложения для пользователей с ограниченными возможностями.

Компания Apple включила собственные инструменты для обеспечения доступности приложений непосредственно в операционную систему, причем все настройки доступности приложений могут быть изменены через стандартные контекстные меню. Для разработчиков программных решений под платформу iOS Apple предлагает свое инструментальное средство UIKit [5] для улучшения доступности интерфейсов приложений. Основная цель UIKit – обеспечить возможность персонализировать интерфейс за счет настроек для людей с ограниченными возможностями. На данный момент поддерживаются следующие виды ограничений: нарушения зрения (слепота, дальтонизм, проблемы с фокусировкой), нарушения слуха (глухота, частичная потеря слуха), физические нарушения и нарушения моторики (трудности с удержанием устройства, трудности с нажатием на экран или на кнопки), психические нарушения (проблемы с запоминанием этапов выполнения задачи, с восприятием самой задачи).

Помимо UIKit iOS предоставляет и другие средства для улучшения доступности приложений, например, VoiceOver, SwitchControl и AssistiveTouch. Все эти инструменты могут быть интегрированы в разрабатываемые приложения. В дополнение к этому iOS предоставляет возможность разработчикам использовать в своих приложениях классы и интерфейсы, отвечающие за доступность приложений. Например, класс UI Accessibility предоставляет информацию обо всех элементах пользовательского интерфейса.

Создатели операционной системы Android также разрабатывают программные средства для обеспечения доступности приложений. Настройки доступности встроены в операционную систему, начиная с Android 6.0. Эти настройки включают в себя возможность увеличивать элементы интерфейса, изменять размер шрифта, менять контрастность и включать подписи к элементам интерфейса. Последняя версия операционной системы включает в себя Android Accessibility Suite, который состоит из следующих компонентов:

1. TalkBack – озвучивает действия пользователя и предупреждает его о поступивших оповещениях или уведомлениях.
2. SelecttoSpeak – позволяет озвучить выбранный на экране текст.
3. VoiceAccess – позволяет пользователю управлять устройством с помощью голосовых команд.
4. BrailleBack – позволяет пользователю подключить дисплей Брайля к устройству через Bluetooth.
5. SoundAmplifier – позволяет фильтровать и усиливать звук в окружающей среде с использованием наушников.

Так же, как и для iOS, разработчики Android предоставляют специализированные классы для создания доступных приложений, которые содержат методы генерации событий и реагирования на них для элементов интерфейса. Чтобы быть уверенным, что приложение может использоваться людьми с ограниченными возможностями, Android создал утилиту AccessibilityScanner, которая собирает такую информацию, как дублирующиеся ссылки, недоступные ссылки, элементы без текстового сопровождения, дублирующиеся описания элементов, коэффициент контрастности для объектов менее 3.0 и многое другое.

Компания Microsoft располагает большим набором инструментов, поддерживающих разработку приложений для людей с различными нарушениями здоровья. На данный момент разработаны программные средства для поддержки людей с нарушением зрения, слуха, нарушениями работы нервной системы, физическими отклонениями и психическими нарушениями.

Microsoft предоставляет исчерпывающую документацию [15] об обеспечении доступности веб-приложений и настольных программ. Кроме того, имеется отдельный обзор общих принципов обеспечения доступности с подробным описанием. Помимо специализированных классов для разработчиков компания предоставляет новую технологию разработки доступных приложений – MicrosoftActiveAccessibility. Она основана на COM (ComponentObjectModel), что позволяет улучшить доступность приложений, написанных под операционную систему Windows. Эта технология включает в себя надежные методы предоставления информации об элементах интерфейса. Основным СОМ-интерфейсом технологии является IAccessible, который предоставляет информацию об элементах графического интерфейса пользователя. Наконец, Microsoft разработала инструмент для тестирования интерфейсов на доступность, который называется UIAccessibilityChecker. Он проверяет соответствие основных требований доступности в приложении.

Проанализировав методы обеспечения доступности, предлагаемые ведущими компаниями по разработке программных продуктов, мы можем утверждать, что сейчас доступно множество методов и инструментов для обеспечения доступности приложений. Однако необходимость их использования оставлена на усмотрение разработчиков и напрямую зависит от их опыта, квалификации и навыков, мотивации к обеспечению удобства работы пользователей с ограниченными возможностями. Важнейшим моментом в разработке доступных приложений для таких людей [7] являются вопросы адаптации и персонализации пользовательского интерфейса. Можно выделить два основных подхода к адаптации интерфейса: онтологический подход (проекты AEGIS [8] и EGOKI [16]) и подход, основанный на паттернах (MyUIProject [7]). Авторы подробно проанализировали эти подходы и соответствующие программные инструменты в работах [10, 11, 12, 13].

Несмотря на разнообразие существующих технологий для разработки доступных приложений, не существует единого универсального инструмента для создания адаптивных персонализированных интерфейсов для пользователей с ограниченными возможностями. Поэтому целью нашего проекта является создание специального инструмента InterfaceEditor, который позволяет разрабатывать адаптивные интерфейсы для кроссплатформенных доступных приложений. Чтобы обеспечить адаптивность и персонализацию интерфейса, авторы объединили подходы на основе онтологий и паттернов, что позволило реализовать этот комбинированный подход в первой версии InterfaceEditor [10].

Тестирование интерфейсов, разработанных с помощью указанного редактора интерфейсов, в группах пользователей с ограниченными возможностями выявило ряд проблем. Они были вызваны недостаточным учетом изменения контекста пользователя во время его взаимодействия с интерфейсом. Под контекстом пользователя понимается информация о его действиях в приложении, характеристиках устройства, изменениях в нарушениях здоровья. Данная статья описывает процесс разработки интерфейса и онтологической модели, которые учитывают информацию о поведении пользователя и изменение контекста пользователя.

Правила адаптации и рекомендации. В нашем проекте мы реализовали наиболее важные рекомендации по обеспечению доступности интерфейса в соответствии с W3C [19]. Основные принципы этого руководства определяют понятный, функциональный, легкий в восприятии и надежный интерфейс.

Понятный интерфейс должен соответствовать следующим требованиям.

1. Все мультимедийные данные, представленные пользователю, должны иметь текстовую альтернативу.
2. Если у интерфейса есть виджеты (элементы интерфейса) для ввода текста, то они должны сопровождаться кратким и ясным текстовым описанием.
3. Если невозможно использовать текстовую альтернативу некоторым элементам интерфейса, то текст виджета должен содержать как минимум описательную информацию об этих элементах.

4. Цвета не должны играть ключевую роль во взаимодействии пользователя с интерфейсом.
5. Пользователь должен иметь возможность изменять размер шрифта, цвет и стиль текста, а также цвет фона.

6. Коэффициент контрастности [18] между элементами интерфейса и их фоном должен быть не менее 7:1.

7. Размер текста может быть при необходимости увеличен пользователем до 200 %.

Функциональный интерфейс должен соответствовать следующим требованиям.

1. Интерфейс не должен содержать анимацию, которая может спровоцировать эпилептические припадки у пользователей.

2. Все элементы интерфейса должны быть доступны с помощью клавиатуры, т.е. пользователь может при необходимости работать с приложением и с помощью периферийных устройств.

3. Пользователь должен иметь возможность останавливать, приостанавливать или перезапускать мультимедийный контент.

4. Приложение должно уведомлять пользователя о любых неожиданных сбоях, предлагать сохранить данные или завершить все текущие задачи.

5. Компоненты интерфейса получают фокус в логическом порядке.

Легкий в восприятии интерфейс должен соответствовать следующим требованиям.

1. Язык интерфейса по умолчанию должен определяться приложением, однако у пользователя должна быть возможность изменить его.

2. Интерфейс не должен изменять контекст, если произошло какое-либо событие (нажатие кнопки, изменение текста для виджетов ввода).

3. Контекстная информация пользователя может быть изменена только пользователем.

4. Процесс навигации должен быть одинаков во всем приложении.

5. Единообразные компоненты интерфейса должны иметь одинаковый функционал.

6. Приложение должно предоставлять пользователю контекстно-зависимую помощь.

7. Приложение должно предупреждать пользователя о возникновении ошибки и предлагать способ ее устранения.

8. Приложение должно проверять данные, которые вводит пользователь.

Надежный интерфейс должен соответствовать основному условию – быть совместимым со всеми текущими и будущими версиями пользовательских устройств, в том числе со вспомогательными периферийными устройствами ввода и вывода.

Большинство приведенных рекомендаций уже было реализовано в первой версии редактора интерфейсов для Unity3D [10] как часть меню настроек. Например, текстовая альтернатива мультимедийному контенту, настройки шрифта и фона приложения, уровень контраста, отключение мерцающего контента и некоторые другие.

На данный момент ведется работа над расширением функциональных возможностей редактора. В новой версии будут реализованы все рекомендации, упомянутые выше. Отличие предлагаемого подхода к адаптации интерфейса от всех существующих заключается в том, что разрабатываемое программное средство включает в себя все варианты рекомендаций, представленных в W3C [19]. Кроме того, разрабатываемый плагин включает в себя базу знаний о заболеваниях пользователей, а также о том, какие ограничения на использование мобильных приложений приносит то или иное нарушение. Такая двойная адаптация позволяет максимально точно подобрать те элементы интерфейса и их характеристики, которые не будут доставлять пользователю неудобства в процессе использования мобильного приложения.

После тестирования первой версии редактора было решено включить паттерны интерфейса в онтологическую модель для обеспечения целостности знаний и упрощения расширения базы паттернов.

Правила адаптации и рекомендации. Для учета контекстной информации о пользователе и его поведении в процессе использования приложения был изменен процесс разработки интерфейсов, представленный в работе [10]. Модернизированный двухэтапный процесс разработки адаптивных персонализированных интерфейсов представлен на рисунке 1.

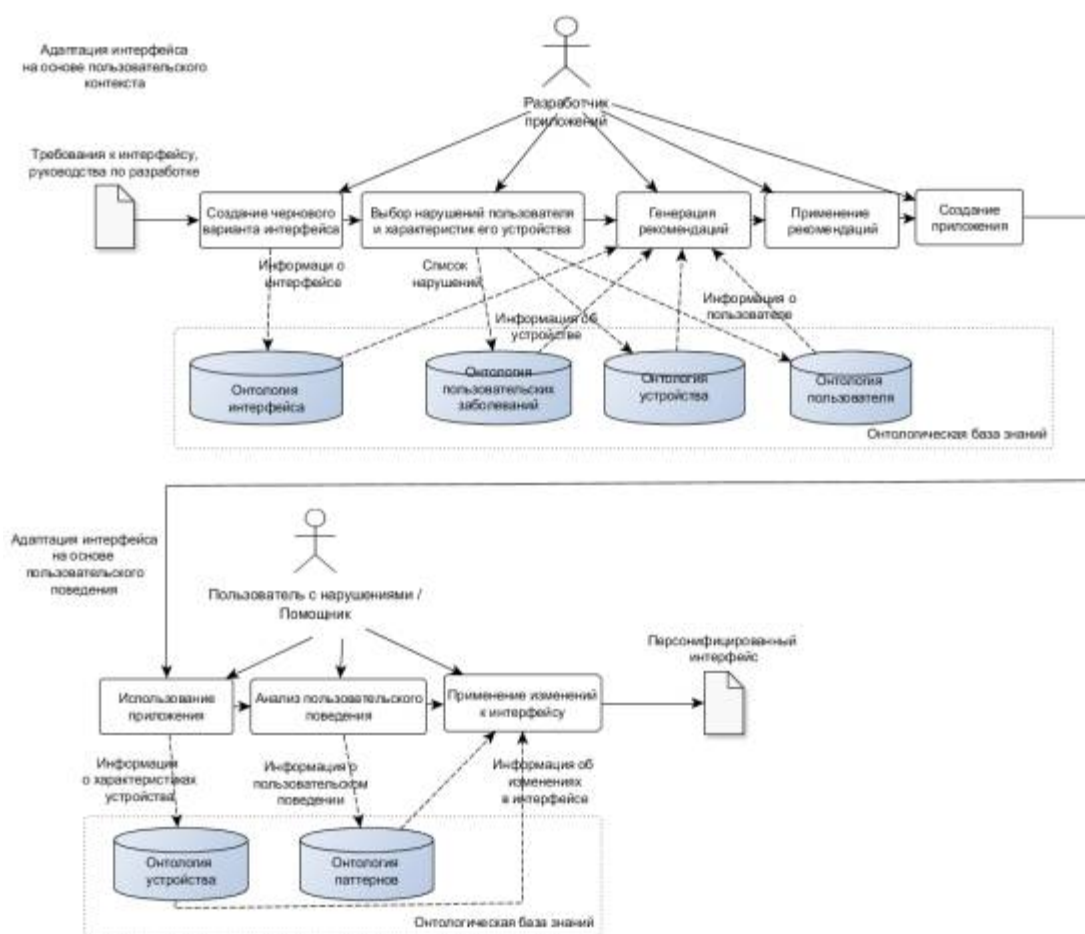


Рисунок 1 – Двухэтапный процесс адаптации интерфейсов

Два главных этапа алгоритма представлены на разных уровнях диаграммы. Первый этап выполняется разработчиком программного обеспечения и включает в себя создание прототипа интерфейса и адаптацию интерфейса в соответствии с пользовательским контекстом. Промежуточный шаг по генерации рекомендаций и проверке интерфейса на соответствие правилам выполняет система. Второй этап процесса затрагивает непосредственно пользователей приложения и состоит из использования интерфейсов и их персонализации на основе информации о пользовательском поведении и изменении контекста.

Для генерации рекомендаций на первом этапе используются экспертные знания о заболеваниях пользователя, а также об устройствах пользователя, хранящиеся в онтологической базе знаний. На втором этапе используется онтологическая модель паттернов интерфейсов и устройств пользователя. Онтология паттернов содержит знания о возможных изменениях элементов интерфейсов (по рекомендациям W3C) в соответствии с изменениями пользовательского поведения, вызванными изменением контекстной информации.

Например, пользователь имеет проблемы со зрением средней тяжести. Интерфейс приложения разработан под данный вид нарушений в редакторе интерфейсов. После использования приложения в течение некоторого времени проблемы со зрением пользователя усугубились, что привело к изменению контекста. Возможна ситуация, при которой пользователь будет не способен нажимать кнопки и читать текст с дисплея. Чтобы настроить интерфейс под изменившийся контекст, пользователь или его помощник может изменить настройки интерфейса в приложении, что приведет к изменению соответствующих элементов интерфейса.

Для реализации такого процесса необходимо было пересмотреть онтологическую модель знаний, разработать онтологическую модель паттернов интерфейса и создать набор паттернов интерфейса.

Онтологическая модель предметной области. В соответствии с описанным процессом разработки интерфейса была переработана метаонтология предметной области (рис. 2) с целью включения онтологической модели паттернов интерфейса.

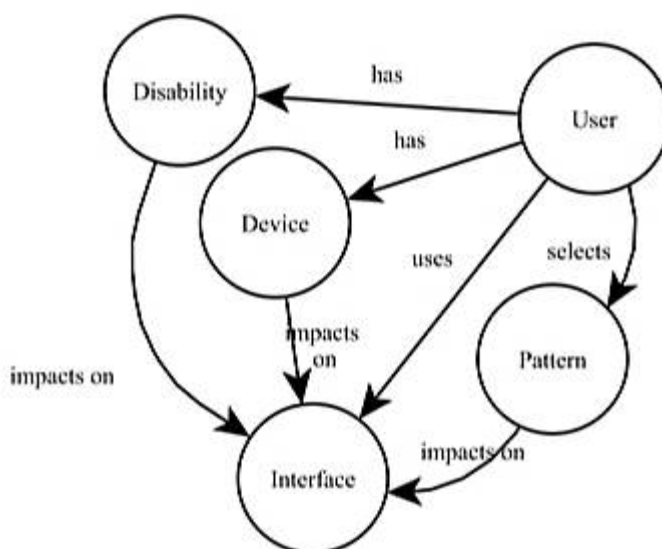


Рисунок 2 – Метаонтология предметной области

Данную модель можно представить следующим образом:

$$M = \langle O_M, C, Inst, R, I \rangle,$$

где M – метаонтология;

$O_M = \{O_{User}, O_{Dis}, O_{Int}, O_{Dev}, O_{Pat}\}$ – набор онтологий областей, O_{User} – онтология пользователя, O_{Dis} – онтология заболевания пользователя, O_{Int} – онтология интерфейса, O_{Dev} – онтология устройства пользователя, O_{Pat} – онтология паттернов интерфейса;

C – конечный набор концептов метаонтологии, $C = \emptyset$;

$Inst$ – конечный набор сущностей мета-онтологии, $Inst = \emptyset$; $R = \{has, impacts_on, uses, selects\}$ – конечный набор отношений между компонентами метаонтологии;

I – конечный набор правил интерпретации, $I = \emptyset$.

Онтологическая модель паттернов интерфейса связана с онтологией пользователя, поскольку пользователь может напрямую персонализировать свой интерфейс через меню настроек. Модель паттернов была реализована в первой версии редактора интерфейса [11], однако она не была включена в онтологическую базу знаний. Главный недостаток такого подхода – контекст мог меняться независимо от поведения пользователя, кроме того, условия замены одного виджета другим не были включены ни в какие стандарты разработки интерфейса.

Основное преимущество предложенной модифицированной модели онтологии (рис. 2) состоит в том, что модели интерфейса и паттернов интерфейса были разделены. Поэтому контекст теперь может меняться в соответствии с поведением пользователя. Все шаблоны, включенные в онтологию паттернов, соответствуют рекомендациям W3C. Кроме того, предложенная онтологическая модель может быть легко расширена путем добавления новых паттернов интерфейса.

Онтология паттернов интерфейса представлена на рисунке 3 и может быть описана следующим образом:

$$O_{Pat} = \langle C_{Pat}, Inst_{Pat}, R_{Pat}, I_{Pat} \rangle,$$

где C_{Pat} – конечный набор концептов онтологии области заболеваний;

$Inst_{Pat}$ – конечный набор сущностей онтологии заболеваний, $Inst = \emptyset$;

$R_{Pat} = \{isa, impacts_on\}$ – конечный набор отношений между компонентами онтологии заболеваний;

I_{Pat} – конечный набор правил интерпретации, $I_{Dis} = \emptyset$.

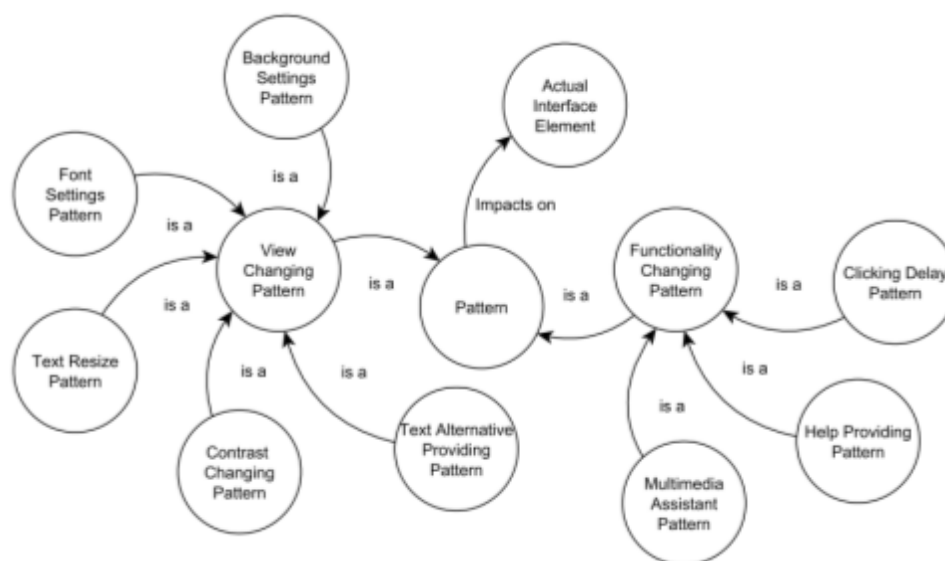


Рисунок 3 – Онтологическая модель паттернов интерфейса

Все паттерны интерфейса разделены на две группы: паттерны, которые изменяют внешний вид элемента интерфейса, и паттерны, которые изменяют функциональность элемента интерфейса. Каждый паттерн связан с фактическим элементом интерфейса и имеет доступ к его свойствам. Все паттерны в онтологии были представлены с помощью Jena-правил [3]. Примеры паттернов изменения шрифта представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Паттерн изменения размера шрифта

Название	Паттерн изменения размера шрифта
Проблема	Пользователь может испытывать затруднения с чтением или вводом текста установленного размера
Решение	Позволить увеличивать размер шрифта до 200 %
Реализация	Получить каждый текстовый компонент каждого элемента интерфейса и увеличить размер шрифта

Онтологическое представление этого паттерна показано на рисунке 4: интерфейс содержит два текстовых элемента интерфейса. Каждый текстовый элемент имеет текущий размер шрифта. Каждый экземпляр текстового элемента отслеживается с помощью паттерна изменения размера шрифта текста. Он содержит текущий размер шрифта, а также два ограничения на размер шрифта: размер шрифта не может быть меньше 8 и больше 32 пунктов в соответствии с решением из таблицы 1.

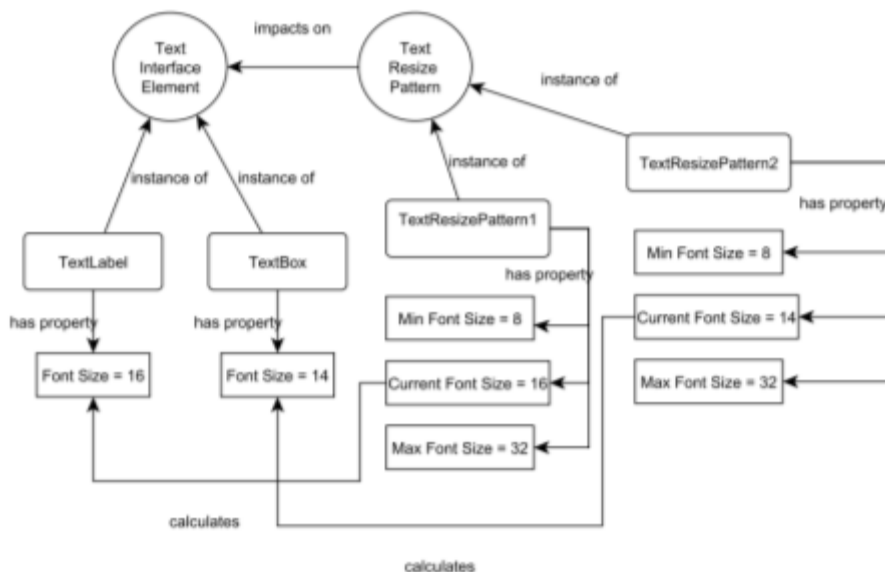


Рисунок 4 – Онтологическое представление паттерна изменения размера шрифта

Соответствующее Jena-правило представлено ниже.

User:hasNecessityToIncreaseText (?user, VisionDisability) ^ User:hasInterface (?user, ?interface) ^ Interface:hasElement(?interface, ?element) ^ Element:type(?element, ActualTextContentElement) → Element (?element, hasTextSize ?newTextSizeValue),

где ?user, ?interface, ?element, ?newTextSizeValue – переменные Jena;

hasNecessityToIncreaseText, hasInterface, hasElement, hasTextSize – отношения между концептами онтологической модели;

VisionDisability, ActualTextContentElement – сущность онтологической модели интерфейса.

Примеры паттернов помощи работы с мультимедиа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Паттерн помощи работы с мультимедиа

Название	Паттерн помощи работы с мультимедиа
Проблема	Пользователь хочет воспроизвести, приостановить или остановить воспроизведение мультимедийного контента
Решение	Добавить кнопки «Стоп», «Перезапуск» и «Воспроизведение» всем мультимедийным элементам интерфейса
Реализация	Получить все мультимедийные элементы интерфейса и активировать панель с кнопками управления содержимым элементов

Онтологическое представление паттерна из таблицы 2 показано на рисунке 5: интерфейс содержит два элемента мультимедийного типа: видео- и аудиоэлемент. Каждый виджет имеет свойство для активации панели с кнопками «Стоп», «Перезапуск» и «Воспроизведение». Каждый экземпляр мультимедийного виджета отслеживается и может быть изменен с помощью паттерна.

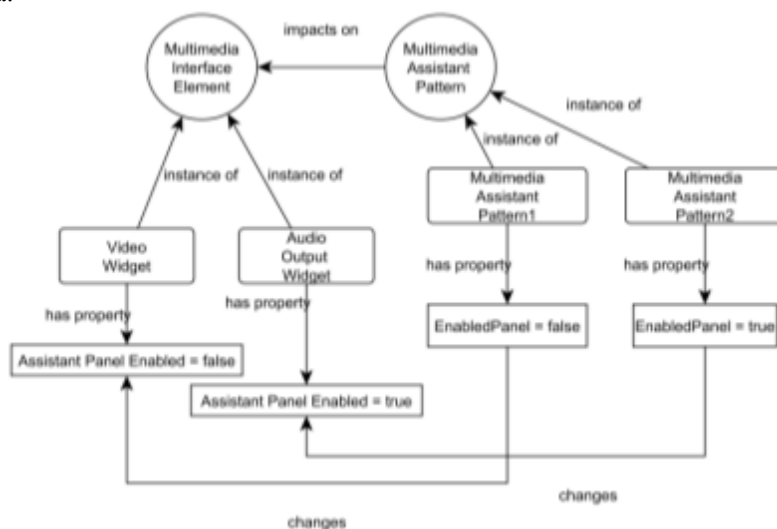


Рисунок 5 – Паттерн помощи работы с мультимедиа

Соответствующее Jena-правило представлено ниже.

User:hasInterface (?user, ?interface) ^ Interface: hasElement(?interface, ?element) ^ Element:type(?element, ActualMultimediaContentElement) → Element (?element, hasMultimediaControlButtons?buttons),

где ?user, ?interface, ?element, ?buttons – переменные Jena;

hasInterface, hasElement, hasMultimediaControlButtons – отношения между концептами онтологической модели;

ActualTextContentElement – сущность онтологической модели интерфейса.

На данный момент база паттернов интерфейса находится на стадии внедрения. Использование онтологической модели паттернов интерфейса дало ряд преимуществ, таких как простота расширения, поддержки и повторного использования онтологической модели. К настоящему моменту онтологическая база содержит реализацию 6 паттернов в виде 32 правил. Эти правила охватывают нарушения зрения и частично нарушения моторики движений пользователя. Часть онтологической базы, предназначенная для поддержки компенсации ментальных нарушений, нарушений слуха и физических нарушений будет реализована в дальнейшем.

Закключение. В данной статье проанализированы существующие подходы к разработке адаптивных пользовательских интерфейсов для людей с ограниченными возможностями. Описан модернизированный процесс разработки интерфейса, включающий в себя этап персонализации интерфейса на основе информации о поведении пользователя при взаимодействии с интерфейсом. Также в статье приведена онтологическая модель предметной области, включающая в себя онтологию паттернов интерфейса.

На данный момент авторы работают над расширением базы паттернов интерфейсов, чтобы охватить большинство возможных ситуаций, которые могут привести к изменению пользовательского контекста при взаимодействии пользователя с интерфейсом.

Для дальнейшей работы планируется создать специальную процедуру для разрешения конфликтных ситуаций, которые могут возникнуть во время персонализации интерфейса. Приложение JAVA для работы с онтологией в первой версии InterfaceEditor должно быть заменено библиотекой dll, что сделает приложение более стабильным, унифицированным и более простым для тестирования.

В конечном счете будет улучшен и дополнен двухэтапный метод адаптации интерфейсов с использованием онтологической модели предметной области, который будет включать в себя полный набор правил для вывода решений на основе списка заболеваний пользователя, характеристик его устройства, а также информации о поведении пользователя в течение процесса взаимодействия с приложением. Данный улучшенный метод ляжет в основу второй версии плагина адаптации интерфейсов для Unity 3D.

Библиографический список

1. Брумштейн Ю. М. Анализ структуры сайтов академий наук некоторых зарубежных стран / Ю. М. Брумштейн, Н. В. Васильев // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. – 2019. – № 1. – С. 9–24.
2. AEGIS Ontology. – Режим доступа: <http://www.aegis-project.eu>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 21.06.19).
3. Apache Jena official website, Reasoners and rule engines: Jena inference support. – Режим доступа: <https://jena.apache.org/documentation/inference>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.09.19).
4. Android Developers official website. – Режим доступа: <http://developer.android.com/guide/topics/ui/accessibility>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.06.19).
5. Apple official developer website, Apple Inc. – Режим доступа: <http://developer.apple.com/documentation/uikit/accessibility/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.06.19).
6. Apple official website, Apple Inc. – Режим доступа: <http://support.apple.com/accessibility/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.06.19).
7. Elias M. Towards an Ontology-based Representation of Accessibility Profiles for Learners / M. Elias, S. Lohmann, S. Auer // Proceedings of the Second International Workshop on Educational Knowledge Management. – November, 2016. – Vol. 1780.
8. Gamecho B. Automatic Generation of Tailored Accessible User Interfaces for Ubiquitous Services / B. Gamecho, R. Minon, A. Aizpurua, I. Cearreta, M. Arrue, N. Garay-Vitoria, J. Abaskal // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. – October, 2015. – Vol. 45, № 5. – P. 612–623.
9. Google, Web. – Режим доступа: <http://www.google.com/intl/en/accessibility/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.06.19).
10. Kultsova M. A Two-phase Method of User Interface Adaptation for People with Special Needs / M. Kultsova, I. Zhukova, A. Potselico, A. Skorikov, R. Romanenko // Proceedings of the CITDS2017Conference. Volgograd, Russia, September, 2017. – Volgograd, 2017.
11. Kultsova M. An Ontology-based Adaptation of User Interface for People with Special Needs / M. Kultsova, R. Romanenko, A. Anikin, A. Podelico // Proceedings of the AINL FRUCT 2016Conference. Saint-Petersburg, Russia, November, 2016. – Saint-Petersburg, 2016.
12. Kultsova M. An Ontology-based Approach to Automated Generation of Adaptive User Interface Based on User Modeling / M. Kultsova, R. Romanenko, A. Anikin, A. Podelico // Proceedings of the IISA2016 Conference. Khalkidiki, Greece, July, 2016. – Khalkidiki, 2016.
13. Kultsova M. Assistive mobile application for support of mobility and communication of people with IDD / M. Kultsova, R. Romanenko, I. Zhukova, A. Usov, N. Penskov, T. Potapova // Proceedings of the MobileHCI 16 Conference. Florence, Italy, July, 2016. – Florence, 2016.
14. Lempert L. Development of the intellectual decision-making support method for medical diagnostics in psychiatric practice / L. Lempert, A. Kravets, B. Lempert, O. Poplavskaya, N. Salnikova // Proceedings of the IISA 2018Conference. Zakynthos, Greece, July, 2018. – Zakynthos, 2018.
15. Microsoft official website. – Режим доступа: <http://www.microsoft.com/en-us/accessibility>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 30.06.19).
16. Peissner M. A Design Patterns Approach to Adaptive User Interfaces for Users with Special Needs

/ M. Peissner, A. Shuller, D. Spath // *Proceedings of the HCII Conference*. – July, 2011. – P. 268–277.

17. The World Bank official website. – Режим доступа: <http://www.worldbank.org/en/topic#1>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 24.06.19).

18. UXPub official website, Ux дизайн, цвет. – Режим доступа: <https://ux.pub/cvetovoj-kontrast-v-dizajne-interfejsovp-ostandartam/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.09.19).

19. W3C official website, World Wide Web Consortium. – Режим доступа: <http://www.w3.org/standards/webdesign/accessibility/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 24.06.19).

References

1. Brumshteyn Yu. M., Vasilyev N. V. Analiz struktury saytov akademiya nauk nekotorykh zarubezhnykh stran [Structural analysis of websites of Academies of Sciences of some foreign countries]. *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Series 2. Informatsionnye protsessy i sistemy* [Scientific and technical information. Ser. 2. Information processes and systems], 2019, vol. 53, no. 1, pp. 16–31.

2. AEGIS Ontology. Available at: <http://www.aegis-project.eu> (accessed 21.06.19).

3. Apache Jena official website, Reasoners and rule engines: Jena inference support. Available at: <https://jena.apache.org/documentation/inference> (accessed: 01.09.19).

4. Android Developers official website. Available at: <http://developer.android.com/guide/topics/ui/accessibility> (accessed 30.06.19).

5. Apple official developer website, Apple Inc. Available at: <http://developer.apple.com/documentation/uikit/accessibility/> (accessed 30.06.19).

6. Apple official website, Apple Inc. Available at: <http://support.apple.com/accessibility/> (accessed 30.06.19).

7. Elias M., Lohmann S., Auer S. Towards an Ontology-based Representation of Accessibility Profiles for Learners. *Proceedings of the Second International Workshop on Educational Knowledge Management*, November, 2016, vol. 1780.

8. Gamecho B., Minon R., Aizpurua A., Cearreta I., Arrue M., Garay-Vitoria N., Abaskal J. Automatic Generation of Tailored Accessible User Interfaces for Ubiquitous Services. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, October, 2015, vol. 45, no. 5, pp. 612–623.

9. Google, Web. Available at: <http://www.google.com/intl/en/accessibility/> (accessed 30.06.19).

10. Kultsova M., Zhukova I., Potselucio A., Skorikov A., Romanenko R. A Two-phase Method of User Interface Adaptation for People with Special Needs. *Proceedings of the CITDS2017Conference*. Volgograd, Russia, September, 2017. Volgograd, 2017.

11. Kultsova M., Romanenko R., Anikin A., Podeluico A. An Ontology-based Adaptation of User Interface for People with Special Needs. *Proceedings of the AINL FRUCT 2016Conference*. Saint-Petersburg, Russia, November, 2016. Saint-Petersburg, 2016.

12. Kultsova M., Romanenko R., Anikin A., Podeluico A. An Ontology-based Approach to Automated Generation of Adaptive User Interface Based on User Modeling. *Proceedings of the IISA2016 Conference*. Khalkidiki, Greece, July, 2016. Khalkidiki, 2016.

13. Kultsova M., Romanenko R., Zhukova I., Usov A., Penskoj N., Potapova T. Assistive mobile application for support of mobility and communication of people with IDD. *Proceedings of the MobileHCI 16 Conference*, Florence, Italy, July, 2016. Florence, 2016.

14. Lempert L., Kravets A., Lempert B., Poplavskaya O., Salnikova N. Development of the intellectual decision-making support method for medical diagnostics in psychiatric practice. *Proceedings of the IISA 2018 Conference*. Zakynthos, Greece, July, 2018. Zakynthos, 2018.

15. Microsoft official website. Available at: <http://www.microsoft.com/en-us/accessibility> (accessed 30.06.19).

16. Peissner M., Shuller A., Spath D. A Design Patterns Approach to Adaptive User Interfaces for Users with Special Needs. *Proceedings of the HCII Conference*, July, 2011, pp. 268–277.

17. The World Bank official website. Available at: <http://www.worldbank.org/en/topic#1> (accessed 24.06.19).

18. UXPub official website. Available at: <https://ux.pub/cvetovoj-kontrast-v-dizajne-interfejsovp-ostandartam/> (accessed 01.09.19).

19. W3C official website, World Wide Web Consortium. Available at: <http://www.w3.org/standards/webdesign/accessibility/> (accessed 24.06.19).

УДК 004.822:338.482.22

СБОР И АНАЛИЗ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ УСЛУГАМИ ЖКХ ПО ВОДОСНАБЖЕНИЮ И ВОДООТВЕДЕНИЮ

Статья поступила в редакцию 30.08.2019, в окончательном варианте – 03.09.2019.

Ясир Шакир, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, аспирант, e-mail: yasiralshakir@gmail.com

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

Анохин Александр Олегович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, магистрант, e-mail: maythe4bewyou@gmail.com

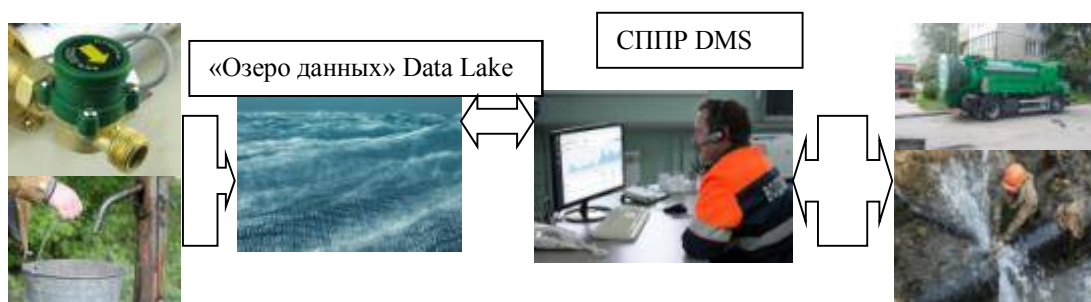
Пивоваров Валентин Васильевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, студент, e-mail: enitnel@gmail.com

Астанков Алексей Александрович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, студент, e-mail: lehaastankov5@mail.ru

В статье представлены результаты анализа современных тенденций и методологий управления («Цифровая экономика», Industry 4.0, «Управление, основанное на данных»), исследование подходов к сбору и анализу данных на предприятиях водоснабжения и водоотведения. Анализ работы ЖКХ РФ и систем водоснабжения в частности позволил выявить характерные особенности и недостатки использования существующих технологий. Целью исследования являлась разработка подхода к решению задачи поддержки принятия решений при управлении услугами ЖКХ по водоснабжению и водоотведению на основе реализации механизмов сбора и анализа гетерогенной информации согласно парадигме «управление, основанное на данных». В ходе проведенных исследований создана структурно-функциональная модель бизнес-процессов водоснабжения и BPMN-модель процесса водоснабжения; выполнена формализация задачи поддержки принятия решений и реализована модель процесса принятия решений в нотации DMN; разработана концепция системы сбора и анализа гетерогенной информации на основе технологии «Озеро данных».

Ключевые слова: управление услугами ЖКХ, водоснабжение и водоотведение, сбор и анализ гетерогенной информации, системы поддержки принятия решений, управление, основанное на данных, озеро данных

Графическая аннотация (Graphical annotation)



COLLECTION AND ANALYSIS OF HETEROGENEOUS DATA IN THE MANAGEMENT OF HOUSING SERVICES ON WATER SUPPLY AND WATER DISPOSAL

The article was received by the editorial board on 30.08.2019, in the final version – 03.09.2019.

Yasir Shakir, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, postgraduate, e-mail: yasiralshakir@gmail.com

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

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

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

undergraduate, e-mail: maythe4bewyou@gmail.com

Pivovarov Valentin Vasilievich, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

student, e-mail: enitnel@gmail.com

Astankov Aleksey Aleksandrovich, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

student, e-mail: lehaastankov5@mail.ru

The article presents the results of the analysis of modern trends and management methodologies ("Digital Economy", Industry 4.0, "Data-Based Control"), a study of approaches to collecting and analyzing data in water supply and sanitation enterprises. Analysis of the operation of the housing and communal services of the Russian Federation and water supply in particular made it possible to identify characteristic features and disadvantages. The aim of the study was to develop an approach to solving the problem of decision support in managing housing and communal services in water supply and sanitation based on the implementation of mechanisms for collecting and analyzing heterogeneous information according to the paradigm of "data-based management". In the course of the research, a structural-functional model of water supply business processes was created and BPMN-model of the water supply process; formalized the task of supporting decision-making and implemented a model of the decision-making process in DMN notation; the concept of a system for collecting and analyzing heterogeneous information based on the "Data Lake" technology was developed.

Keywords: utilities services management; water supply and sanitation; collection and analysis of heterogeneous information; decision-making support systems; data-based control, data lake

Введение. Современные тенденции и методологии управления («Цифровая экономика», Industry 4.0, «Управление, основанное на данных») выдвигают новые требования организации информационной базы предприятия для принятия управленческих решений, от уровня которой зависит оперативность и эффективность этих решений [16]. Основной объем управленческой информации формируется на основе учетных данных [3]. Однако, как показало исследование подходов к сбору и анализу данных на предприятиях водоснабжения и водоотведения, формирование исходной информации не соответствует новым требованиям организации управления [5]. В существующей системе организации учета затрат не используются нормативные показатели, отсутствует нормативная информационная база формирования затрат на определенном технологическом переделе, что затрудняет определение фактической себестоимости продукции, работ и услуг по каждому переделу, выбор оценки факторов, влияющих на ее уровень [24].

В настоящее время именно анализ данных и предиктивная аналитика рассматриваются как стратегический ресурс развития обеспечивающих социально-экономических систем, как способ повышения конкурентоспособности жилищно-коммунальных услуг [20]. В связи с тем, что фактическая себестоимость услуг по водоснабжению и водоотведению является базой для расчета тарифов на эти услуги, необходимость в оперативном управлении затратами возрастает. Однако в настоящее время механизмы сбора и анализа учетной информации на этих предприятиях не позволяют управленческому персоналу получить оперативные данные, пригодные для аналитики.

Сложившаяся практика сбора данных не позволяет формировать фактическую информацию по технологическим переделам, определять фактические потери воды в процессе эксплуатации производственных систем, определять пути снижения себестоимости услуг, идентифицировать аварийные ситуации [10]. Это приводит к тому, что тарифы на услуги предприятий водоснабжения и водоотведения растут, а рост затрат, связанный с бесхозяйственностью и неэффективным управлением, покрывается за счет потребителей. Система управления затратами предприятий ЖКХ должна обеспечить эффективное использования материальных, трудовых, энергетических и финансовых ресурсов [18].

В рамках цифровой экономики меняется схема экономических отношений между производителем и потребителем услуг ЖКХ: информация – администрация – ЖКХ. В этой схеме информация является, с одной стороны, естественной средой взаимодействия всех ресурсов, необходимых для оказания услуг, с другой – представляет собой самостоятельный ресурс, формирующий единую среду взаимодействия [17].

В связи с этим в настоящее время анализ источников данных в системе управления водоснабжением и водоотведением, изучение основных областей применения информационных

технологий, в частности совершенствование бизнес-процессов с использованием информационных систем, представляется особенно актуальным.

Обзор литературы и постановка задачи исследования. Анализ литературы показал, что значительное число статей охватывает сферу жилищно-коммунального хозяйства в целом, выделяя присущие ей проблемы и описывая методы их решения. Так, в статьях [2, 7, 8, 19] предлагаются способы оптимизации процесса сбора данных и управлением бизнес-процессами в сфере ЖКХ с помощью программного обеспечения посредством веб-сервиса и мобильного приложения. Исходя из этого, можно сделать вывод, что вся сфера ЖКХ недостаточно оптимизирована со стороны программного обеспечения, из-за чего претерпевает достаточно большие финансовые убытки [22]. В статье [14] сравниваются программные средства по ряду автоматизируемых функций, а в статье [1] предлагается новый гибкий подход, основанный на принципе интеграции информационных ресурсов снизу/вверх, при этом во главу угла ставится информационная поддержка процессов принятия решений по управлению эксплуатацией ТПС и режимно-технологическими процессами. В статье [4] подробнее раскрываются подходы нижнего уровня (уровень сбора данных и выполнения алгоритмов) и верхнего уровня (уровень диспетчерского управления). Статья [11] также акцентирует внимание на том, что в данной сфере важно внедрение автоматизированных систем, и предлагает метод внедрения автоматизированных систем управления и диспетчеризации, данные методы находят поддержку и в статьях [9, 21]. При этом отдельно рассматриваются экономические аспекты проблемы водоснабжения и водоотведения (ВиВ) [23] (рис. 1).

Анализ работы ЖКХ РФ и водоснабжения в частности позволил выявить характерные особенности и недостатки. Так, основным источником пресной воды, используемой на хозяйственно-бытовые нужды городов, являются поверхностные воды. В сельских населенных пунктах используют подземные воды.



Рисунок 1 – Схема управления сферой водоснабжения и водоотведения региона [23]

Система водоснабжения организована по централизованной схеме в 99,6 % городов, 88 % поселков городского типа и 22 % сельских населенных пунктов. 140 тыс. куб. м воды в сутки доставляется до потребителей непосредственно транспортными средствами. Качество потребляемой воды остается низким для 45 % (16,6 млн чел.) сельского населения, а из децентрализованных источников 11,1 млн чел. используют воду, не удовлетворяющих требованиям к питьевой воде. Особенностью систем водоснабжения является плохое физическое состояние, поскольку износ сетей составляет 50 %. Проблема усугубляется нередким отсутствием качественной очистки и обеззараживания воды (у 68 % водопотребителей городов и 10 % – сельской местности). Значительны потери воды из-за утечек в сетях (более 14 % воды) [12]. Не

слишком благополучная ситуация в водоснабжении населения происходит на фоне лидирующего положения РФ по объему запасов пресной воды по сравнению со странами Европы (табл.). При наличии огромных запасов ресурсов, включая воду, следует искать новые научные подходы к управлению их использованием с целью бесперебойного и качественного обеспечения всего населения страны, снижения непроизводительных потерь и сохранения природных богатств и среды для будущих поколений.

Таблица – Ресурсы пресной воды в странах Европы (куб. км в год)

Страна	Общий объем ресурсов	Страна	Общий объем ресурсов
Россия	7770,6	Норвегия	390,8
Бельгия	20,7	Польша	63,1
Болгария	15,8	Португалия	73,6
Венгрия	120,0	Румыния	42,3
Германия	188,0	Турция	234,3
Греция	72,0	Финляндия	110,0
Дания	16,3	Франция	189,1
Испания	111,1	Швейцария	53,3
Нидерланды	89,7	Швеция	179,0

Таким образом, цель исследования состоит в разработке подхода к решению задачи поддержки принятия решений при управлении услугами ЖКХ по водоснабжению и водоотведению на основе реализации механизмов сбора и анализа гетерогенной информации согласно парадигме «управление, основанное на данных».

Анализ и формализация бизнес-процессов в управлении ВиВ. На основе анализа литературы и технической документации авторами разработана структурно-функциональная модель процесса ВиВ, фрагмент которой представлен на рисунке 2.

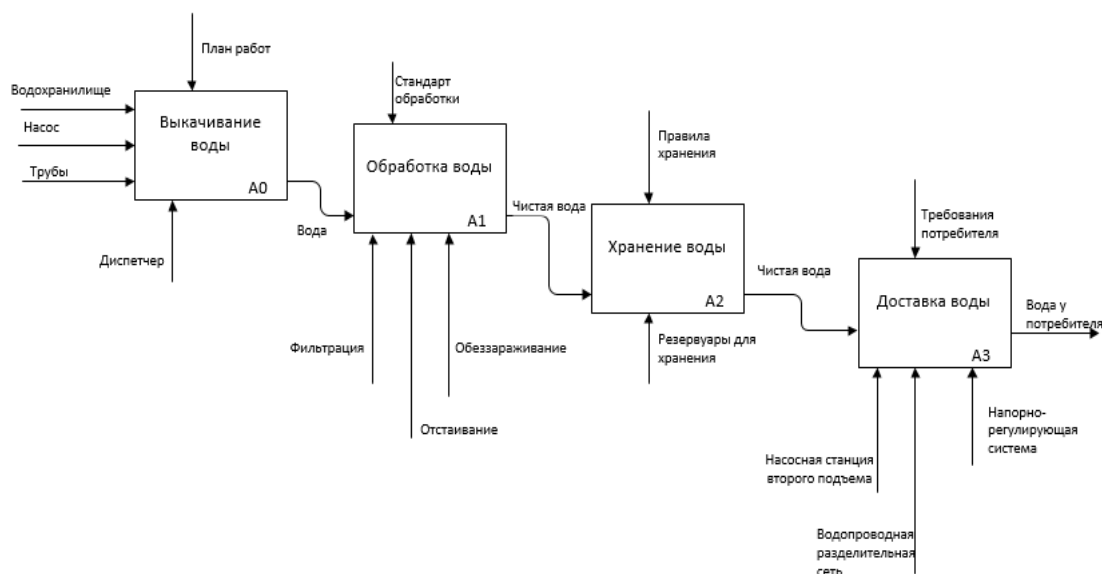


Рисунок 2 – Структурно-функциональная модель бизнес-процессов водоснабжения (фрагмент)

Структурно-функциональная модель бизнес-процессов водоснабжения включает в себя несколько этапов. Первый этап представляет собой сбор воды из водохранилища согласно плану работ. Выполнение этого этапа контролирует диспетчер. Вода, выкачанная из водохранилища, отправляется в комплекс, где происходит её обработка, включающая в себя отстаивание, фильтрацию и обеззараживание. Выполнение этого этапа регулируется согласно стандарту обработки воды. Очищенная вода поступает в резервуары хранилища, где и хранится согласно определённым правилам. Из хранилища вода поставляется потребителям посредством насосных станций и водопроводной сети. Вода должна соответствовать определённым требованиям, предъявляемым потребителем.

На рисунке 3 определены участники, вовлечённые в процесс добычи и обработки воды, а также их функции управления. Данная BPMN-диаграмма позволяет выявить все функции управления, которые подлежат автоматизации.

Вода выкачивается из источников и поступает в водоприёмное сооружение или скважину. На этом этапе определяется, является ли добытая вода достаточно чистой и может быть сразу доставлена потребителю, или её нужно очищать. Для реализации этого этапа необходима система датчиков и анализаторов, собирающих данные о состоянии воды [6].

Этап первичной обработки воды вовлекает в себя использование очистных сооружений, где установлены отстойники, в которых специальные датчики отслеживают состояние поступившей воды и на основе этих данных определяют, как долго нужно отстаивать воду, добытую из различных источников. Этот процесс принятия решений вовлекает в себя операторов отстойников и технический персонал.

После того, как вода отстоялась, происходит её фильтрование, которое контролируется анализаторами состояния воды, которые могут определить, требуется ли воде дополнительная очистка или её можно подавать дальше. Вода обеззараживается под контролем группы специалистов по проверке чистоты воды.

Чистая вода поступает в специальные резервуары, откуда посредством насосных станций подаётся либо в городскую водопроводную сеть, откуда может быть получена конечными потребителями, либо в напорно-регулирующее сооружение.

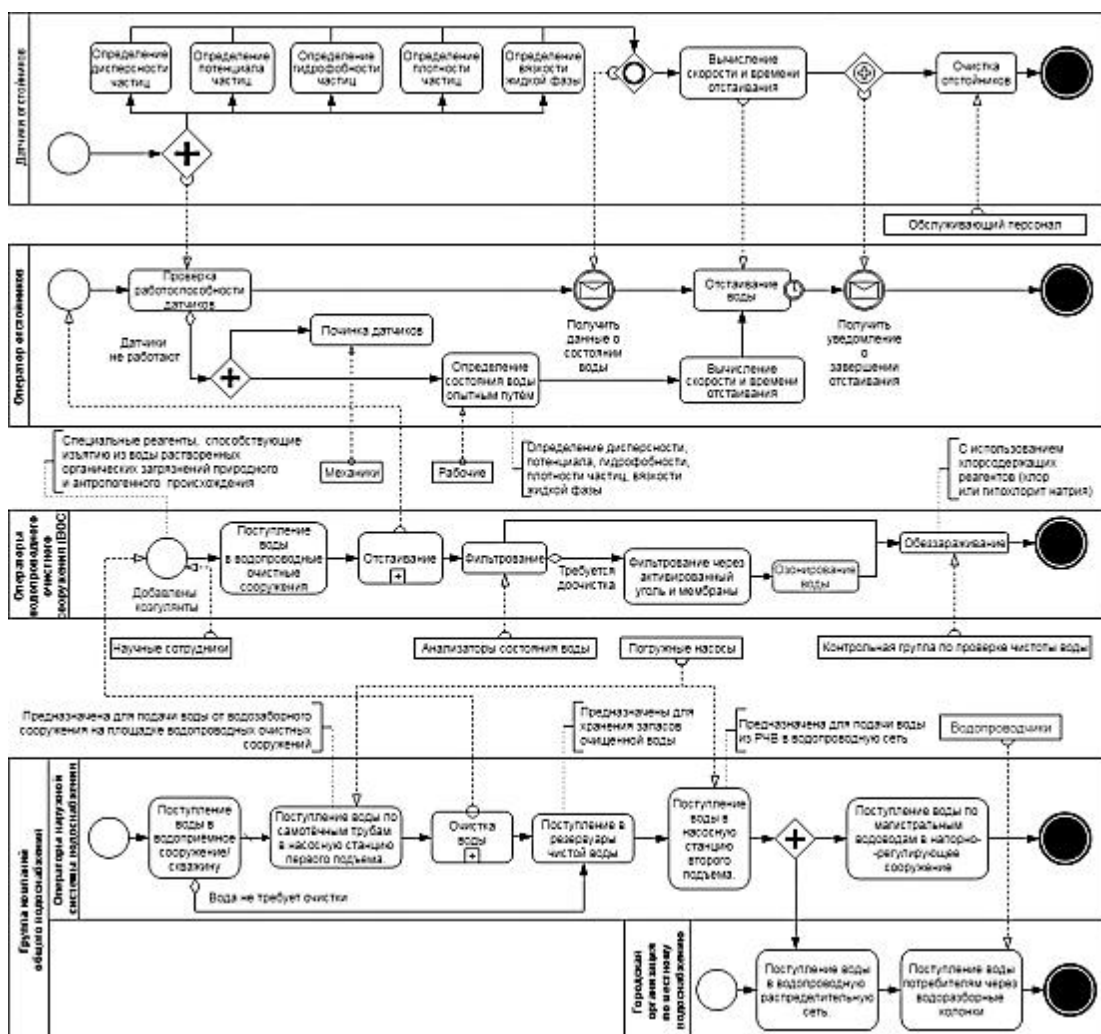


Рисунок 3 – BPMN-диаграмма процесса водоснабжения

В результате анализа бизнес-процессов была выполнена постановка задачи поддержки принятия решений.

Формализация задачи поддержки принятия решений (ППР). Для формализации задачи ППР было проведено моделирование процесса принятия решений с применением Decision-Making Notation (DMN). Наиболее сложным для моделирования оказался этап подачи воды потребителю, где существенно разнятся действия оператора/диспетчера в зависимости от вида поступающего сигнала [12]. Сигналы, поступающие в систему ППР, делятся на два типа.

Первый тип сигналов – это сигналы с датчиков, установленных в водопроводной сети. В систему могут поступать сигналы о том, что оборудование изношено, произошёл прорыв водопроводной трубы, качество воды не соответствует стандартам. Информация такого рода может быть оценена системой самостоятельно и не требует вовлечения людей. Система может определять, насколько важна поступившая информация: так, если уровень опасности сигнала низкий, система может принять решение пока ничего не делать и проконтролировать дальнейшее состояние проблемного участка. В случае, если уровень опасности сигнала высокий или произошла авария, система определит, были ли подобные случаи ранее. Если случаи были, система примет решение действовать похожим образом и отправит ремонтную бригаду. Если таких случаев не было, система отправит бригаду на место происшествия с дальнейшей записью информации об их действиях в базу данных.

Второй тип сигналов – заявки от потребителей. Потребитель может пожаловаться на ненадлежащее качество воды, её отсутствие, износ оборудования. В случае, если обращение потребителя посвящено ненадлежащему оказанию услуг, в первую очередь система должна определить, действительно ли у потребителя есть основания считать, что услуги оказаны неправильно. Система проверит показания датчиков, установленных в трубопроводе. Если потребитель не ошибся, и действительно есть отклонения от нормы, будет вызвана ремонтная бригада, которая устранит причины обращения. Если показания потребителя и датчиков не сходятся, обращение будет передано диспетчеру для дальнейшего выяснения. В ходе разговора диспетчер выяснит у потребителя, есть ли у него действительно причины жаловаться, и, если нужно, отправит ремонтную бригаду.

Все вызовы бригад записываются в соответствующую таблицу базы данных, по которой впоследствии можно будет определить, когда в последний раз проводилось обслуживание проблемного участка водопроводной сети, что стало причиной неисправности, а также какие действия были приняты бригадой – на основе этой информации в дальнейшем можно будет устранять подобные неисправности тем же образом.

Общий вид диаграммы приведён на рисунке 4. Строки «Тип сигнала» (SignalType) и «Сигнал» (Signal) подаются в таблицу вывода «Получить тип сигнала» (GetSignalType). Выходное значение этой таблицы вывода подаётся в новую таблицу вывода «Дальнейшие действия» (FurtherActions), куда также подаются строки «Данные об опасности» (Danger data), «Знакомый тип происшествия» (Familiar Type), «Данные с сенсора подтверждают жалобу» (Sensor Data Confirms Complaint). Выходное значение таблицы «Дальнейшие действия» является выходным значением всей модели.

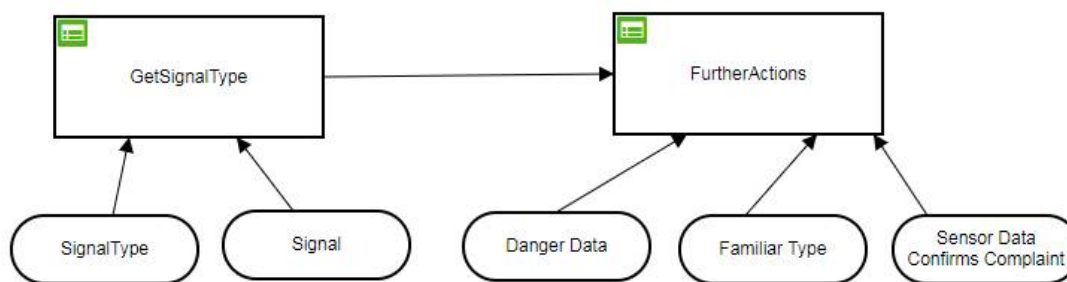


Рисунок 4 – Модель процесса принятия решений в нотации DMN

Таблица вывода GetSignalType приведена на рисунке 5. Входная строка «Тип сигнала» (SignalType) может принимать значения «Сигнал с датчика» (Sensor signal) и «Обращение потребителя» (Customer signal). Входная строка «Сигнал» (Signal) может принимать значения «Авария» (Emergency), «Предупреждение» (Warning), «Запрос на обслуживание» (Maintenance request) и «Жалоба» (Complaint). Выходная строка «Действие» (Action) в зависимости от входных параметров принимает одно из значений: «Проверить знакомый тип сигнала» (Check familiar type), «Произвести детальную проверку» (Check further), «Связать с оператором» (Call an operator) и «Проверить данные датчиков» (Check sensor data).

GetSignalType

decision_1h5nnbn

View DRD

U	input +		Output +	Annotation
	Signal Type	Signal	Action	
	string	string	string	
1	"Sensor signal"	"Emergency"	"Check familiar type"	-
2	"Sensor signal"	"Warning"	"Check further"	-
3	"Customer signal"	"Maintenance request"	"Call an operator"	-
4	"Customer signal"	"Complaint"	"Check sensor data"	-
+	-	-	-	-

Рисунок 5 – Таблица вывода GetSignalType

Таблица вывода «Дальнейшие действия» приведена на рисунке 6. Входной параметр «Входное действие» (Input Action) представляет собой выходной параметр предыдущей таблицы и принимает описанные значения. Параметр «Уровень опасности» (Danger) принимает значения «Высокий» (High) и «Низкий» (Low). Входные параметры «Знакомый тип сигнала» (Familiar type) и «Данные с датчиков» (Sensor Data) принимают значения «Истина» (True) и «Ложь» (False), представляя собой булевые параметры. Выходной параметр «Дальнейшее действие» (Further Action) принимает одно из шести значений: «Послать бригаду на вызов» (Send brigade to repair), «Ничего не делать» (Do nothing), «Повторить действия, описанные в базе данных» (Repeat actions from database), «Послать бригаду на вызов и записать их действия в базу данных» (Send brigade, record actions into db), «Связаться с потребителем, послать бригаду на вызов, записать действия в базу данных» (Call customer, send brigade to repair, record into db), «Связаться с потребителем, постараться решить проблему, послать бригаду на вызов, если необходимо» (Call customer, try to solve problem, send brigade if needed).

FurtherActions

View DRD

Decision_1eev7hh

U	input +				Output +	A
	Input Action	Danger	Familiar type	Sensor Data	Further Action	
	string	string	string	string	string	
1	"Check further"	"High"	-	-	"Send brigade to repair"	-
2	"Check further"	"Low"	-	-	"Do nothing"	-
3	"Check familiar type"	-	"True"	-	"Repeat actions from database"	-
4	"Check familiar type"	-	"False"	-	"Send brigade, record actions into db"	-
5	"Check sensor data"	-	-	"True"	"Call customer, send brigade to repair, record into db"	-
6	"Check sensor data"	-	-	"False"	"Call customer, try to solve problem, send brigade if needed"	-
+	-	-	-	-	-	-

Рисунок 6 – Таблица вывода FurtherActions

Концепция системы сбора и анализа гетерогенной информации. Центральным элементом концепции является технология DL (Data lake, «Озеро данных»), которая обеспечивает сбор, хранение, обработку и анализ данных о состоянии всех участков процесса ВиВ (рис. 7) и самой системы [24]. Информация агрегируется в DL от всех прочих участников процесса и может быть запрошена ими.

В процесс управления ВиВ вовлечён потребитель, который может пожаловаться на ненадлежащее качество обслуживания или оставить заявку на подключение его дома к сети водоснабжения. Заявки отправляются в DL и в дальнейшем обрабатываются специалистами. Потребитель отправляет заявку на обслуживание или подключение с жалобой на качество водоснабжения, в котором сообщает об отсутствии воды или ее плохом качестве.

Диспетчер работает в двух направлениях:

- 1) принимает заявки потребителей на обслуживание. Затем назначается обслуживание и заключается договор, в DL вносится информация о договоре и услуге;
- 2) принимает жалобы потребителей, после чего принимает решение о вызове бригады на указанный адрес. Вызов на дом записывается и направляется в DL.

Диспетчер обрабатывает заявки потребителей. Данные о потребителях он получает из DL, после чего формирует ответ на заявку. Если потребитель пожаловался на качество обслуживания, диспетчер связывается с ним и выясняет причину обращения, после чего формирует заявку и направляет к потребителю ремонтную бригаду. Если потребитель оставил заявку на

подключение, диспетчер связывается с ним и заключает договор на обслуживание. Вся эта информация также заносится в DL.

После поступления в DL все полученные сигналы обрабатываются в системе по запросу.

Супервайзер контролирует общее состояние системы и поддерживает её работоспособность. Также в обязанности супервайзера входит контроль отправки бригад на вызовы.



Рисунок 7 – Диаграмма USE-CASE модуля сбора и анализа гетерогенной информации на основе технологии «Озеро данных»

Датчики, установленные на разных участках сети водоснабжения, передают собранную информацию, которая записывается в DL. Эта информация может в любой момент быть запрошена системой. Система может как напрямую опрашивать датчики в каждый конкретный момент времени, так и извлекать архивную информацию из базы данных. Система разделяет сигналы с датчиков и обращения от потребителей и осуществляет поддержку принятия решений в вопросе обработки заявок.

«Озеро данных» хранит данные о текущем состоянии водопровода, о потребителях и всех когда-либо поступавших от них жалобах, о том, когда проводились работы на конкретном участке трубопровода, о том, когда бригады посылались на вызовы и что они делали.

«Озеро данных» само по себе не способно обрабатывать информацию, которая в нём находится. Этим занимается актор «Система». «Система» способна опрашивать датчики и записывать информацию в «Озеро данных» и извлекать её оттуда с целью обработки.

Процесс решения проблем потребителя вовлекает актора «Потребитель», который может оставлять заявки и жалобы. Заявки и жалобы хранятся в «Озере данных» и могут быть запрошены «Системой» с целью обработки и решения проблем.

Актор «Диспетчер» необходим для общения с потребителями и регистрации их обращений, кроме того, в отдельных случаях «Система» может направлять «Диспетчеру» данные определённых «Потребителей», с которыми необходимо связаться для решения их проблем.

Актор «Супервайзер» необходим для контроля работы системы. «Супервайзер» ведёт записи о работоспособности всего комплекса, данные записываются в «Озеро данных».

«Датчик» является актором, который информирует «Систему» посредством «Озера данных» о неисправностях и поломках в системе водоснабжения. Данные с «Датчика» хранятся в «Озере данных» и могут быть запрошены «Системой».

Заключение. Главным результатом является разработка подхода к решению задачи поддержки принятия решений при управлении услугами ЖКХ по водоснабжению и водоотведению на основе реализации механизмов сбора и анализа гетерогенной информации согласно парадигме «управление, основанное на данных».

В ходе проведенных исследований были получены следующие результаты.

1. Обзор литературы, на основании которого выполнена постановка задачи исследования.
2. Анализ и формализация бизнес-процессов в управлении ВиВ.
3. Создана структурно-функциональная модель бизнес-процессов водоснабжения и BPMN-модель процесса водоснабжения.
4. Выполнена формализация задачи поддержки принятия решений и реализована модель процесса принятия решений в нотации DMN.
5. Разработана концепция системы сбора и анализа гетерогенной информации на основе технологии «Озеро данных».

Библиографический список

1. Алексеев А. В. Развитие и апробация методов математического моделирования систем тепло- и водоснабжения для анализа и разработки рациональных эксплуатационных режимов / А. В. Алексеев и др. // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. – 2017. – С. 19–26.
2. Аль-Гунаид М. А. Автоматизированная система управления бизнес-процессами в сфере ЖКХ / М. А. Аль-Гунаид, В. Н. Трубицин, А. М. Шумкин // Социально-экономическое развитие городов и регионов: градостроительство, развитие бизнеса, жизнеобеспечение города : материалы II Международной научно-практической конференции. – Волгоград, 2017. – С. 274–281.
3. Белов А. Г. Структурно-функциональная модель автоматизированной системы управления эффективностью предприятия / А. Г. Белов, А. Г. Кравец // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – № 14(209). – С. 47–53.
4. Бернер Л. И. Система автоматизации и диспетчеризации инженерных систем горноклиматического курорта «АЛЬПИКА-СЕРВИС» / Л. И. Бернер и др. // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 2 (6). – С. 7–11.
5. Брумштейн Ю. М. Коммунальные системы городов: анализ целей и возможностей интеллектуализации управления на основе использования информационно-коммуникационных технологий / Ю. М. Брумштейн, В. Ю. Гайфитдинова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 1 (37). – С. 39–52.
6. Веденина Н. В. Анализ и прогнозирование опасности химических соединений и веществ / Н. В. Веденина, А. Г. Кравец // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2010. – Т. 8, № 6. – С. 87–92.
7. Горбачев Д. В. Обзор современных информационных технологий автоматизации деятельности в сфере ЖКХ / Д. В. Горбачев, Э. Г. Хакимова // Молодой ученый. – 2015. – № 13. – С. 33–35.
8. Демидов А. В. К вопросу о современном уровне автоматизации в ЖКХ / А. В. Демидов и др. // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 4, № 9. – С. 187–190.
9. Дмитриева М. А. Решение проблемы надежности водоснабжения с помощью современных средств автоматизации и управления / М. А. Дмитриева, М. Л. Каракулин // Автоматика. Информатика. – 2017. – С. 67–70.
10. Donchenko D. Promoting urban projects through social networks using analysis of users influence in social graph / D. Donchenko et al. // Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine. – Atlantis Press, 2016.
11. Ермолаев Е. Е. Инновационные подходы к управлению системами водоснабжения / Е. Е. Ермолаев, Е. В. Губарь // Инновационные стратегии развития экономики и управления. – 2015. – С. 252–255.
12. Кизим А. В. Генерация интеллектуальных агентов для задач поддержки технического обслуживания и ремонта / А. В. Кизим, А. Д. Кравец, А. Г. Кравец // Известия Томского политехнического университета [Тема выпуска «Управление, вычислительная техника и информатика»]. – 2012. – Т. 321, № 5. – С. 131–134.
13. Колесников А. И. Энергоресурсосбережение / А. И. Колесников, С. А. Михайлов. – Москва : МРАИ ЭЕМ, 2006. – 231 с.
14. Колесникова К. С. Сравнительная характеристика программного обеспечения, применяемого для автоматизации деятельности в сфере ЖКХ / К. С. Колесникова, С. В. Тарута // Экономика сферы сервиса: проблемы и перспективы. – 2018. – С. 21–23.
15. Кравец А. Г. Исследование регионального инвестиционного климата на основе факторного анализа / А. Г. Кравец, А. А. Кучеренко // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 2 (46). – С. 60–71.
16. 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.
17. Кравец А. Д. Агрегация информации о перспективных технологиях на основе автоматической генерации интеллектуальных агентов мультиагентных систем / А. Д. Кравец, И. Ю. Петрова, А. Г. Кравец // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 141–148.
18. Мильчук Я. Г. Подход к проектированию и реализации геоинформационных систем на основе анализа данных социальных сетей / Я. Г. Мильчук, А. Г. Кравец // Системы проектирования, технологи-

ческой подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2016). – 2016. – С. 65–68.

19. Мошкин В. С. Разработка системы автоматизации сбора показаний приборов учета для ЖКХ / В. С. Мошкин, В. В. Клейн, И. А. Андреев // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – С. 366–370.

20. Парыгин Д. С. Применение рекомендательных технологий в системах с пространственной информацией / Д. С. Парыгин, А. С. Стрекалова, Гуртяков А. С., Аданья С. Г., Пивоваров В. В. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 1 (45). – С. 96–109.

21. Стрекалова Д. О. Управление и автоматизация систем водоснабжения / Д. О. Стрекалова // Аллея науки. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 287–291.

22. Филиппов С. А. Перспективы минимизации расходов на услуги ЖКХ в России с применением систем автоматизации / С. А. Филиппов, В. С. Мигалин // Аспирант. – 2017. – № 4. – С. 59–63.

23. Ходарев А. С. Управление водоснабжением и водоотведением в системе региональной экономики: предпосылки развития, факторы, инвестиционно-финансовый механизм / А. С. Ходарев. – Ростов, 2009. – 371 с.

24. Цымбал В. А. Анализ практических аспектов применения инструментальных средств публичного управления в сфере государственного заказа / В. А. Цымбал // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 96–112.

25. Чан В. Ф. Метод сбора и слияния разнотипных данных в проактивных системах интеллектуальной поддержки принятия решений / В. Ф. Чан и др. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2016. – № 11. – С. 40–44.

References

1. Alekseev A. V. et al. Razvitiye i aprobatsiya metodov matematicheskogo modelirovaniya sistem teplo- i vodosnabzheniya dlya analiza i razrabotki ratsionalnykh ekspluatatsionnykh rezhimov [Development and testing of methods of mathematical modeling of heat and water supply systems for the analysis and development of rational operating modes]. *Aktualnyye problemy nauki Pribykalya* [Actual problems of the Science of Baikal], 2017, pp. 19–26.

2. Al-Gunaid M. A., Trubitsin V. N., Shumkin A. M. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya biznes-processami v sfere ZhKKh [Automated system for managing business processes in the housing sector]. *Sotsialno-ekonomicheskoe razvitiye gorodov i regionov: gradostroitelstvo, razvitiye biznesa, zhizneobespechenie goroda : materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Socio-economic development of cities and regions: urban development, business development, city life support : Proceedings of the II International Scientific Practical Conference]. Volgograd, 2017, pp. 274–281.

3. Belov A. G., Kravets A. G. Strukturno-funktsionalnaya model avtomatizirovannoy sistemy upravleniya effektivnostyu predpriyatiya [Structural and functional model of an automated enterprise performance management system]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [News of Volgograd State Technical University], 2017, no. 14 (209), pp. 47–53.

4. Berner L. I. et al. Sistema avtomatizatsii i dispatcherizatsii inzhenernykh sistem gornoklimaticheskogo kurorta “ALPIKA-SERVIS” [Automation and dispatch system for engineering systems of the Alpika-Service mountain-climatic resort]. *ITNOU: informatsionnyye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii* [ITSEM: information technologies in science, education and management], 2018, no. 2 (6), pp. 7–11.

5. Brumshteyn Yu. M., Gayfitdinova V. Yu. Kommunalnye sistemy gorodov: analiz tseley i vozmozhnostey intellektualizatsii upravleniya na osnove ispolzovaniya informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy [Communal systems of cities: analysis of the goals and possibilities of the intellectualization of management through the use of information and communication technologies]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 1 (37), pp. 39–52.

6. Vedenina N. V., Kravets A. G. Analiz i prognozirovaniye opasnosti khimicheskikh soedineniy i veshchestv [Analysis and prediction of chemical compounds and substances]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [News of Volgograd State Technical University], 2010, vol. 8, no. 6, pp. 87–92.

7. Gorbachev D. V., Khakimova E. G. Obzor sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy avtomatizatsii deyatelnosti v sfere ZhKKh [Overview of modern information technologies for the automation of housing and communal services]. *Molodoy ucheniy* [Young Scientist], 2015, no. 13, pp. 33–35.

8. Demidov A. V. et al. K voprosu o sovremennom urovne avtomatizatsii v JKH [To the question of the modern level of automation in housing and communal services]. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya* [Advances in Modern Science and Education], 2016, vol. 4, no. 9, pp. 187–190.

9. Dmitrieva M. A., Karakulin M. L. Reshenie problemy nadezhnosti vodosnabzheniya s pomoshchyu sovremennykh sredstv avtomatizatsii i upravleniya [Solving the problem of water supply reliability using modern automation and control]. *Avtomatika. Informatika* [Automation. Computer Science], 2017, pp. 67–70.

10. Donchenko D. et al. Promoting urban projects through social networks using analysis of users influence in social graph. *Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine*. Atlantis Press, 2016.

11. Ermolaev E. E., Gubar E. V. Innovatsionnyye podhody k upravleniyu sistemami vodosnabzheniya [Innovative approaches to the management of water supply systems]. *Innovatsionnyye strategii razvitiya ekonomiki i upravleniya* [Innovative strategies for economic development and management], 2015, pp. 252–255.

12. Kizim A. V., Kravets A. D., Kravets A. G. Generatsiya intellektualnykh agentov dlya zadach podderzhki tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta [Generation of Intelligent Agents for Maintenance and Repair Support Problems]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. [Tema vypuska "Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika"]* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University [Issue "Management, Computing and Informatics"]], 2012, vol. 321, no. 5, pp. 131–134.
13. Kolesnikov A. I., Mikhaylov S. A. *Energoresursoberezhenie* [Energy and resource saving]. Moscow, 2006. 231 p.
14. Kolesnikova K. S., Taruta S. V. Sravnitel'naya kharakteristika programmnoho obespecheniya, primenyaemogo dlya avtomatizatsii deyatel'nosti v sfere ZhKKh [Comparative characteristics of software used to automate activities in the housing sector]. *Ekonomika sferyi servisa: problemy i perspektivy* [Service Economy: Problems and Prospects], 2018, pp. 21–23.
15. Kravets A. G., Kucherenko A. A. Issledovanie regionalnogo investitsionnogo klimata na osnove faktornogo analiza [Study of the regional investment climate based on factor analysis]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2019, no. 2 (46), pp. 60–71.
16. Kravets A. G., Milchuk Ya. G., Milchuk A. S. Geoinformatsionnyy podkhod k upravleniyu razvitiem territorii na osnove analiza dannykh socialnykh setey [Geoinformational approach to territorial development management based on analysis of social networks data]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 3 (39), pp. 69–79.
17. Kravets A. D., Petrova I. Yu., Kravets A. G. Agregatsiya informatsii o perspektivnykh tekhnologiyakh na osnove avtomaticheskoy generatsii intellektualnykh agentov multiagentnykh system [Aggregation of information on promising technologies based on the automatic generation of intelligent agents of multi-agent systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 141–148.
18. Milchuk Ya. G., Kravets A. G. Podhod k proektirovaniyu i realizatsii geoinformatsionnykh sistem na osnove analiza dannykh sotsialnykh setey [An approach to the design and implementation of geographic information systems based on the analysis of data from social networks]. *Sistemy proektirovaniya, tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva i upravleniya etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta (SAD/CAM/PDM-2016)* [Systems for the design, technological preparation of production and management of the stages of the life cycle of an industrial product (CAD / CAM / PDM-2016)], 2016, pp. 65–68.
19. Moshkin V. S., Kleyn V. V., Andreev I. A. Razrabotka sistemy avtomatizatsii sbora pokazaniy priborov ucheta dlya ZhKKh [Development of an automation system for collecting meter readings for utilities]. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovanie* [Modern Information Technology and IT Education], 2015, pp. 366–370.
20. Parygin D. S., Strekalova A. S., Gurtyakov A. S., Adannya S. G., Pivovarov V. V. Primenenie rekomendatsionnykh tekhnologiy v sistemakh s prostranstvennoy informatsiey [Application of recommender technologies in spatial information systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2019, no. 1 (45), pp. 96–109.
21. Strekalova D. O. Upravlenie i avtomatizatsiya sistem vodosnabzheniya [Management and automation of water supply systems]. *Alleya nauki* [Walkway of science], 2019, vol. 5, no. 1, pp. 287–291.
22. Filippov S. A., Migalin V. S. Perspektivy minimizatsii raskhodov na uslugi ZhKKh v Rossii s primeneniem sistem avtomatizatsii [Prospects for minimizing the cost of housing and communal services in Russia using automation systems]. *Aspirant* [Graduate Student], 2017, no. 4, pp. 59–63.
23. Khodarev A. S. *Upravlenie vodosnabzheniem i vodootvedeniem v sisteme regionalnoy ekonomiki: predposylki razvitiya, faktory, investitsionno-finansovyy mekhanizm* [Water supply and sanitation management in the regional economy system: development prerequisites, factors, investment and financial mechanism]. Rostov, 2009. 371 p.
24. TSymbal V. A. Analiz prakticheskikh aspektov primeneniya instrumentalnykh sredstv publichnogo upravleniya v sfere gosudarstvennogo zakaza [Analysis of the practical aspects of the use of public administration tools in the field of public procurement]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 96–112.
25. Chan V. F. et al. Metod sbora i sliyaniya raznotipnykh dannykh v proaktivnykh sistemakh intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniy [The method of collecting and merging heterogeneous data in proactive systems of intellectual decision support]. *Neyrokompyutery: razrabotka, primeneniye* [Neurocomputers: development, application], 2016, no. 11, p. 40–44.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК.:621.371.344(23) + 004.023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ВЫСОКОГОРНЫХ РЕГИОНОВ: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА (НА ПРИМЕРЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

Статья поступила в редакцию 10.02.2019, в окончательном варианте – 12.06.2019.

Оконов Манас, Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б. Ельцина, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сети связи и системы коммуникации», e-mail: mokonov3@gmail.com

Куцев Евгений Витальевич, Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б. Ельцина, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и системы коммуникации», e-mail: evgeny230285@mail.ru

Боскебеев Калычбек Джетмишбаевич, Кыргызско-Российский Славянский Университет, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и системы коммуникации», e-mail: kboskebeev@mail.ru

Использование радиорелейных линий является приоритетным, а порой и единственно возможным вариантом для организации радиосвязи в районах со сложными географическими условиями; при необходимости быстрой организации связи, по качеству не уступающей проводной связи, в малообжитых районах, а также при нарушении иных каналов связи в результате стихийных бедствий. Целью настоящей статьи является попытка разработки решений, направленных на повышение устойчивости связи радиорелейных линий с помощью метода пространственного разнесения приемных антенн. Описанные подходы могут быть применены к организации радиосвязи в горных районах, в том числе в Кыргызской Республике и России (Республика Дагестан, некоторые районы республик Северного Кавказа). Исследования эффективности использования пространственно-разнесенного приема производились путем анализа статистики глубины замираний относительно медианного уровня для одинарного и разнесенного приема. Эта статистика была получена методом проведения измерений параметров устойчивости на интервалах (участках) цифровых радиорелейных линий в Кыргызской республике в течение нескольких лет. В результате были получены статистические распределения глубины замираний при пространственно-разнесенном приеме для высокогорных интервалов цифровых радиорелейных линий; произведена оценка выигрыша по глубине замираний при применении пространственно-разнесенного приема; предложен более точный метод расчета глубины замираний при пространственно-разнесенном приеме.

Ключевые слова: радиосвязь, качество связи, пространственно-разнесенный прием, цифровые радиорелейные линии, замирания, множитель ослабления, длина волны, обработка данных, системный анализ

USING RADIO-RELAY COMMUNICATION LINES FOR THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF HIGH-MOUNTAIN REGIONS: EFFICIENCY EVALUATION OF SPATIALLY SEPARATED RECEPTION (BY THE EXAMPLE OF THE KYRGYZ REPUBLIC)

The article was received by editorial board on 10.02.2019, in the final version – 12.06.2019.

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

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Networks and Communication Systems Department, e-mail: mokonov3@gmail.com

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

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Networks and Communication Systems Department, e-mail: evgeny230285@mail.ru

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

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Networks and Communication Systems Department, e-mail: kboskebeev@mail.ru

Use of radio-relay lines is a priority, and sometimes – the only possible way to establish radio communications in geographically difficult areas; if it is necessary to establish communications rapidly, none the worse for wire ones, in poor developed areas; if other communication channels are broken due to natural disasters. The purpose of this article is to develop solutions to improve stability of communication radio-relay lines applying the technique of space-diversity reception of receiving antennas. The approaches described can find application in establishment of radio communications in mountainous areas, including the Kyrgyz Republic and Russia (the Republic of Dagestan, some regions of the Northern Caucasus republics). To study efficiency of space-diversity reception application, ratio between the statistics of fading depth and the median level for single and diversity reception was analyzed. This statistics was obtained by measuring stability parameters at intervals (sites) of digital radio-relay lines in the Kyrgyz Republic over several years. As a result, statistical distributions of fading depth for high-altitude intervals of digital radio-relay lines under space-diversity reception were obtained; gain in the fading depth under space-diversity reception was evaluated; a more accurate method to measure fading depth under space-diversity reception was suggested.

Keywords: radio communications, communication quality, diversity reception, digital radio-relay lines, fading, attenuation multiplier, wavelength, data processing, system analysis

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Обеспечение населения и организаций устойчивой связью является важной задачей, успешное решение которой необходимо для комплексной поддержки социально-экономического развития регионов, организаций и пр. В настоящее время для этих целей применяется как проводная связь, так и беспроводная. При этом наиболее сложным решение вопросов организации связи оказывается для горных районов, в которых прокладка кабельных сетей затруднена или даже невозможна.

Радиорелейная связь – это вид радиосвязи для передачи данных на большие расстояния, в котором используется цепочка приемо-передающих станций. Особенностью радиорелейных линий (РРЛ) связи является применение антенн с узкими диаграммами направленности излучения (узконаправленных антенн), с помощью которых излучаемые радиосигналы передаются от одной станции к другой [5, 6].

Таким образом, создание и обеспечение эффективной эксплуатации РРЛ имеет важное социально-экономическое значение, в том числе для поддержки развития труднодоступных горных районов; обеспечение в них доступа к «информационной среде» подразделений бизнес-структур, семей, отдельных физических лиц.

Устойчивость связи и скорость передачи данных по РРЛ сопоставимы с кабельными линиями связи [2, 3]. При этом в настоящее время РРЛ используются для организации линий связи преимущественно в районах, сложных с точки зрения прокладки кабельных линий связи. К таковым можно отнести горную местность, территории с сильно развитой гидрографической сетью и пр.

Вопросы использования пространственно-разнесенного приема (ПРП) для обеспечения устойчивости радиосвязи с помощью РРЛ являются весьма актуальными. В существующей литературе эта тематика, применительно к горным районам, рассмотрена в недостаточной степени. Поэтому целью настоящей работы является попытка разработки (обоснования) решений, направленных на повышение устойчивости связи РРЛ путем применения метода пространственного разнесения приемных антенн. Для определенности модели и метод ПРП рассматриваются применительно к Кыргызской Республике. Описанные подходы также применимы к горным районам Российской Федерации, в том числе Республике Дагестан, некоторым районам республик Северного Кавказа.

Общая характеристика проблематики статьи. В настоящее время РРЛ являются важной составной частью цифровых сетей связи как небольших организаций, так и крупных компаний [17].

Основные преимущества РРЛ:

- возможность постройки (создания) РРЛ в местности со сложными географическими условиями (горы, ущелья, развитая гидрографическая сеть, малообжитые районы, в которых другие виды связи могут быть нерентабельны – например, в арктических регионах России);
- быстрота возведения. Для запуска РРЛ необходимо установить станции в начальной и конечной точках (при необходимости также и в промежуточных);
- низкая себестоимость беспроводной трассы, использующей РРЛ;
- возможность применения РРЛ для экстренного (аварийного) обеспечения связи в зоне бедствия, при спасательных операциях, телемедицины и т.д.;
- улучшенная помехозащищенность и задержка сигнала по сравнению со спутниковыми линиями связи, ввиду значительно меньших расстояний, влияния тропосферы и ионосферы;
- качество связи не уступает проводным линиям связи [1, 4, 9].

В горных районах корреспондирующие пункты никогда не бывают на одной высоте, поэтому волна распространяется по наклонному пути. Это приводит к увеличению углов скольжения на горизонтальные отражающие слои и соответственно к уменьшению коэффициентов отражения от слоя.

На больших высотах интенсивные неоднородности возникают реже, так как наиболее сильные инверсии температуры и влажности образуются в приземном слое и уменьшаются с увеличением высоты.

Вероятность появления интенсивных слоистых неоднородностей большой протяженности в атмосфере над сильно пересеченным рельефом значительно меньше. Причина – они разрушаются восходящими и нисходящими потоками воздуха, характерными для горных районов.

На горных и высокогорных трассах РРЛ причиной флуктуации уровня сигнала является влияние неоднородностей тропосферы. Они вызывают отражение, преломление и рассеяние волны, проходящей через неоднородную среду.

На трассах РРЛ большой протяженности волна встречает на своем пути множество неоднородностей. Последние вызывают не только флуктуации, но и ослабление уровня сигнала, так как отраженные волны уходят в сторону от трассы, унося определенную долю энергии падающей волны (рис. 1) [16].

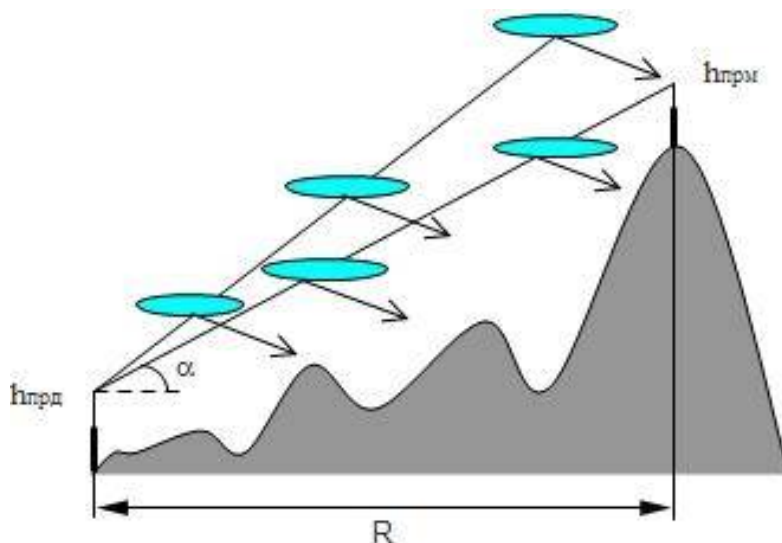


Рисунок 1 – Природа замираний

В горных районах неоднородность тропосферы особенно велика. Изменчивость неоднородностей, их непрерывное движение вызывают непрерывные изменения уровня сигнала, непрерывные замирания. Естественно, что чем больше энергии уходит из волны за счет отражений, тем больше и глубина замираний.

Другой важной причиной является также интерференция (взаимное влияние) прямой волны и волн, отраженных от неоднородностей тропосферы (см. рис. 1). В приемную антенну РРЛ сигнал может поступать как по прямому пути, так и отразившись от ровной поверхности Земли. Кроме того, отражения могут возникнуть и от облаков, и от фронта дождя.

Интерференционное замирание сигнала появляется вследствие интерференции волн, распространявшихся от передатчика к приемнику по разным переменным траекториям. Возникающие при этом разности амплитуд и фаз, например между прямым и отраженным лучами, способны существенно влиять на громкость звучания приёмника. Возможны также искажения за счет перемодуляции, когда несущая частота частично или полностью подавлена (замирание несущей). Интерференционные явления наблюдаются также при наложении поверхностных и пространственных волн.

В результате в точке приема может происходить геометрическое сложение прямой волны и отраженных волн, которые могут прийти в противофазе. При этом возникает интерференция – сложение волн и, как следствие – глубокие замирания сигнала.

При малых расстояниях волна встречает небольшое количество неоднородностей, поэтому флуктуации ее амплитуды и фазы малы. С ростом расстояния их число увеличивается, флуктуации растут, поэтому их влияние возрастает с увеличением расстояния. С удлинением волны флуктуации уменьшаются за счет того, что размеры неоднородностей становятся сравнимыми с длиной волны. В этом случае отражающее и преломляющее действие неоднородностей становится заметным лишь на волнах дециметрового и сантиметрового диапазонов и ничтожно мало на более длинных волнах.

На РРЛ могут быть применены следующие методы разнесения:

- пространственное разнесение антенн (обычно перпендикулярно трассе);
- частотное разнесение, использующее независимость замирания сигнала на частотах, разнесенных на величину, превышающую радиус частотной корреляции;
- разнесение по углу прихода луча, при котором используются одна приемная антенна и несколько облучателей, каждый из которых создает свою диаграмму направленности, сдвинутую относительно соседних по азимуту либо по углу места;
- комбинированное разнесение, например, при счетверенном приеме разнесения пар сигналов по частоте и в пространстве или по частоте и углу [7, 8].

Пространственно-разнесенный прием (ПРП) является наиболее эффективным средством борьбы с интерференционными замираниями и практически не уменьшает глубины замираний, возникающих из-за экранирующего влияния препятствия и ослабления в атмосферных осадках. На приземных интервалах радиорелейных линий он применяется, как правило, в наиболее трудных условиях: на слабопересеченных трассах и в морских районах, где даже при оптимальном выборе параметров трасс требования к устойчивости сигнала не могут быть выполнены. При необходимости ПРП применяется также на протяженных пересеченных интервалах цифровых РРЛ (ЦРРЛ) (см. графическую аннотацию).

На интервалах РРЛ с большим перепадом высот корреспондирующих пунктов, проходящих как в сухопутных, так и приморских регионах, где существенны сравнительно медленные замирания за счет экранирующего влияния слоистых неоднородностей тропосферы, эффективность использования ПРП становится проблематичной. Масштаб пространственной корреляции в такой ситуации значительно больше, чем на обычных интервалах РРЛ, поэтому для увеличения эффективности ПРП в работе [10] рекомендуется выбирать величину разнесения антенн по вертикали в длинах волн λ , как

$$\Delta h \approx (700 \div 1400)\lambda, \quad (1)$$

вместо значений

$$\Delta h \approx (150 \div 200)\lambda, \quad (2)$$

которые в большинстве случаев используются на приземных трассах с пересеченной местностью.

Данные в (1) очень ориентировочные, так как в литературе практически отсутствуют количественные сведения о масштабах пространственной корреляции на высокогорных и морских трассах с перепадом высот корреспондирующих пунктов. Можно привести лишь результаты исследования из [4], где показано, что на интервалах Бишкек – Западная (рис. 2) на частоте 3,8 ГГц

при разнесении антенн на 20 м по вертикали, что соответствует значению $\Delta h \approx 250\lambda$, коэффициент корреляции сигналов на разнесенных в пространстве приемных антенн равен примерно 0,7. Это свидетельствует о большой корреляционной связи указанных сигналов.



Рисунок 2 – Схема расположения РРЛ

Выбор разнесения в соответствии с формулой (1) в большинстве случаев затруднителен. Поэтому при оценке устойчивости работы высокогорных и горных интервалов РРЛ выигрыш от применения ПРП в «Методиках» [10, 11] не учитывался вообще.

При проектировании сети ЦРРЛ в Кыргызской Республике проектировщики действовали по аналогии с приземными трассами и учитывали выигрыш от применения ПРП на высокогорных трассах по методам расчета обычных интервалов РРЛ [5, 12, 13]. Результаты этих расчетов на практике не подтвердились. Поэтому одной из основных задач исследований, проводимых на сети ЦРРЛ Кыргызской Республики, являлась оценка эффективности ПРП, работающего по методу сложения разнесенных сигналов, в реальных высокогорных условиях. Ниже приведены результаты этих исследований.

Следует отметить, что на данном этапе эффективность ПРП ЦРРЛ производилась по сравнительной оценке статистики глубины замираний цифрового сигнала при одинарном приеме и ПРП. Это в строгой постановке отражает учет влияния коэффициента ошибок по тепловой составляющей, т.е. влияние возможных межсимвольных искажений из-за селективности замираний в пределах спектра передаваемых частот не учитывалось.

Материал и методика проведения исследований. Результаты экспериментов Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт радио» ФГУП (НИИР), проведенные ранее на высокогорном интервале РРЛ Западная – Бишкек в широкополосной аналоговой системе при передаче 1920 каналов, показали, что в высокогорных условиях влияние селективной составляющей (избирательность) на устойчивость связи незначительно [10, 11, 13]. Однако для полного решения задачи устойчивости связи применительно к ЦРРЛ необходимо дополнить эти исследования сравнительной оценкой показателя качества SESR. Это отношение числа сильно пораженных ошибками секунд к общему числу секунд в период готовности тракта за время наблюдения, полученного при одинарном приеме и ПРП, которые будут отражать все возможные причины, ухудшающие его эффективность.

Исследования эффективности ПРП производились по разным параметрам на семи интервалах (участках) ЦРРЛ. Периоды проведения исследований указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Статистика измерений устойчивости сигнала при ПРП

Название трассы	Западная – Бишкек	Ала-Мышик – Дююмеля	Бишкек – Восточная	Чолпон-Ата – Оргочор	Сары-Кыр – Узген	Майли-Суу – Кербен	Дююмеля – Сары-Кыр
Этапы измерений, год, месяцы	2016 г. май-июнь, июль, август, сентябрь-декабрь. 2017 г. январь-апрель, май, июнь, июль	2016 г. июль, сентябрь-декабрь. 2017 г. январь-май, июнь, июль	2016 г. май-июнь, июль, август, сентябрь-декабрь. 2017 г. январь-апрель, май, июнь, июль	2016 г. май-июнь, июль, август, сентябрь-декабрь. 2017 г. январь-апрель, май, июнь, июль	2016 г. июль, август, сентябрь-декабрь. 2017 г. январь-апрель, май, июнь, июль	2016 г. сентябрь-декабрь. 2017 г. январь-май, июль	2016 г. июль. 2017 г. июль

Величины разнесения приемных антенн по высоте на тестируемых трассах лежат в пределах $\Delta h \approx (100 \div 340)\lambda$ (табл. 2).

Таблица 2 – Величины пространственного разнесения антенн

Название трассы	f, ГГц	Величина разнosa Δh , м	Величина разнosa в λ
Западная – Бишкек	6,8	15	340
Бишкек – Западная	6,8	12	272
Ала-Мышик – Дююмеля	6,8	12,4	281
Дююмеля – Ала-Мышик	6,8	10,2	232
Бишкек – Восточная	6,8	10	227
Восточная – Бишкек	6,8	15	340
Чолпон-Ата – Оргочор	4,7	11,5	180
Оргочор – Чолпон-Ата	4,7	6,3	98
Сары-Кыр – Узген	6,8	10	227
Узген – Сары-Кыр	6,8	10	227
Майли-Суу – Кербен	6,8	10	227
Кербен – Майли-Суу	6,8	10	227
Сары-Кыр – Дююмеля	6,8	10	227
Дююмеля – Сары-Кыр	6,8	10	227

Результаты исследований. Все приводимые ниже результаты исследований были получены с использованием статистики глубины замираний относительно медианного уровня напряженности поля ΔV . Это значение напряженности поля, необходимое для обеспечения желаемого качества приема для заданных условий приема при наличии естественных или промышленных шумов, но при условии отсутствия помех от других передающих станций (условия приема включают тип передачи и используемый диапазон частот, характеристики приемной аппаратуры (усиление, высота подвеса, направленность приемной антенны, характеристики приемника и т.д.), режимы работы приемника). Рассчитывается для 50 % мест приема и 50 % времени на высоте 10 м над уровнем Земли.

Первоначально были рассчитаны значения выигрыша при ПРП $I_{\text{ПРП}}$ по сравнению с одинарным приемом, наблюдаемые при разных значениях ΔV за различные этапы измерений при реализованном разнесении антенн $\Delta h \approx (100 \div 340)\lambda$:

$$I_{\text{ПРП}} = \frac{T(\Delta V)}{T(\Delta V)_{\text{ПРП}}}, \quad (3)$$

где $T(\Delta V)$ – время, относящееся к одинарному приему (приему с использованием одной антенны); $T(\Delta V)_{\text{ПРП}}$ – время, относящееся к ПРП приему (приему с использованием ПРП антенн).

Из этого массива данных были выбраны и усреднены значения $I_{\text{ПРП}}$, относящиеся к наихудшим по устойчивости сигнала месяцам (или этапам измерений). Результаты анализа для сухопутных высокогорных трасс представлены на рисунке 3, где показаны усредненные

зависимости $I_{прп}$ от длины трассы и нанесены экспериментальные значения $I_{прп}$ с указанием номера тестируемой трассы в соответствии с таблицей 1.

Результаты сравнительной оценки отклонений усредненных зависимостей $I_{прп} = f(R)$ от экспериментальных данных выполнены в соответствии с Рек. МСЭ-Р Р.311 [18]. Они приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная оценка усредненных и экспериментальных значений $I_{прп}$

ΔV , дБ	Статистика отклонений	
	Среднее значение, %	Стандартная девиация, %
-30	-4,6	7,0
-25	-0,2	1,1
-20	0,3	9,8

На рисунке 3 приведены также зависимости $I_{прп} = f(R)$, рассчитанные для тестируемых интервалов ЦРРЛ по Методике Рек. МСЭ-Р Р.530 [19].

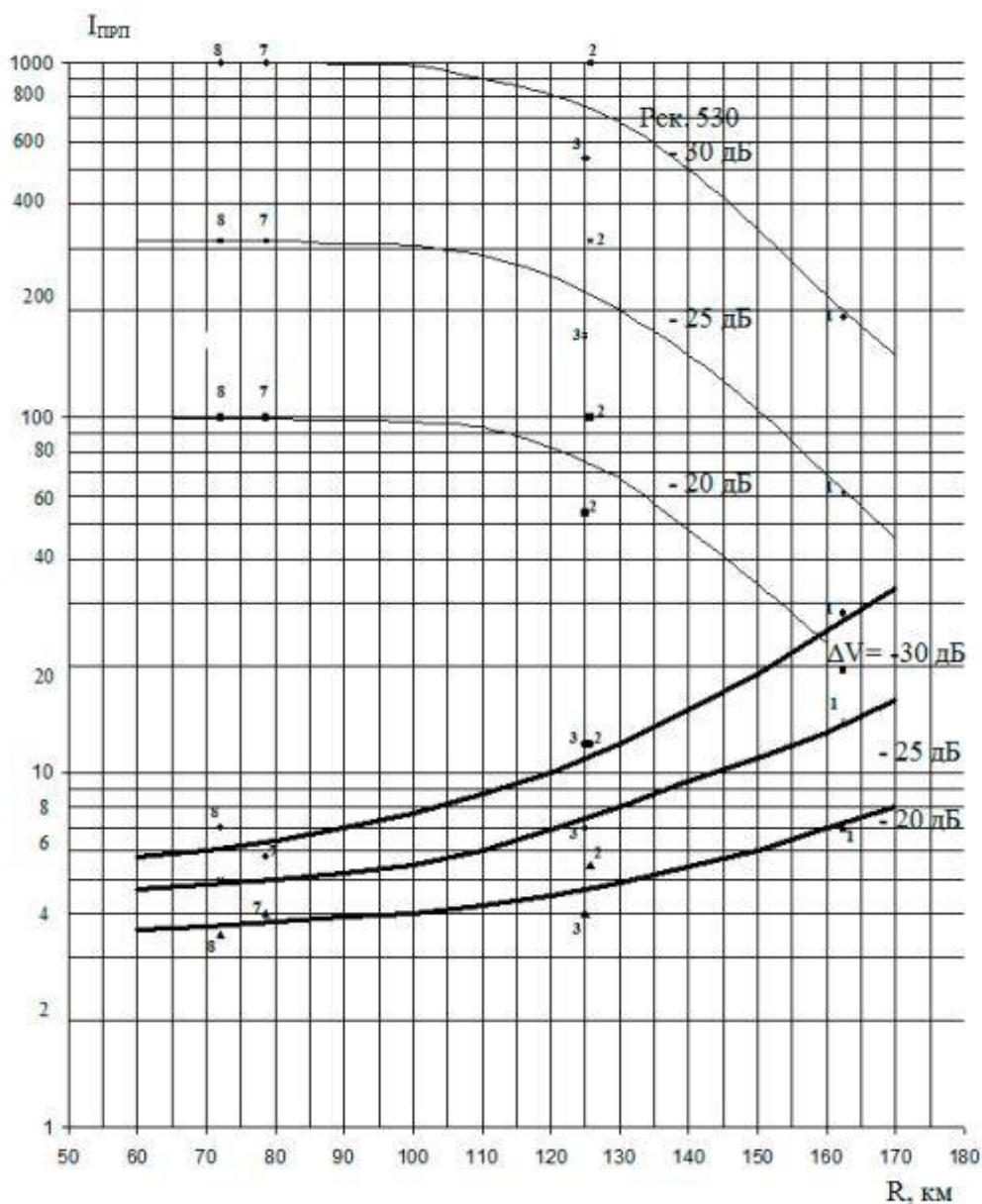


Рисунок 3 – Выигрыш при использовании ПРП на сухопутных высокогорных интервалах РРЛ:

•, x, ▲ – измерения; □, ■, * – расчет по Рек. 530

Ход данных зависимостей имеет прямо противоположный характер относительно указанной Методики. Результаты экспериментов на высокогорных трассах показывают возрастание I_{npr} при увеличении длины трассы. Это можно объяснить тем обстоятельством, что при увеличении R в общей статистике замираний возрастает влияние многолучевой рэлеевской компоненты, которая дает больший выигрыш при ПРП. Рэлеевские замирания обусловлены интерференцией большого числа рассеянных сигналов и сильным ослаблением прямого сигнала. Они бывают достаточно глубокими, и при этом отношение сигнал/шум падает настолько сильно, что полезная информация может существенно искажаться, вплоть до полной ее потери. Ультракороткие волны (УКВ), используемые в РРЛ, распространяются по прямой, но испытывают многочисленные отражения от окружающих объектов и подстилающей поверхности. Следствием многолучевого распространения являются замирания и искажения принимаемого сигнала.

Реально наблюдаемый выигрыш I_{npr} значительно меньше расчетной величины. Уменьшение величины I_{npr} в диапазоне $\Delta V = -(30 \div 20)$ дБ для коротких трасс ($R = 72$ км) составляет $(165 \div 25)$ раз, а для длинных трасс ($R = 160$ км) наблюдаемое уменьшение колеблется в пределах $(8 \div 3)$ раз.

Для надводной трассы Оргочор – Чолпон-Ата, проходящей над озером Иссык-Куль, влияние многолучевой структуры поля более значительно, чем в сухопутных районах [15]. Здесь также наблюдается резкое отличие экспериментальных и расчетных данных, полученных по методу [18]. Измеренная зависимость I_{npr} от ΔV , полученная в результате усреднения, представлена на рисунке 4. На этом же рисунке приведена и расчетная зависимость [4]. Сравнение показывает, что при используемых вертикальных разнесениях антенн реально наблюдаемые значения I_{npr} в диапазоне $\Delta V = -(35 \div 20)$ дБ меньше расчетных примерно в $(57 \div 12)$ раз.

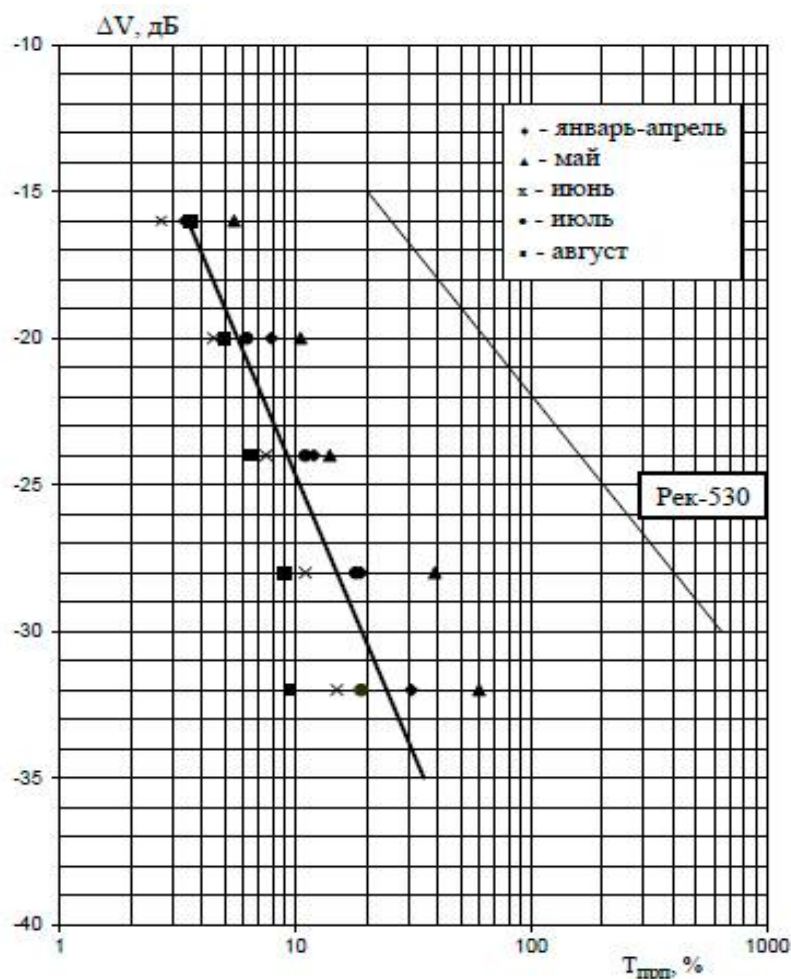


Рисунок 4 – Выигрыш при использовании ПРП на высокогорной трассе Оргочор – Чолпон-Ата, проходящей над озером Иссык-Куль: •, x, ▲ – измерения; □, ■, * – расчет по Рек. 530

В этом случае аппроксимирующее выражение для I_{npr} имеет вид:

$$I_{npr} = 0,463 \times 10^{-0,0545\Delta V}, \quad (4)$$

где ΔV – абсолютное значение, дБ.

На основе полученных результатов измерений при применении системы ПРП со сложением сигналов расчет общей неустойчивости связи, обусловленной влиянием тропосферы на высокочастотных интервалах ЦРРЛ, предлагается производить по методу, аналогичному [10]:

$$T(\Delta V_{мин})_{npr} = \nu \times C_{\Delta h} \times 10^{-2} \times [T(\Delta V_{мин})]^2, \quad (5)$$

где $\Delta V_{мин}$ – минимально допустимое значение множителя ослабления относительно медианного уровня – оно определяется минимально допустимым уровнем сигнала на входе приемника, зависящим от нормируемого показателя качества;

$T(\Delta V_{мин})$ – значение неустойчивости при одинарном приеме для $\Delta V = \Delta V_{мин}$;

ν – коэффициент, учитывающий отличие в усилениях приемных разнесенных антенн. Он равен отношению усиления (по мощности) основной антенны к разнесенной. Например, при разнице в усилениях 3 дБ величина $\nu = 2$;

$C_{\Delta h}$ – эмпирический коэффициент, учитывающий статистическую зависимость замираний при пространственном разнесении антенн.

Предлагаемые для расчета значения $C_{\Delta h}$ получены по экспериментальным усредненным значениям I_{npr} , приведенным на рисунке 3, а также расчетным значениям неустойчивости при одинарном приеме $T(\Delta V)$:

$$C_{\Delta h} = \frac{100}{I_{npr} \cdot T(\Delta V)}, \quad (6)$$

где $T(\Delta V)$ выражено в %.

Значения $C_{\Delta h}$ для сухопутных высокочастотных интервалов РРЛ показаны на рисунке 5.

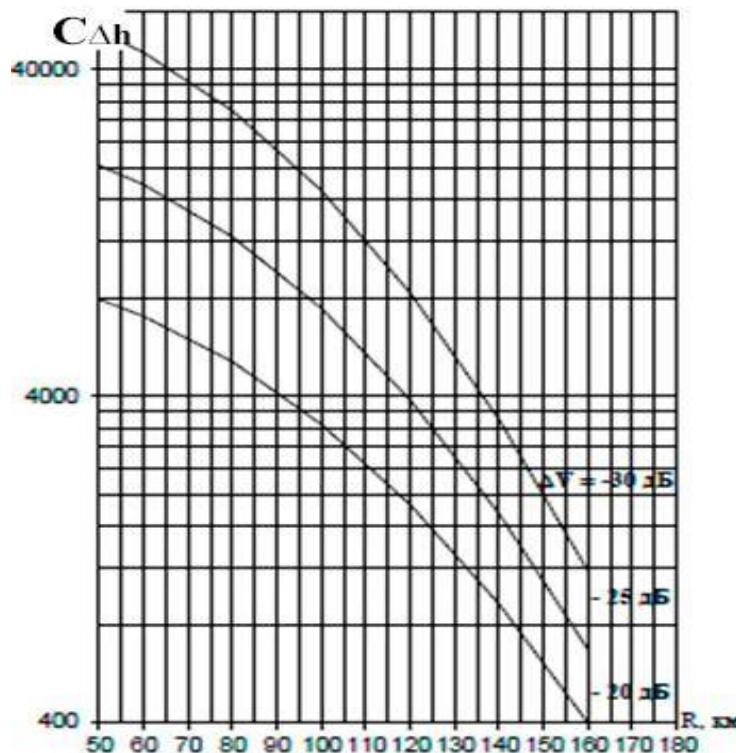


Рисунок 5 – Расчету эффективности ПРП на сухопутных высокочастотных трассах

В этом случае аппроксимирующая зависимость $C_{\Delta h}$ удовлетворительно описывается следующей формулой:

$$C_{\Delta h} = 10^{2,3+0,085 \times |\Delta V| - 2,42 \times 10^{-6} \times |\Delta V|^{0,6} \times R^{2,26}}, \quad (7)$$

где $|\Delta V|$ – абсолютное значение, дБ.

При расчете неустойчивости по формуле (5) будем полагать $|\Delta V| = |\Delta V_{\min}|$.

Для надводной трассы Оргочор – Чолпон-Ата, проходящей над озером Иссык-Куль, значения $C_{\Delta h}$ рассчитываются по эмпирической формуле:

$$C_{\Delta h} = 3,32 \times 10^{-0,0433 \Delta V}, \quad (8)$$

где ΔV – абсолютное значение, дБ.

Для сравнительной оценки точности предлагаемого метода расчета $T(\Delta V)_{npn}$ на рисунках 6–12 приводятся экспериментальные распределения $T(\Delta V)_{npn}$ для различных тестируемых интервалов ЦРРЛ за различные периоды времени. Кроме того, приводятся распределения $T(\Delta V)_{npn}$, полученные в результате расчета по предлагаемой в настоящей работе формуле (5) и по методу Рек. МСЭ-R P.530 [19].

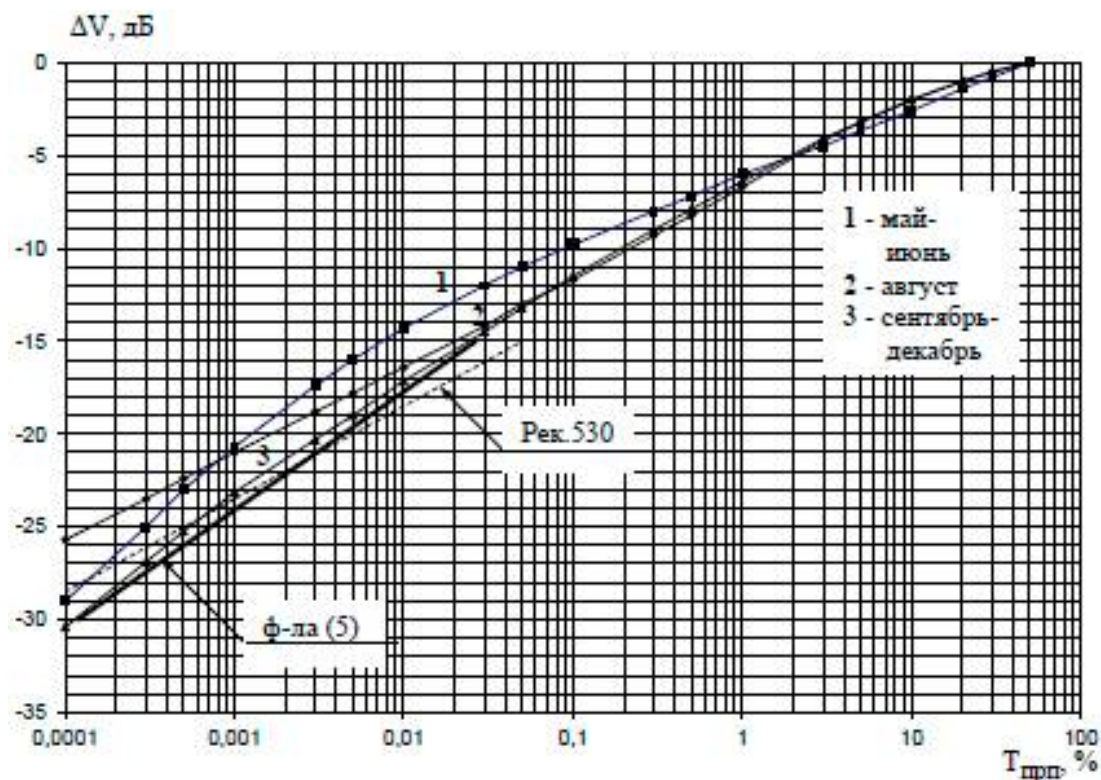


Рисунок 6 – Распределения глубины замираний на интервале Западная – Бишкек при ПРП

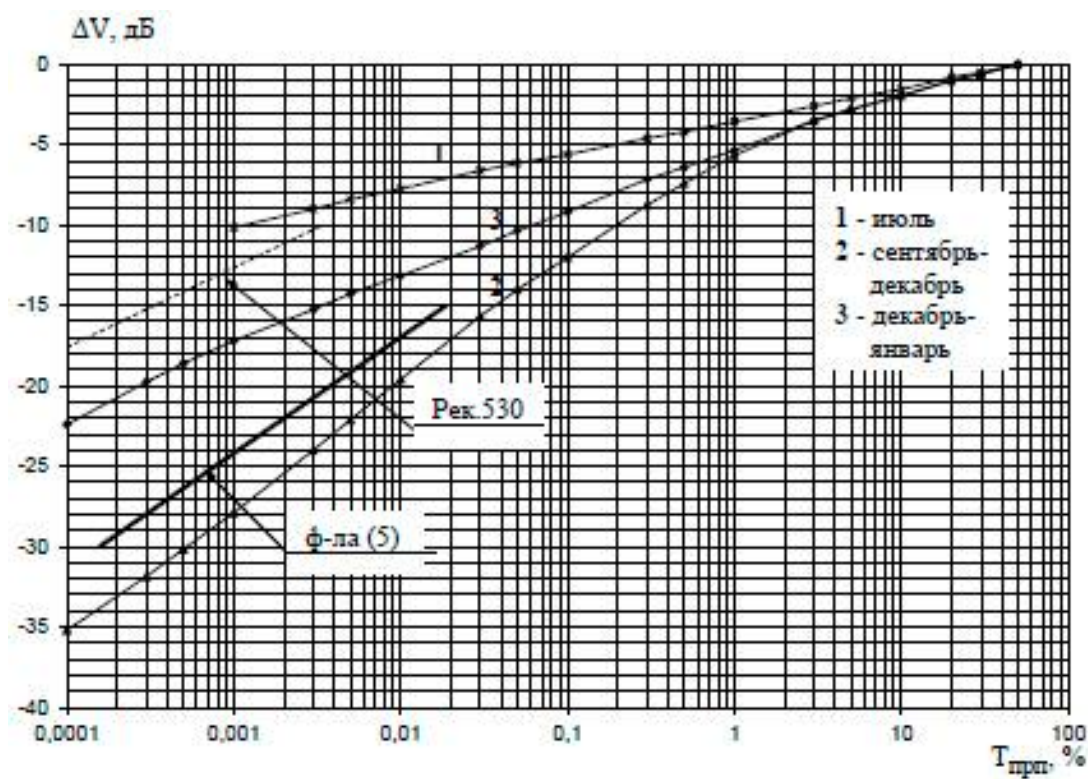


Рисунок 7 – Распределения глубины замираний на интервале Ала-Мышик – Дюдюмель при ПРП

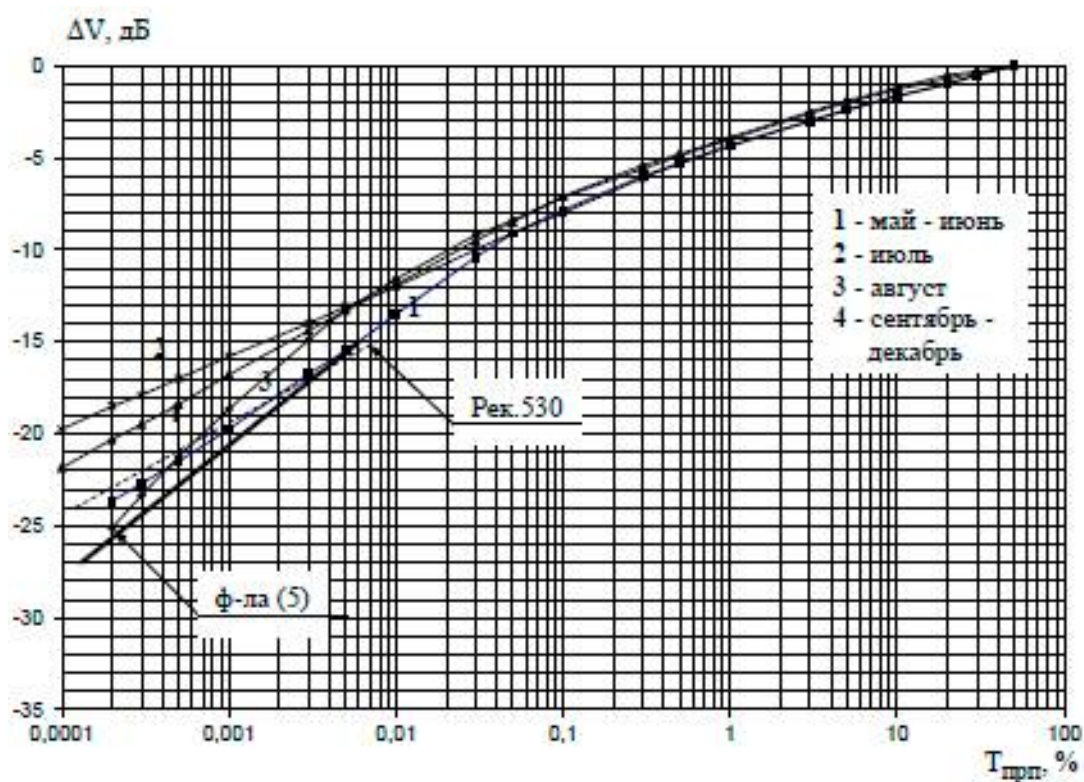


Рисунок 8 – Распределения глубины замираний на интервале Бишкек – Восточная при ПРП

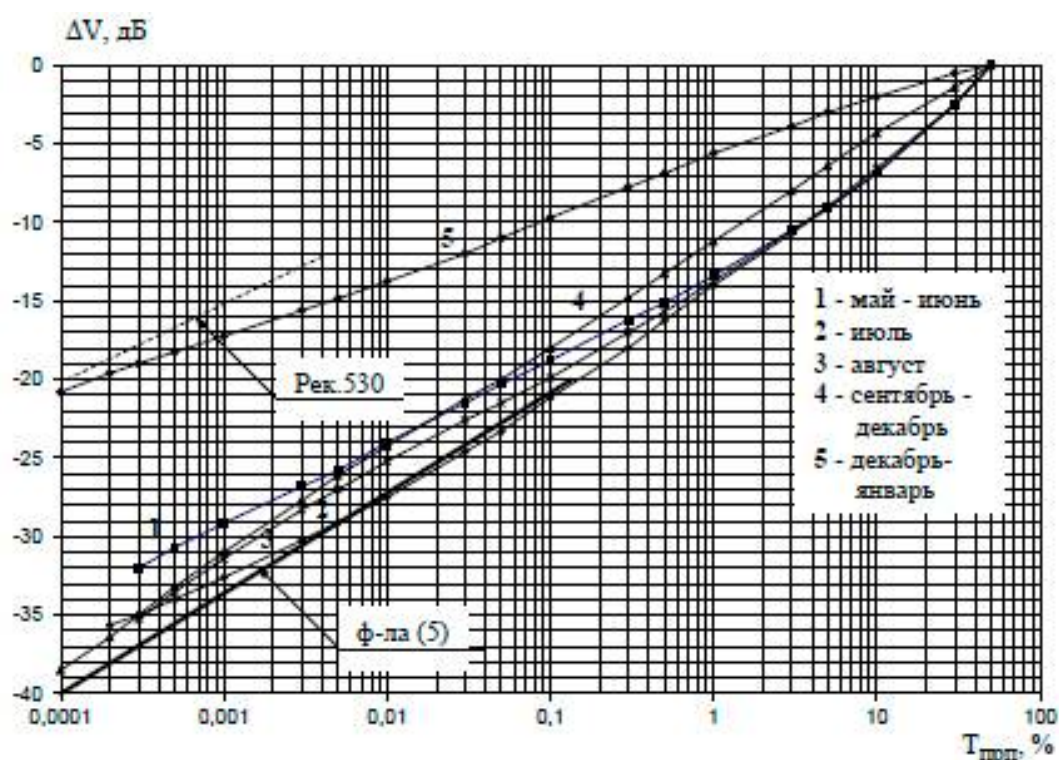


Рисунок 9 – Распределения глубины замираний на интервале Чолпон-Ата – Оргочор при ПРП

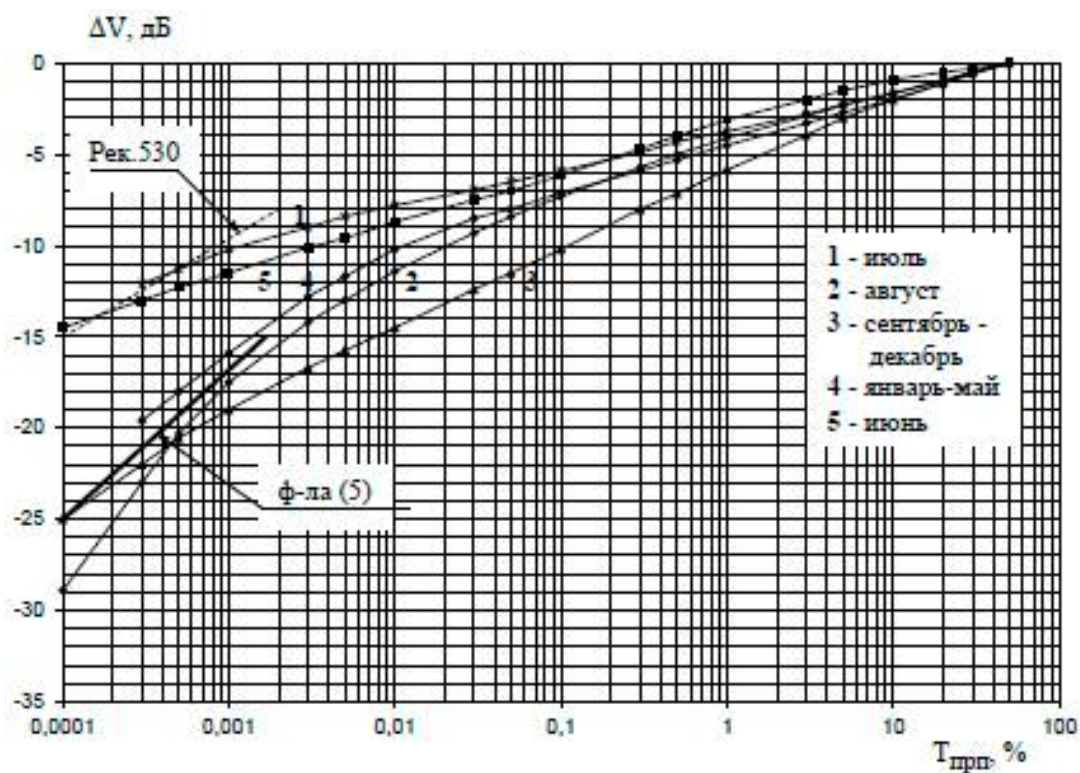


Рисунок 10 – Распределения глубины замираний на интервале Сары-Кыр – Узген при ПРП

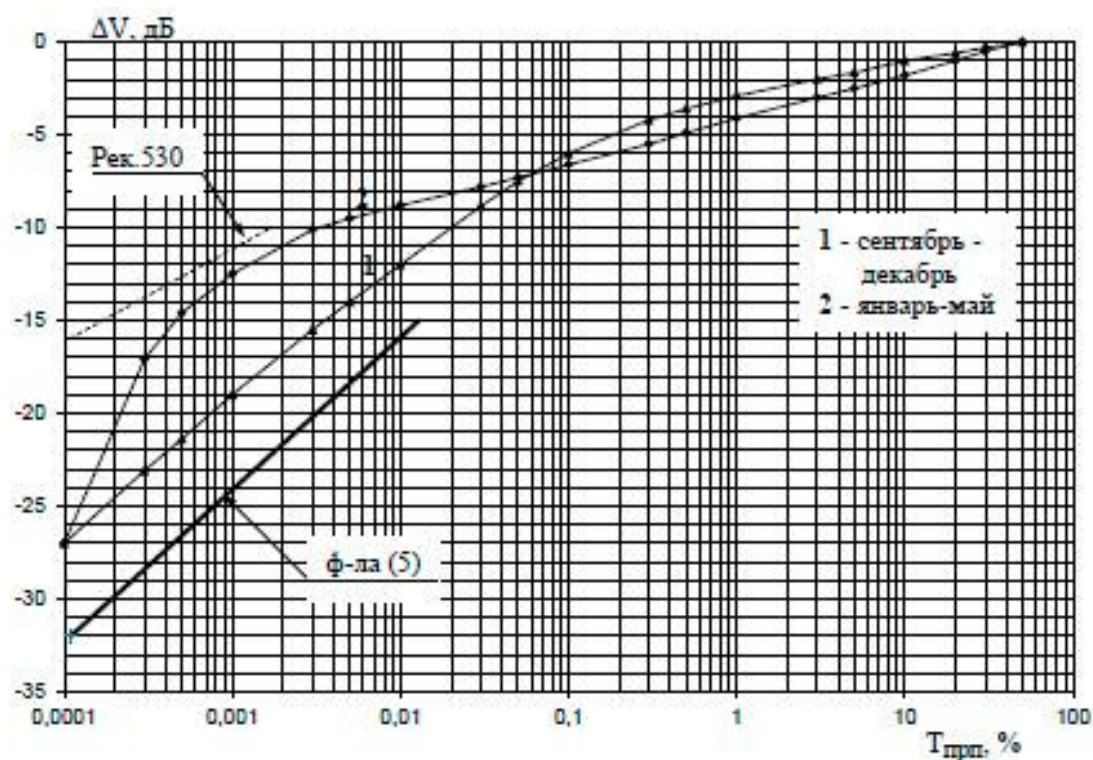


Рисунок 11 – Распределения глубины замираний на интервале Майли-Суу – Кербен при ПРП

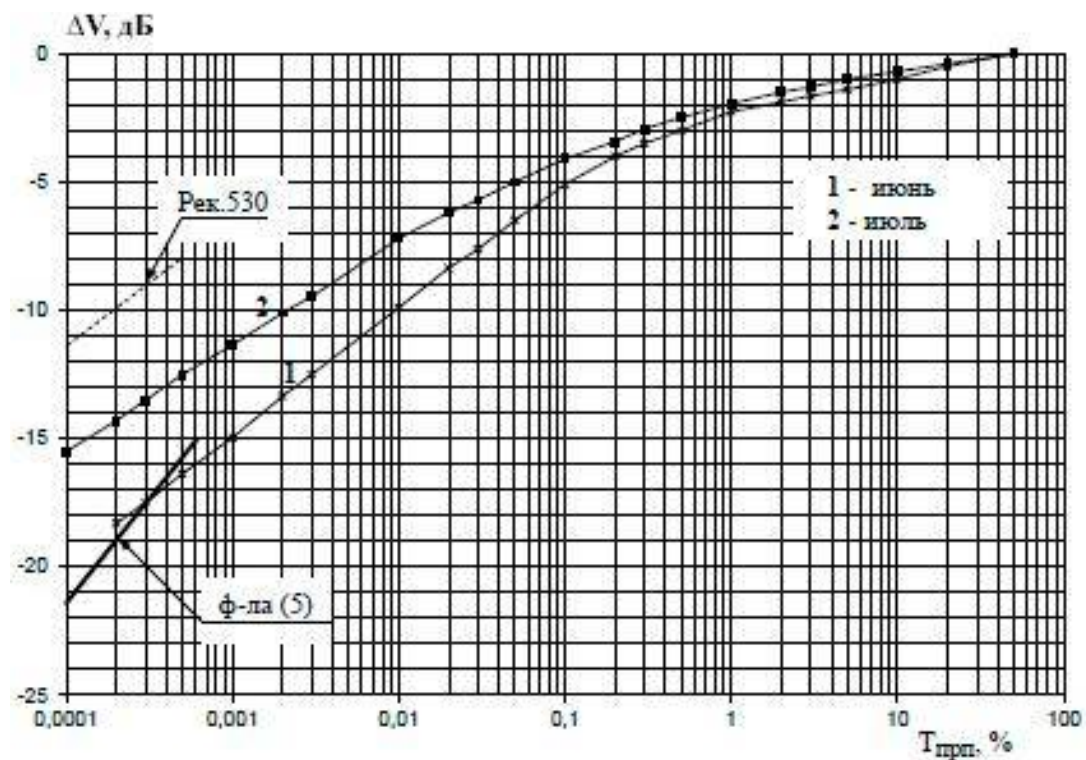


Рисунок 12 – Распределения глубины замираний на интервале Дюдюмель – Сары-Кыр при ПРП

Результаты проведенного анализа показывают следующее.

1. Расчет по Рек. МСЭ-Р Р.530 [19] дает значения, сильно отличающиеся от статистики замираний при ПРП для условий наихудшего месяца. Наихудшими с точки зрения условий распространения радиоволн месяцами являются месяцы с жаркой влажной погодой (для Кыргызской Республики это май-июнь и сентябрь-ноябрь). Как известно, методы расчета предполагают оценку статистики замираний за усредненный наихудший месяц.

2. Расчет по методу, предлагаемому в настоящей работе, является более предпочтительным, так как дает более близкие результаты к условиям наихудшего месяца.

Оценка точности предлагаемого метода расчета значений $T(\Delta V)_{npr}$, произведенная в соответствии с требованиями Рек. МСЭ-Р Р.311 [18], приводится в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка точности предлагаемого метода расчета статистики глубины замираний при ПРП

$T(\Delta V)_{npr}$, %	Статистика ошибок	
	Среднее значение, %	Стандартная девиация, %
0,0005	0,38	10,26
0,001	2,74	12,50
0,003	-4,20	15,70
0,005	0,24	15,40
0,01	-0,09	14,90
0,03	-6,97	4,53
0,05	-5,50	4,80

В заключение необходимо отметить, что при проектировании ЦРРЛ был произведен расчет ПРП с учетом состояния готовности цифрового тракта. Это соответствует параметру качества SESR, который сравнивается с нормируемым значением распределения предельных расчетных норм на показатели ошибок по участкам тракта. Расчет произведен по формуле:

$$SESR_{npr} = T(\Delta V_{мин})_{npr} \tau < 10\text{с} = \nu \times C_{\Delta h} \times 10^{-2} \times [T(\Delta V_{мин})]^2 \times \varphi_{\tau}, \% \quad (9)$$

где значения $T(\Delta V)_{npr}$ подставляются в формулу (9) в процентах. Затем по формуле (10) рассчитывается

$$T(\Delta V) = KQ \times F(\bar{h}) \times R^{2,5} \times f^{1,5} \times (1 + |\alpha|)^{-1,2} \times 10^{\Delta V/10}, \% \quad (10)$$

где ΔV определяет глубину замираний относительно медианного уровня и рассчитывается по формуле (11)

$$\Delta V(T) = P(T)_{\text{пм}} - P_{\text{пм}}, \text{ дБ}, \quad (11)$$

где $P_{\text{пм}}$ – мощность принимаемого сигнала, дБм;

KQ – климатический коэффициент, также учитывающий характер подстилающей поверхности;

φ_{τ} – коэффициент готовности тракта ЦРРЛ в условиях замираний для высокогорных интервалов.

Выводы. В результате проведенных экспериментальных и теоретических исследований получены статистические распределения глубины замираний при ПРП на семи высокогорных интервалах ЦРРЛ. Также произведена оценка выигрыша по глубине замираний при применении ПРП с величиной разнесения $\Delta h \approx (100 \div 340)\lambda$.

Предложен метод расчета глубины замираний при ПРП для высокогорных интервалов РРЛ. Точность предложенного метода значительно увеличена по отношению к «Рекомендации МСЭ-530» для интервалов данного типа.

Библиографический список

1. Абрамова Л. В. Развитие телемедицины в Архангельской области и НАО / Л. В. Абрамова, А. В. Абрамова // Управление инновационным развитием Арктической зоны Российской Федерации : сборник избранных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Архангельск : КИРА, 2017. – С. 313–316.
2. Бобин А. А. О классификации РРС прямой видимости / А. А. Бобин // Век качества. НИИ Экономике, связи и информатики «Интерэкомс». – Москва, 2009. – № 6. – С. 15–17. – Режим доступа: <http://www.agequal.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 02.03.2019).
3. Вишневский В. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты скоростей / В. Вишневский, С. Фролов, И. Шахнович // Электроника: НТБ. – 2011. – № 1. – С. 90–97.

4. Зимин И. В. Анализ целесообразных технических решений для обеспечения услуг связи в труднодоступных населенных пунктах Кыргызской республики / И. В. Зимин, К. Б. Нурматов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 103–116.
5. Иволгин А. А. Алгоритм автоматизированного проектирования радиорелейных линий связи в радиотехнической промышленности / А. А. Иволгин // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/nly2012/695/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 02.03.2019).
6. Кирик Ю. М. Тенденции в развитии городской радиорелейной связи / Ю. М. Кирик // Электро-связь. – 2009. – № 3. – С. 11–13.
7. Козлов А. А. Применение адаптивных цифровых радиорелейных линий при построении транспортной подсистемы беспроводных сетей 3G и 4G / А. А. Козлов // Современные проблемы телекоммуникаций СибГУТИ : материалы научно-технической конференции. – Новосибирск, 2015. – С. 182–186.
8. Коновалов Л. М. Основные тенденции развития радиорелейной связи в современных условиях / Л. М. Коновалов // Теория и техника радиосвязи. – 2015. – № 1. – С. 59–63.
9. Лукьянов А. С. Анализ и преимущества радиорелейных систем от проводных линий связи / А. С. Лукьянов, С. А. Петров, М. Н. Рыкунов // Символ науки. – 2016. – № 10-2. – С. 60–62.
10. Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости. – Москва : НИИР, 1987. – 181 с.
11. Методика расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазоне частот 2–20 ГГц. – Москва : ЗАО «Инженерный центр» и НИИР, 1998. – 233 с.
12. Миркин В. В. Эволюция отечественных систем радиорелейной связи / В. В. Миркин // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 372. – С. 120–125.
13. Онуфриенко Р. В. Расчет энергетических характеристик радиорелейной линии (интервала) связи / Р. В. Онуфриенко, Р. М. Сазанов // Молодой ученый. – 2017. – № 38. – С. 35–39.
14. Петренко А. А. Перспективы применения радиорелейных линий в новых частотных диапазонах 60–80 ГГц / А. А. Петренко, Ю. М. Кирик // Технологии информационного общества. – 2013. – № 9. – С. 120–122.
15. Пищин О. Н. Анализ моделей распространения радиоволн над водной поверхностью и их использование при расчетах уровней электромагнитного поля в системах подвижной радиосвязи / О. Н. Пищин, Н. В. Бестаева, А. Д. Зубова, А. А. Орлова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 3. – С. 121–130.
16. Слюсар В. Современные тренды радиорелейной связи / В. Слюсар // Технологии и средства связи. – 2014. – № 4. – С. 32–36.
17. Троицкий В. Н. Дальнее распространение сантиметровых, дециметровых и метровых радиоволн : дис. ... д-ра физ.-мат. наук / В. Н. Троицкий. – Москва, 1986.
18. Rec. ITU-R P.311-15. ITU-R Recommendations. Radiowave propagation. Acquisition, presentation and analysis of data in studies of tropospheric.
19. Rec. ITU-R P.530-17. ITU-R Recommendations. Radiowave propagation. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.

References

1. Abramova L. V., Abramova A. V. Razvitie telemeditsiny v Arkhangel'skoy oblasti i NAO [The development of telemedicine in the Arkhangelsk and NAO regions]. *Upravlenie innovatsionnym razvitiem arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii : sbornik izbrannykh trudov po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Management of innovative development the Arctic zone of the Russian Federation : proceedings of the Russian scientific-practical conference with international participation]. Arkhangelsk, 2017, pp. 313–316.
2. Bobin A. A. O klassifikatsii RRS pryamoy vidimosti [About classification of line-of-sight radio relay stations]. *Vek kachestva. NII ekonomiki, svyazi i informatiki «Interekoms»* [A century of quality. Institute of Economics, Communications and Informatics "Interecom"]. Moscow, 2009, no. 6, pp. 15–17. Available at: <http://www.agequal.ru> (accessed 02.03.2019).
3. Vishnevskiy V., Frolov S., Shakhnovich I. Radioreleynye linii svyazi v millimetrovom diapazone: novyye gorizonty skorostey [Microwave radio relay lines in the millimeter band: new horizons of speeds]. *Elektronika: NTB* [Electronics: Science, Technology, Business], 2011, no. 1, pp. 90–97.
4. Zimin I. V., Nurmatov K. B. Analiz tselesoobraznykh tekhnicheskikh resheniy dlya obespecheniya uslug svyazi v trudnodostupnykh naselennykh punktakh Kyrgyzskoy Respubliki [Creation of opportunities for communication services delivering to hard reachable settlements in Kyrgyz Republic]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 103–116.
5. Ivolgin A. A. Algoritm avtomatizirovannogo proektirovaniya radioreleynykh liniy svyazi v radio-tekhnicheskoy promyshlennosti [Algorithm of automated design of radio relay communication lines in the radio engineering industry]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2012. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/nly2012/695/> (accessed 02.03.2019).
6. Kirik Yu. M. Tendentsii v razvitiy gorodskoy radioreleynoy svyazi [Trends in the development of urban radio relay communication]. *Elektrosvyaz* [Telecommunication], 2009, no. 3, pp. 11–13.

7. Kozlov A. A. Primenenie adaptivnykh tsifrovyykh radioreleynykh liniy pri postroenii transportnoy podsystemy besprovodnykh setey 3g i 4g [Using of adaptive digital radio-relay lines when building the transport subsystem of 3G and 4G wireless networks]. *Sovremennyye problemy telekommunikatsiy SibGUTI : materialy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Modern problems of telecommunications SibSUTI : materials of the scientific-technical conference]. Novosibirsk, 2015, pp. 182–186.
8. Kononov L. M. Osnovnye tendentsii razvitiya radioreleynoy svyazi v sovremennykh usloviyakh [The main trends in the development of radio relay communication in modern conditions]. *Teoriya i tekhnika radiosvyazi* [Theory and technics of radio communication], 2015, no. 1, pp. 59–63.
9. Lukyanov A. S., Petrov S. A., Rykunov M. N. Analiz i preimushchestva radioreleynykh sistem ot provodnykh liniy svyazi [Analysis and advantages of radio relay systems from wired communication lines]. *Simvol nauki* [Symbol of Science], 2016, no. 10-2, pp. 60–62.
10. *Metodika rascheta trass analogovykh i tsifrovyykh RRL pryamoy vidimosti* [The method of calculating the routes of analog and digital line-of-sight radio relay links]. Moscow, 1987. 181 p.
11. *Metodika rascheta trass tsifrovyykh RRL pryamoy vidimosti v diapazone chastot 2-20 GGts. ZAO «Inzhenernyy tsentr» i NIIR* [The method of calculating routes of digital digital line-of-sight radio relay links in the frequency band 2-20 GHz. CJSC “Engineering Center” and SRIR], 1998. 233 p.
12. Mirkin V. V. Evolyutsiya otechestvennykh sistem radioreleynoy svyazi [Evolution of domestic radio relay communication systems]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University], 2013, no. 372, pp. 120–125.
13. Onufrienko R. V., Sazanov R. M. Raschet energeticheskikh kharakteristik radioreleynoy linii (interval) svyazi [Calculation of the energy characteristics of radio relay links (intervals)]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2017, no. 38, pp. 35–39.
14. Petrenko A. A., Kirik Yu. M. Perspektivy primeneniya radioreleynykh liniy v novykh chastotnykh diapazonakh 60-80 GGts [Prospects for the use of radio-relay links in the new frequency bands 60-80 GHz]. *Tekhnologii informatsionnogo obshchestva* [Information Society Technologies], 2013, no. 9, pp. 120–122.
15. Pishchin O. N., Bestaeva N. V., Zubova A. D., Orlova A. A. Analiz modeley rasprostraneniya radiovoln nad vodnoi poverhnostyu i ih ispolzovanie pri raschetah urovnei elektromagnitnogo polya v sistemakh podvizhnoy radiosvyazi [Analysis of models of radiowave propagation over water surface and use of them while calculating level of electromagnetic field in the mobile radio communication systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 3, pp. 121–130.
16. Slyusar V. Sovremennyye trendy radioreleynoy svyazi [Modern trends of radio relay communication]. *Tekhnologii i sredstva svyazi* [Technologies and means of communication], 2014, no. 4, pp. 32–36.
17. Troitskiy V. N. *Dalnee rasprostranenie santimetrovykh, detsimetrovykh i metrovykh radiovoln* [Further propagation of centimeter, decimeter and meter radio waves]. Moscow, 1986.
18. *Rec. ITU-R P.311-15. ITU-R Recommendations. Radiowave propagation. Acquisition, presentation and analysis of data in studies of tropospheric.*
19. *Rec. ITU-R P.530-17. ITU-R Recommendations. Radiowave propagation. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 378.14 : 004.891.2

НЕЧЕТКАЯ ДЕСКРИПТОРНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ВЫРАЖЕННОСТИ ИНДИКАТОРОВ ДОСТИЖЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Статья поступила в редакцию 22.08.2019, в окончательном варианте – 27.08.2019.

Полейкин Алексей Николаевич, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, кандидат технических наук, доцент, e-mail: alex.poletaykin@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5128-1952, РИНЦ: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=768719

Подколзин Вадим Владиславович, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, кандидат физико-математических наук, e-mail: vvp_35@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4491-1493, РИНЦ: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=820657

Кулешова Наталья Владимировна, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 630102, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86,

кандидат экономических наук, доцент, e-mail: natkuleshova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7708-958X, РИНЦ: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=1040182

Куц Екатерина Юрьевна, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 630102, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86,

начальник отдела дистанционного обучения, e-mail: zentcova@sibsutis.ru, ORCID: 0000-0003-3903-4737, РИНЦ: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=1039870

В статье представлен математизированный подход к построению дескрипторной модели компетенции. Последняя рассматривается как структура результатов обучения типа «знать», «уметь», «владеть», на которой определены индикаторы достижения компетенции. Дескрипторы индикаторов достижения компетенций рассматриваются как триада «Эпитет», «Активность», «Объект контроля» и формализованы на структурном уровне как нечеткие характеристики сформированности компетенции в привязке к результатам обучения и проверяющим контрольным заданиям при помощи аппарата нечеткой логики. Исходные данные формируются на основе экспертных суждений преподавателей, ответственных за контрольное испытание. Процедура оценивания формализована как система нечеткого вывода, конфигурируемая этим же преподавателем. В модели используются классические механизмы нечеткой логики, исторически получившие наиболее широкое применение в системах нечеткого вывода и апробированные на задачах нечеткого управления в разных областях. В задаче оценивания сформированности компетенций на основе ее дескрипторной модели технология нечеткого вывода применяется впервые. Рассмотренный пример демонстрирует применение дескрипторной модели, состоящей из 9-ти нечетких продукционных правил, использующих 6 входных нечетких переменных, для оценивания выраженности экспериментального индикатора достижения компетенции. Результаты проведенного исследования позволяют сделать заключение о возможности алгоритмизации данной модели и ее применения для автоматизированной разработки оценочных средств, а также процедуры оценивания этой выраженности индикаторов достижения компетенций.

Ключевые слова: Болонское соглашение, индикатор достижения компетенции, результаты обучения, дескриптор, нечеткая неопределенность, функция принадлежности, бинарное нечеткое отношение, нечеткая дескрипторная модель, нечеткий логический вывод, экспертные суждения, нечеткий контроллер

FUZZY DESCRIPTOR MODEL FOR ASSESSING THE SEVERITY OF COMPETENCE ACHIEVEMENT INDICATORS

The article was received by the editorial board on 22.08.2019, in the final version – 27.08.2019.

Poletaykin Aleksey N., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: alex.poletaykin@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5128-1952, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=768719

Podkolzin Vadim V., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), e-mail: vvp_35@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4491-1493, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=820657

Kuleshova Nataliya V., Siberian State University of Telecommunications and Information Science, 86 Kirov St., Novosibirsk, 630102, Russian Federation,

Cand. Sci. (Economics), Associate Professor, e-mail: natkuleshova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7708-958X

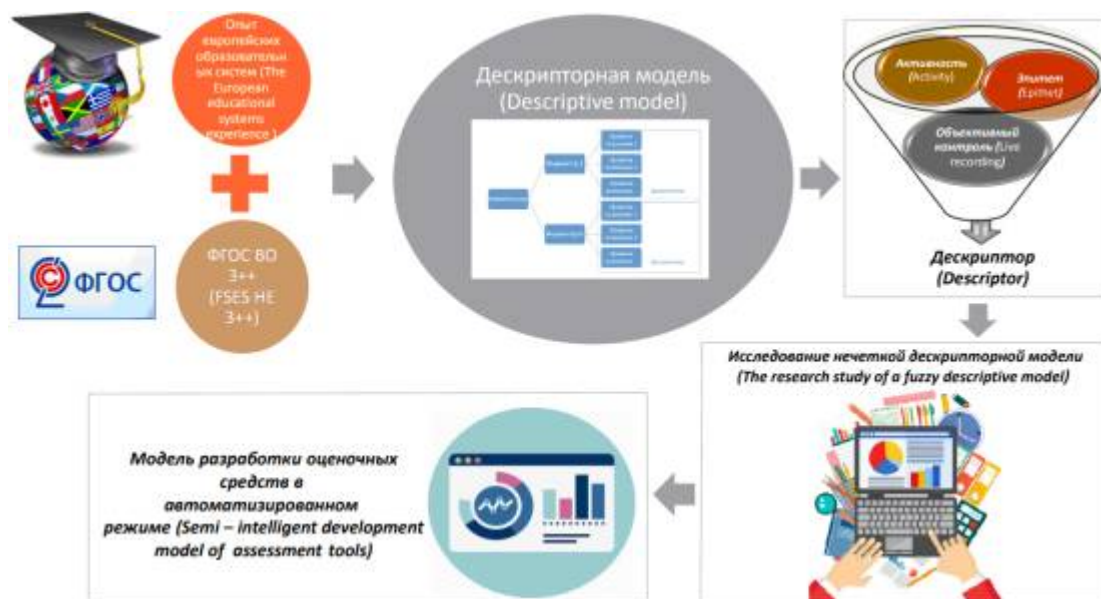
Kunts Ekaterina Yu., Siberian State University of Telecommunications and Information Science, 86 Kirov St., Novosibirsk, 630102, Russian Federation,

Head of the Distance Learning Department, e-mail: zentcova@sibsutis.ru, ORCID: 0000-0003-3903-4737

The article presents a mathematical approach to the construction of a descriptor model of competence. Competence is considered as the structure of learning outcomes such as know, be able, to own, on which indicators of achievement of competence are defined. The descriptors of competence achievement indicators are considered as a triad “Epithet”, “Activity”, “Object of control” and formalized at the structural level as fuzzy characteristics of the formation of competence in relation to learning outcomes and testing control tasks using a fuzzy logic apparatus. Input data for fuzzy estimation are formed on the basis of expert judgments of the teachers responsible for a check test. The procedure for assessing the severity of indicators of achievement of competencies is formalized as a fuzzy inference system configured by the same teacher. The model uses classical mechanisms of fuzzy logic, historically received the most widely used in systems of fuzzy inference and tested in problems of fuzzy control in different areas. The fuzzy inference technology is applied for the first time in the problems of assessment of competence formation on the basis of its descriptor model. The control example demonstrates the application of the constructed descriptor model consisting of 9 fuzzy production rules using 6 input fuzzy variables to assess the severity of the experimental indicator of competence achievement. The research results allow us to make a conclusion about the possibility of algorithmization of this model and its application for the automated development of evaluation tools for determining the severity of indicators of achievement of competencies, as well as the procedure for evaluating this severity.

Keywords: Bologna agreement, indicator of competence achievement, learning outcomes, descriptor, fuzzy uncertainty, membership function, binary fuzzy relation, fuzzy descriptor model, fuzzy inference, expert judgment, fuzzy controller

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. В свете внедрения федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения сегодня в российской образовательной практике очень актуальна задача измерения компетенций. Если ранее требовалось развернутое описание составляющих компетенций в связи с их краткими формулировками, то с утверждением ФГОС ВО 3++ (см., например, [14]) появляются индикаторы достижения компетенций (ИДК) – комплекс характеристик, уточняющих и раскрывающих формулировку компетенции в виде результатов обучения (РО) или (и) конкретных действий, выполняемых выпускником, освоившим данную компетенцию, которые, согласно ФГОС ВО 3++, должны быть измеряемы с помощью средств, доступных в образовательном процессе [14]. В мировой практике для измерения ИДК применяются так называемые *дескрипторы*, которые в общем случае можно определить как качественные критерии оценивания, описывающие уровень проявления ИДК (низкий, средний, высокий). Это дает основания для определения степени сформированности компетенций у обучающегося.

Присоединение России к Болонскому соглашению в 2003 г. заставляет обратиться к опыту европейских образовательных систем. В них понятие «дескриптор» используется применительно к квалификации и уровню образования, характеризуя образовательную программу в целом: наличие необходимых знаний, их специальной направленности и новизны [2]. Наибольшее распространение получили Дублинские дескрипторы, разработанные с целью систематизации дескрипторов уровней в разных странах, в виде характеристик знаний, умений и навыков, которыми должен обладать выпускник образовательной организации [18].

В российской системе образования распространен соответствующий Болонской практике подход, основанный на оценке сформированности компетенций посредством введения уровней и критериев этой сформированности. Одним из главных методов реализации такого подхода является декомпозиция компетенции на ИДК. При этом единого понимания понятия «дескриптор» в настоящее время нет. Этот термин не употребляется ни во ФГОС ВО, разрабатываемых Минобрнауки, ни в примерных основных образовательных программах (ПООП), разрабатываемых профильными образовательными организациями и рассматриваемых как логическое дополнение ФГОС. Вместе с тем в ПООП устанавливаются обязательные компетенции и соответствующие им ИДК, логически связанные с дескрипторами. В подавляющем большинстве случаев это универсальные и общепрофессиональные компетенции. Профессиональные же компетенции носят рекомендуемый характер, а индикаторы их достижения образовательным организациям предписывается устанавливать и формулировать самостоятельно при разработке основных профессиональных образовательных программ (ОПОП), которые также предполагают и разработку дескрипторов.

На сегодняшний день большинство авторов и разработчиков ОПОП отождествляют дескрипторы с РО (освоения образовательной программы). При этом для формулирования дескрипторов чаще всего используется таксономия Блума, отражающая РО через знания, умения и навыки [6]. Зачастую понятие «дескриптор» синонимично ИДК. Многие авторы призывают внести большую открытость в систему высшего образования, совершая попытки по разработке системы дескрипторов с общими рекомендациями для разработчиков ОПОП и отдельных учебных дисциплин [4].

На самом деле идея дескрипторов заключается в *описывании* РО, которые может достигнуть обучающийся на конкретном уровне их освоения. При этом основанием для дифференциации уровней освоения является полнота воспроизведения знаний, степень их понимания, способность к анализу учебного материала, достаточность умений и навыков, в том числе их актуальность для потенциальных работодателей [5], и, в общем, качество результатов деятельности обучения. В связи с этим Ю.Г. Татур и Ю.Г. Фокин предлагают свести дескрипторы в единую таксономическую таблицу – тарификатор, предназначенный для определения качества РО с учетом гностического, функционального, профориентационного и ценностно-этического или методологического составляющих компетенций [13]. При этом рассмотренные примеры оценивания РО на основе данного подхода свидетельствуют о его объективности.

Таким образом, налицо неоднозначность и противоречивость в толковании понятия «дескриптор», формулировке индикаторов для необязательных компетенций и технологии разработки дескрипторов как средств оценивания их достижения. Ликвидация этих проблем является актуальной научной и производственной задачей, особенно остро стоящей в образовательных организациях в преддверии перехода на ФГОС ВО 3++. А учитывая вовлеченность в эту проблему «человеческого капитала» образовательной организации и прямое ее воздействие на качество образования, задача является также социально значимой.

Постановка задачи исследования. Для обеспечения качества образования необходимо принятие единого методологического подхода к оцениванию (а применительно к необязательным компетенциям – и к формулировке) ИДК, а также к разработке дескрипторов оценивания выраженности ИДК.

Системный анализ показал, что фактически дескриптор описывает некоторую *активность*, которую проявляет испытуемый в отношении *объектов контроля*, определяемых РО. Следовательно, дескрипторы целесообразно формулировать с учетом формулировок оцениваемых РО, под которыми будем понимать традиционные элементарные РО трех типов: знать, уметь, владеть (ЗУВ). Этот аспект построения дескрипторов исследован авторами в [7], где также предлагается формальный подход к построению дескрипторной модели компетенции. Как правило, в формулировке ЗУВ заложен лингвистический конструкт с типовой формулой «Активность» + «Объект контроля». Например: *Знать методы принятия решений* (Знать – активность, методы принятия решений – объект контроля); *Умеет принимать конкретные решения для повышения эффективности процедур анализа проблем* (принимать – активность, решения и процедуры анализа проблем – объекты контроля). На основе данных РО может быть сформулирован ИДК I: «Умеет принимать конкретные решения для повышения эффективности процедур анализа проблем». Для оценивания выраженности этого ИДК необходима градация освоения составляющих его ЗУВ в качественном и количественном выражении. Проблема, однако, заключается в субъективности таких качественных шкал и неопределенности процедуры оценивания. Следствием этого является низкая точность и достоверность результатных оценок. Для решения этой проблемы в формулировках дескрипторов предлагается использовать *эпитеты*, которые должны обеспечивать дифференциацию проявления ИДК по уровням на основе экспертных суждений. Таким образом, минимальный необходимый вариант формулы дескриптора:

$$\text{«Дескриптор»} = \text{«Эпитет»} + \text{«Активность»} + \text{«Объект контроля»}. \quad (1)$$

Приведем пример дескриптора для высокого уровня выраженности индикатора I: «Принимает конкретные обоснованные решения, позволяющие вырабатывать эффективные процедуры анализа проблем», где использовано 3 эпитета: *Конкретные*, *Обоснованные* и *Эффективные*, что делает эту формулировку также и достаточной. Опираясь на эти эпитеты, проверяющий (эксперт) может оценить степень выраженности соответствующего ИДК. Здесь также имеет место субъективность. Однако она размыта качественными характеристиками, что делает процедуру оценивания менее абстрактной с обозначенной используемыми эпитетами нечеткой неопределенностью. Такая процедура не годится для окончательного оценивания (возникают коллизии в толковании дескрипторов и принципиально разное понимание выраженности ИДК), но дает определенные преимущества при дальнейшей обработке методами нечеткой математики.

Также нелегко осуществить четкую привязку контрольных заданий (КЗ), проверяющих сформированность компетенции, к определенным ИДК и РО. Выполняя эту привязку при разработке оценочных средств учебных дисциплин, преподаватель (эксперт), как правило, испытывает некоторую неуверенность в отнесении тех или иных КЗ даже к компетенциям (если их несколько). В то же время, учитывая агрегатность компетенции, было бы целесообразно осуществлять это отнесение к ее атомарным компонентам – ЗУВ. Принимая во внимание большое число КЗ и ЗУВ, такое отнесение далеко не всегда можно осуществить однозначно. Таким образом, здесь неизбежно возникает нечеткая неопределенность, учет и обработка которой оказывается необходимым этапом решения задачи оценивания сформированности компетенций.

Кроме того, разработка оценочных средств для определения выраженности ИДК и добросовестное их практическое применение – достаточно трудоемкие процессы. Так, для построения в ручном режиме дескрипторной модели общепрофессиональной компетенции с тремя стандартными индикаторами, определенными ПООП, необходимо (при добросовестном выполнении этой задачи) затратить не менее 10 минут напряженного умственного труда. Фрагмент этого решения показан выше и описан в статье [7], где результатная дескрипторная модель представлена в виде таблицы с 4-мя столбцами и 20-ю строками. Процедура же оценивания, особенно при наличии КЗ открытого типа, требует от эксперта выполнения операций по сопоставлению множества нечетких характеристик решений и ответов испытуемого с компонентами разработанной дескрипторной модели. Учитывая количество испытуемых и число ИДК, подлежащих оцениванию в реальных условиях, корректное решение этой задачи под силу только человеку с очень ясным умом и стойкой психической организацией. Автоматизация указанных задач позволит существенно упростить задачу для человека за счет накопления и повторного использования компонентов дескрипторов, использования интеллектуального интерфейса и алгоритма вычисления оценок выраженности ИДК на основании указанных вы-

ше нечетких характеристик ответов испытуемых. Это может в разы сократить временные затраты на построение дескрипторной модели, а также существенно понизить уровень умственного напряжения разработчика, превратив эту процедуру в увлекательную игру в «конструктор». Процедура же оценивания выраженности ИДК потребует от эксперта лишь осмысления решений испытуемого и ввод в систему оценочных суждений в первичном нечетком виде, а в перспективе позволит производить оценивание автоматически без участия эксперта.

Учитывая все приведенные выше обстоятельства, целью настоящего исследования обозначим максимальное упорядочение и автоматизацию процедуры разработки РПД и ФОС и оценивания сформированности компетенций в условиях нечеткой неопределенности критериев оценивания.

Принципы оценивания в условиях нечеткой неопределенности. Существующие исследования (см., например, [1, 8–12, 15–17, 19–22]) показали, что нечеткая неопределенность, в том числе в сфере образования, может быть учтена и эффективно обработана за счет использования математических методов нечеткой логики. Например, исследование [22] подтверждает гипотезу о целесообразности применения системы нечетких правил для определения оптимальных параметров управления на основе нечеткого интерполяционного умозаключения. Наиболее полный анализ нечетких методов анализа данных и их применения в управлении различными объектами и процессами представлен в книге [9]. В частности, рассмотрено применение операций над нечеткими отношениями и моделирования посредством нечеткого вывода к задачам измерения характеристик управления. В [8] авторы напрямую исследуют возможности применения нечеткого логического вывода к задаче многокритериального оценивания и ранжирования в сфере образования и приходят к заключению о целесообразности применения нечеткого оценивания объектов и формализации критериев оценивания в виде нечетких суждений. Подобного рода суждения мы также обнаружили в задаче оценивания выраженности ИДК (см. раздел 1), и дальнейшее исследование этой задачи будем рассматривать именно с позиции нечеткого анализа данных образовательной деятельности обучающегося, которая, как отмечалось, характеризуется определенной нечеткостью.

Суть данного анализа состоит в том, что при внимательном рассмотрении источников этой нечеткости выявляется ряд параметров par , которые затруднительно измерить точно. При этом в их оценке неизбежно появляется субъективный компонент, который выражается нечеткими лингвистическими оценками (термами) типа «высокий», «достаточный», «скорее всего», «маловероятно», «не совсем» и т.п. Функция принадлежности $\mu(par)$ задает количественную меру неопределенности относительно данных параметров на единичном интервале [17]. Формируется лингвистическая переменная, включающая множество нечетких переменных для каждого из лингвистических термов исходного терм-множества с одной и той же областью определения. Например, на рисунке 1 представлена функция принадлежности (ФП) лингвистической переменной «Значение параметра по десятибалльной шкале», полученная на основании экспертных оценок.

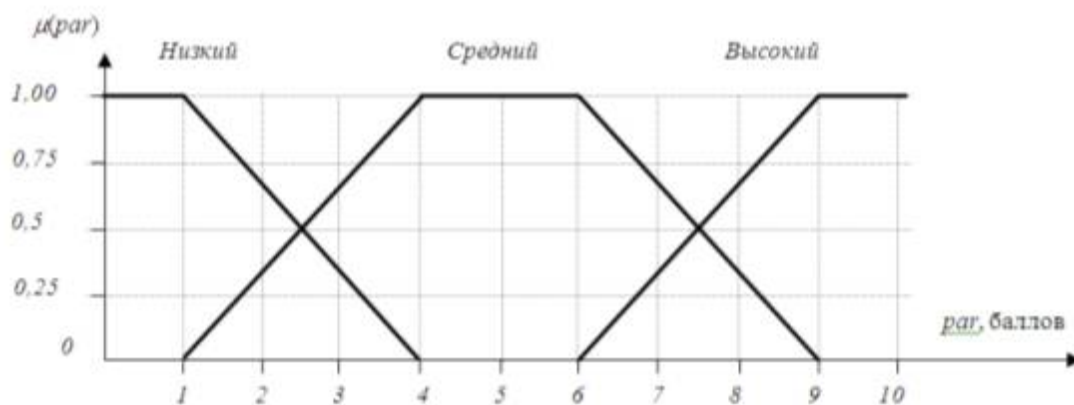


Рисунок 1 – График функции принадлежности лингвистической переменной «Значение параметра по десятибалльной шкале»

На рисунке 1 видно, что балл par от 0 до 1 оценивается экспертами как безусловно, низкий, в диапазоне от 4 до 6 баллов – как безусловно средний, а от 9 и выше – как безусловно высокий. В остальных промежутках эксперты проявляют неуверенность в своей классификации, и структура этой неуверенности передается ломаным графиком ФП, отражающим нечеткое множество Z-образного (низкий), трапециевидного (средний) и S-образного (высокий)

нечетких чисел, выступающих значениями соответствующих нечетких переменных, определенных на той же области определения, что и соответствующая лингвистическая переменная. В качестве параметра *par* может быть рассмотрен, например, эпитет «Обоснованность» (принимаемых решений по десятибалльной шкале) или десятибалльная оценка КЗ.

Фактически лингвистическая переменная, показанная на рисунке 1, выражает, к примеру, нечеткое значение десятибалльной оценки на терм-множестве $TL = \{<L, \text{Низкий}>, <A, \text{Средний}>, <H, \text{Высокий}>\}$ тройкой значений L, A, H соответственно, лежащих в диапазоне от 0 до 1. Например, оценке в 5 баллов соответствует тройка значений $\{0; 1; 0\}$, а оценке 7,5 баллов соответствует тройка $\{0; 0,5; 0,5\}$, и т.д. Для повышения точности множество TL может быть расширено до 5 или 7 термов, что также увеличит трудоемкость процедуры фаззификации и дефаззификации. Исследование [10] показало, что множества трех уровней $\{L, A, H\}$ достаточно для адекватного решения подобных задач.

Нечеткие переменные, детализирующие лингвистическую переменную в отношении каждого терма множества TL , могут выступать как элементы бинарных нечетких отношений (БНО), устанавливающих нечеткие соотношения между элементами четких множеств (например, ЗУВ и КЗ, данный механизм нечеткой классификации ЗУВ по признаку их отнесения к КЗ и нечеткого оценивания сформированности компетенции раскрыт в [12]). Также нечеткие переменные могут быть выражены как конструкторы антецедентов и консеквентов нечетких продукций, составляющих систему нечеткого вывода (например, при оценивании уровня сформированности компетенции на основании степени конкретности и обоснованности принимаемых решений). При этом антецедент и консеквент представляют собой нечеткие лингвистические высказывания. Вариант правила нечеткой продукции может быть записан в форме:

Правило#i: $[p_i, k_i, \alpha_i, \text{ЕСЛИ } \beta_1 \text{ есть } x' \text{ [И/ИЛИ } \beta_2 \text{ есть } x'' \text{ К]} \text{ ТО } \omega_1 \text{ есть } y' \text{ [И } \omega_2 \text{ есть } y'' \text{ К]}]$

Здесь нечеткие высказывания: « β_1 есть x' » и « β_2 есть x'' » представляют собой подусловия антецедентов правил нечетких продукций, а нечеткие высказывания « ω_1 есть y' » и « ω_2 есть y'' » – заключения правил. Значения x и y – элементы терм-множества TL . При этом каждой i -й нечеткой продукции может быть присвоена величина приоритета p_i , регламентирующего применение правила, а также весовой коэффициент k_i , выражающий степень влияния данного правила на конечный результат системы вывода. Кроме того, правила имеют условия активизации α_i , в которых могут быть задействованы четкие переменные, характеризующие величины, не поддающиеся нечеткой формализации, например, 1) вид контроля с множеством значений: практическая работа (ПР), расчетно-графическая работа (РГР), курсовая работа (проект) (КР, КП), дискуссия, кейс и другие интерактивные методы (ИМ), зачет (З), экзамен (Э), а также 2) принадлежность испытуемого к группе лиц с ограниченными возможностями и 3) самостоятельное выполнение типовых задач с бинарным множеством значений: нет и да. Примеры некоторых правил представлены ниже:

ПРАВИЛО 1:

УСЛОВИЕ АКТИВИЗАЦИИ *Истина*

ЕСЛИ *Конкретность решений – средняя И Обоснованность решений – низкая И Эффективность выработанных процедур анализа проблем – средняя*

ТО *Выраженность индикатора «Умеет принимать конкретные решения для повышения эффективности процедур анализа проблем» – средняя*

ПРАВИЛО 2:

УСЛОВИЕ АКТИВИЗАЦИИ *Вид промежуточного контроля – РГР*

ЕСЛИ *Конкретность решений – не высокая И Обоснованность решений – низкая И Эффективность выработанных процедур анализа проблем – не высокая*

ТО *Выраженность индикатора «Умеет принимать конкретные решения для повышения эффективности процедур анализа проблем» – низкая*

ПРАВИЛО 3:

УСЛОВИЕ АКТИВИЗАЦИИ *Испытуемый принадлежит к группе лиц с ограниченными возможностями*

ЕСЛИ *Конкретность решений – низкая ИЛИ Обоснованность решений – низкая*

ТО *Применить систему правил Оценивание некачественных решений для лиц с ограниченными возможностями*

...

Совокупность таких правил вместе с четкими α , нечеткими входными β и нечеткими выходными ω переменными образуют систему нечеткого вывода. Основные этапы нечеткого вывода на такой системе в его классическом исполнении предполагают применение алгоритма Мамдани: фаззификацию, агрегирование подусловий, активизацию подзаключений, аккумулярование и дефаззификацию управляющих переменных. Применение этого подхода при решении задачи нечеткого управления дорожным движением в условиях неопределенности многофакторного пространства (использовалось 14 входных и 3 выходных нечетких переменных, система вывода включала 105 нечетких продукций) показало существенную эффективность по социальным, экономическим и экологическим показателям [11]. В задаче оценивания сформированности компетенций на основе ее дескрипторной модели технология нечеткого вывода применяется впервые.

Функциональная структура нечеткой дескрипторной модели оценивания сформированности компетенций. Структурная схема нечеткой дескрипторной модели представлена на рисунке 2. В ней можно выделить три подмодели:

I. Подмодель построения нечетких дескрипторов представлена в левой верхней части схемы на рисунке 2. В качестве исходных данных она получает:

- формулировки результатов обучения, агрегированных в ИДК;
- формулировки лексических дескрипторов в привязке к ИДК;
- экспертные суждения, задающие фаззификацию лексических формулировок дескрипторов.

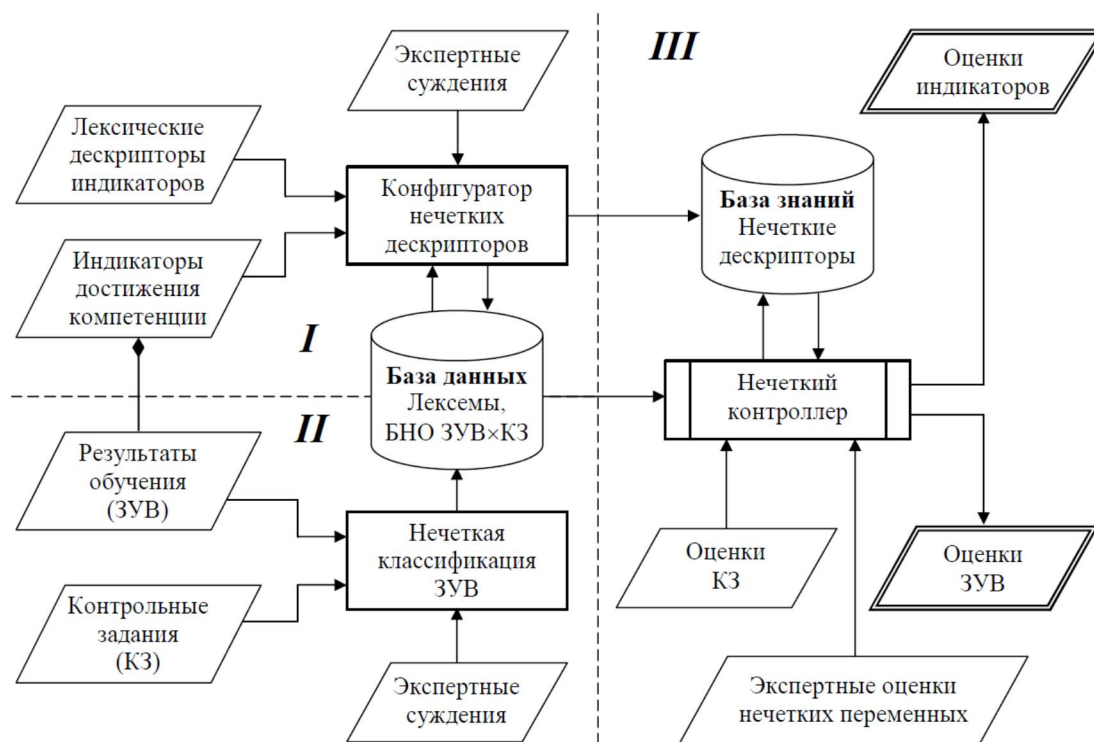


Рисунок 2 – Структурная схема нечеткой дескрипторной модели, сегментированная на три подмодели

Подмодель обрабатывает формулировки результатов обучения в их соотношении с лексемами дескрипторов, которые извлекаются из конкретизированных входных лексических дескрипторов и заносятся в базу данных (БД) лексем. В БД формируются типовые лексемные конструкции в соответствии с формулой (1), которые используются для автоматизированного построения дескрипторов. Фаззифицированные дескрипторы и правила их обработки формируются под управлением эксперта и загружаются в продукционную базу знаний, где хранятся в декларативном и процедурном виде.

Рассмотренные выше правила 1 и 2 могут быть формализованы посредством введения двух четких переменных: α_1 – вид контроля, α_2 – принадлежность испытуемого к категории лиц с ограниченными возможностями, а также трех входных и одной выходной нечетких переменных: β_1 – конкретность решений, β_2 – обоснованность решений, β_3 – эффективность.

ность выработанных процедур анализа проблем, ω_1 – выраженность индикатора. Для простоты будем считать, что все нечеткие переменные определены на едином терм-множестве $TL = \{L, A, H\}$ посредством одной и той же функции принадлежности, показанной на рисунке 1. Область значений четких переменных $\alpha_1 : \{s_1 - \text{лабораторные/практические работы, } s_2 - \text{РГР, } s_3 - \text{курсовая работа/проект, } s_4 - \text{интерактивные методы, } s_5 - \text{зачет, } s_6 - \text{экзамен}\}; \alpha_2 : \{s_0 - \text{нет, } s_1 - \text{да}\}$. Тогда фрагмент фаззифицированного дескриптора в виде системы трех нечетких продукций может выглядеть так:

#01: $k=1.0$, *True*, IF β_1 IS A AND β_2 IS L AND β_3 IS A THEN ω_1 IS A,
 #02: $k=1.0$, $\alpha_1 = s_5$, IF NOT β_1 IS H AND β_2 IS L AND NOT β_3 IS H THEN ω_1 IS L, (2)
 #03: $k=0.6$, $\alpha_2 = s_1$, IF β_1 IS L OR β_2 IS L THEN *UseRuleSystem[Spec_Eval]*,

где k – весовой коэффициент продукции, *UseRuleSystem[RuleSystemName]* – оператор применения системы правил, представленной параметром *RuleSystemName*, *Spec_Eval* – логическое имя системы правил *Оценивание некачественных решений для лиц с ограниченными возможностями*.

II. Подмодель нечеткой классификации результатов обучения, представлена в левой нижней части схемы на рисунке 2. В качестве исходных данных она получает:

- результаты обучения, сгруппированные по учебным дисциплинам и типам: знать, уметь, владеть;
- контрольные задания, проверяющие результаты обучения и сгруппированные по типам: открытые (вопросы и задачи) и закрытые (тестовые);
- экспертные суждения, задающие нечеткие оценки отношения ЗУВ и КЗ.

Подмодель обеспечивает установление нечеткого соответствия между множествами ЗУВ и КЗ посредством выставления экспертной оценки степени уверенности в том факте, что соответствующее КЗ проверяет соответствующий ЗУВ. Степень уверенности – целое число в интервале $[0; 100]$, где 100 – полная уверенность в соответствии, 0 – полная уверенность в несоответствии, 50 – полная неуверенность эксперта. Оценки ставятся вручную на множестве сочетаний ЗУВ-КЗ, которое представляет собой декартово произведение соответствующих четких множеств Θ и T , и редуцируются к единичному отрезку посредством деления на 100. В результате формируется бинарное нечеткое отношение (БНО) $M_{\Theta T} = \langle \langle \Theta_i, \tau_j \rangle, \mu_{M_{\Theta T}} \langle \Theta_i, \tau_j \rangle \rangle$, ФП $\mu_{M_{\Theta T}} \in [0, 1]$ которого – оценка степени уверенности эксперта в отнесении ЗУВ $\Theta_i \in \Theta$ к КЗ $\tau_j \in T$. Сформированное БНО сохраняется в БД подмодели. Подробная реализация нечеткой классификации ЗУВ рассмотрена в [12].

III. Подмодель нечеткого оценивания выраженности ИДК представлена в правой части схемы на рисунке 2. В качестве исходных данных она получает:

- оценки контрольных заданий, приведенные к десятибалльной шкале;
- БНО $M_{\Theta T}$, источником которой является БД подмодели II;
- экспертные оценки значений переменных, входящих в antecedentes правил системы нечеткого вывода.

Подмодель, по сути, представляет собой нечеткий контроллер (НК), функциональная схема которого представлена на рисунке 3. Вне зависимости от сферы применения НК имеет типовую структуру и осуществляет нечеткое управление объектом [16]. Укрупненно НК можно представить двумя функциями:

- 1) реализация на основе операции композиции БНО процедуры нечеткого оценивания полноты демонстрируемых студентом результатов обучения (ЗУВ);
- 2) выполнение процедуры нечеткого вывода для оценивания выраженности ИДК.

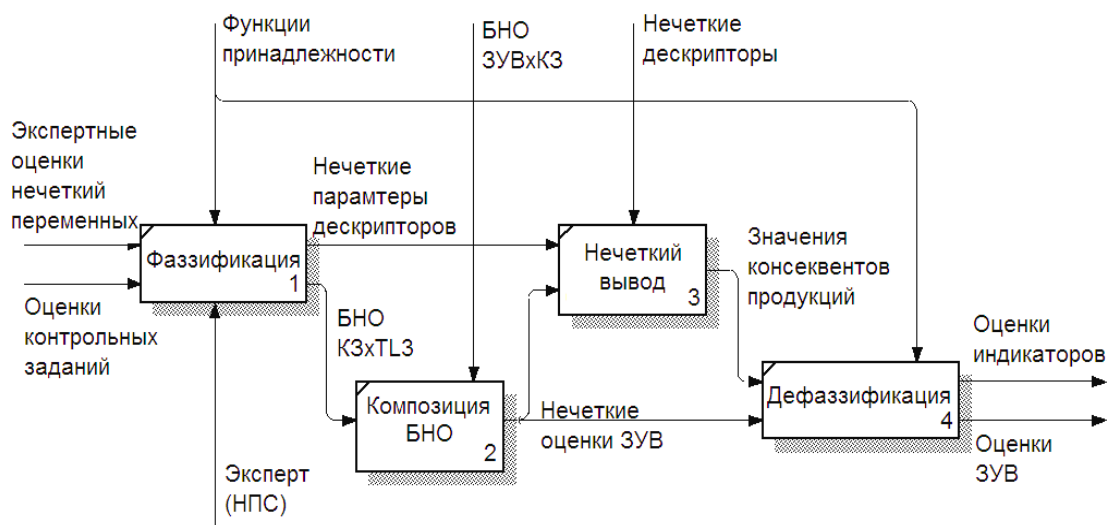


Рисунок 3 – Функциональная схема реализации процедуры нечеткого вывода при оценивании индикаторов достижения компетенций

Функция 1 разработана и апробирована в статье [12] и является логическим продолжением функции подмодели II. На рисунке 3 она представлена блоком 2 и частично блоком 1, отвечающим за фаззификацию десятибалльных оценок КЗ тройками нечетких чисел, определенных на множестве TL (см. раздел 2) в соответствии с ФП на подобие той, которая показана на рисунке 1. На выходе блока 1 формируется БНО нечетких оценок КЗ $O_T = \{\langle \tau_i, t_j \rangle, \mu_{O_T} \langle \tau_i, t_j \rangle\}$, где $\tau_i \in T$ и $t_j \in TL$ – элементы четких множеств, $\mu_{O_T} \langle \tau_i, t_j \rangle$ – ФП БНО, которая определяется как отображение $\mu_{O_T} : T, TL \rightarrow [0, 1]$. Фактически, это матрица размером $|T| \times 3$, элементами которой выступают нечеткие оценки, выражаемые функцией μ_{O_T} , в виде троек действительных чисел, соответствующих единичному отрезку.

Блок 2 выполняет операцию $\max$ - $\min$ композиции бинарных нечетких отношений (3), где левое БНО M_{O_T} условно-постоянное (содержит экспертные оценки), порождаемое моделью II и хранимое в БД. Правое БНО – переменное, содержит фаззифицированные оценки КЗ $\tau_j \in T$ тройками оценок уровня выраженности $t_k \in TL$ ($k = \overline{1, 3}$).

$$O_{\Theta} = M_{O_T} \otimes O_T. \quad (3)$$

Операция композиции не дистрибутивна и имеет своим результатом БНО O_{Θ} размером $|\Theta| \times 3$, каждая строка которого представляет собой нечеткую характеристику трех уровней выраженности оценки соответствующего ЗУВ. При этом ФП элементов итогового БНО вычисляется в соответствии с правилом $\max$ - $\min$ -нечеткой композиции:

$$\mu_{O_{\Theta}} \{\langle \Theta_i, t_k \rangle\} = \max_{\tau_j \in T} \left\{ \min \left\{ \mu_{M_{O_T}} \langle \Theta_i, \tau_j \rangle, \mu_{O_T} \langle \tau_j, t_k \rangle \right\} \right\}. \quad (4)$$

Четкая оценка i -го ЗУВ может быть получена посредством дефаззификации методом центра тяжести для одноточечных множеств, которая осуществляется в блоке 4:

$$O_i = \frac{\sum_{j=1}^k O_{\Theta ij} \cdot b_{ij}}{\sum_{j=1}^k O_{\Theta ij}}, \quad (5)$$

где $O_{\Theta ij}$ – элемент БНО O_{Θ} , рассчитанный по формуле (4); b_{ij} – четкое значение соответствующего элемента базисного множества оценок TF , определяемое на основе ФП «Нечеткая оценка ЗУВ по десятибалльной шкале», график которой может быть аналогичен тому, который показан на рисунке 1. Полученные оценки ЗУВ O_i выводятся в качестве результата функции 1 подмодели III (блок «Данные» в правой нижней части рис. 2).

Функция 2 представляет реализацию процедуры нечеткого вывода с применением алгоритма Мамдани [1, 16], краткое описание которого представлено в конце предыдущего раздела. Функциональная схема представлена на рисунке 3.

Фаззификация выполняется в блоке 1, на вход которого поступают экспертные оценки параметров продукции в виде лингвистических термов множества TL , указанных экспертом для каждого задействованного нечеткого параметра. В отличие от экспертных суждений, обеспечивающих подготовку данных в подмоделях I и II и относящихся к категории справочных данных, эти экспертные оценки обеспечивают процедуру оценивания входных оперативных данных «Оценки КЗ» и поэтому также имеют оперативный характер.

Собственно нечеткий вывод осуществляется в блоке 3. Наряду с оценками нечетких переменных на него поступают также с выхода блока 2 нечеткие оценки ЗУВ $o_i = \langle O_{\Theta ij} \rangle$, i – индекс

ЗУВ, $j = \overline{1, 3}$ – индекс терма из множества TL . При этом O_i могут быть интерпретированы как дополнительные входные нечеткие переменные. В связи с этим система правил (2) может быть дополнена, например, такими нечеткими продукциями на основе дополнительных входных переменных o_1 – результат «Знать способы повышения эффективности процедур анализа проблем», o_2 – результат «Уметь обосновывать выбор современных технологий для принятия решений при решении профессиональных задач», o_3 – результат итогового тестирования:

$$\begin{aligned}
 \#04: k=0.5, \text{ True, IF } o_1 \text{ IS A OR } o_2 \text{ IS A THEN } \omega_1 \text{ IS A,} \\
 \#05: k=0.5, \text{ True, IF } o_1 \text{ IS L OR } o_2 \text{ IS L THEN } \omega_1 \text{ IS L,} \\
 \#06: k=0.5, \text{ True, IF } \beta_2 \text{ IS H AND NOT } o_2 \text{ IS L THEN } \omega_1 \text{ IS H,} \\
 \#07: k=1.0, \alpha_1 = s_5 \text{ OR } \alpha_1 = s_6, \text{ IF } o_3 \text{ IS L THEN } \omega_1 \text{ IS L,} \\
 \#08: k=1.0, \alpha_1 = s_5 \text{ OR } \alpha_1 = s_6, \text{ IF } o_3 \text{ IS A THEN } \omega_1 \text{ IS A,} \\
 \#09: k=1.0, \alpha_1 = s_5 \text{ OR } \alpha_1 = s_6, \text{ IF } o_3 \text{ IS H THEN } \omega_1 \text{ IS H.}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Здесь представлены наиболее распространенные правила. Данные правила также могут иметь составной антецедент, включающий подусловия на основе нечетких переменных.

Правила #04 и #05 выглядят вполне логично. Правило #06 демонстрирует смешанный антецедент, в который входит основная и дополнительная нечеткие переменные. Интерпретация этого правила выглядит следующим образом: Если *Обоснованность решений* – высокая И терм, имеющий максимально значение у нечеткой оценки результата «Уметь обосновывать выбор современных технологий для принятия решений при решении профессиональных задач» – не низкий ТО *Выраженность индикатора* – высокая.

Что касается правил ##07–09, эта группа предназначена для внесения в состав дескриптора результатов тестирования, выраженных вещественной оценкой по десятибалльной шкале и фаззифицируемой в соответствии с ФП, представленной на рисунке 1. Фаззификация результатов тестирования обусловлена дискретностью исходных оценочных данных. Более точные оценочные данные, адаптированные к данной задаче, могут быть получены при помощи технологии компьютерного тестирования с использованием нечетких ответов [3]. Данная технология позволяет получить промежуточные оценочные данные в нечеткой форме, пригодной для использования в правилах нечеткого вывода, что может дать более точные результаты вывода.

Разумеется, представленные 9 нечетких продукций не ограничивают рассматриваемую систему нечеткого вывода. Практика применения данного метода (см., например, [9–11, 22]) показывает, что число правил в системе вывода примерно соответствует троекратно увеличенному числу входных переменных, умноженному на число выходных переменных. Таким образом, для сформированной демонстрационной системы правил с пятью входными и одной выходной нечеткими переменными минимальное число правил в системе вывода составляет 24.

Агрегирование применяется последовательно ко всем продукциям и предполагает вычисление истинности b'_{ij} всех подусловий b_{ij} (i – номер правила, j – номер по порядку подусловия в антецеденте продукции). При этом выполняются следующие логические операции с нечеткими высказываниями:

1. Нечеткое отрицание. В случае подусловия b_{62} (6) его истинность $b'_{ij} = 1 - (o_2 \text{ is } L)$.

2. Нечеткая конъюнкция. Используется классическая min-конъюнкция: $b_i'' = \min_{j=1}^{n_i} \{b_{ij}'\}$, где b_i'' – агрегированное значение истинности антецедента i -й продукции; b_{ij}' – истинность j -го подусловия i -й продукции; n_i – число подусловий в ее антецеденте.

3. Дизъюнкция. По аналогии с формализмом нечеткой конъюнкции используется классическая max-дизъюнкция: $b_i'' = \max_{j=1}^{n_i} \{b_{ij}'\}$.

Активация осуществляется с учетом весовых коэффициентов продукций k_i (i – номер продукции). Поскольку в нечетком дескрипторе консеквент включает только 1 подзаключение, формализующее выраженность соответствующего ИДК, то степень его истинности c_i вычисляется как алгебраическое произведение: $c_i = k_i b_i''$. При этом ФП каждого из консеквентов определяется посредством min-активации: $c_i' = \min\{c_i, \mu_i(\omega)\}$, где $\mu_i(\omega)$ – ФП терма, который является значением выходной переменной ω в консеквенте i -й продукции.

Аккумуляция предполагает расчет итоговой формы нечеткой оценки ω выраженности индикатора как аккумулярование степеней истинности c_i' всех заключений продукций, входящих в данный нечеткий дескриптор посредством объединения нечетких множеств, определенных на ФП переменной ω , путем операции их объединения.

Дефаззификация полученного объединенного нечеткого множества выполняется в блоке 4 методом центра тяжести (5) в соответствии с ФП, представленной на рисунке 1. При этом вместо элементов БНО подставляются значения $\mu_i(\omega)$ термов, входящих в итоговую ФП. Обратная процедура дает искомую нечеткую характеристику уровня выраженности ИДК.

Контрольный пример. Рассмотрим пример применения формализованной в разделе 3 системы правил нечеткого вывода для оценивания выраженности ИДК I «Умеет принимать конкретные решения для повышения эффективности процедур анализа проблем».

Исходные данные представлены набором ЗУВ, соотносенных с КЗ, общее число которых равно 12 (10 тестовых заданий и 2 открытых задания), в виде БНО. Пример работы подмодели II и функции 1 подмодели III детально разобран в статье [12]. Поэтому здесь приводим только результатные оценки испытания:

- четкую итоговую оценку по тестированию 7,08 балла, фаззифицированный эквивалент которой в соответствии с ФП, показанной на рисунке 1, составляет $\{0,00 \ 0,64 \ 0,36\}$;
- нечеткие и четкие оценки ЗУВ (см. табл. 1), которые соответствуют выходам блоков 2 и 4 на схеме нечеткого контроллера (см. рис. 3).

В таблице 1 кортежи оценок термов L, A, H есть нечеткие переменные o_i ; O – четкие оценки, рассчитанные по формуле (5).

Таблица 1 – Характеристики ЗУВ, составляющих экспериментальный ИДК

Шифр	Формулировка	Оценки			
		L	A	H	O
3.1	Современные технологии принятия решения в профессиональной области	0,91	0,38	1,00	5,58
3.2	Способы повышения эффективности процедур анализа проблем	0,00	0,00	0,96	8,83
У.1	Обосновывать выбор современных технологий для принятия решений при решении профессиональных задач	0,56	0,50	1,00	6,51
У.2	Изучать предметные области и моделировать бизнес-процессы	0,00	0,00	1,00	10,0
В.1	Навыки построения математических моделей принятия решений анализа проблем в профессиональной области	0,00	0,00	0,93	8,73

Реализацию функции 2 подмодели III рассмотрим более детально. Выполнение процедуры нечеткого оценивания выраженности ИДК инициируется при вводе входных данных в виде конкретных значений четких и нечетких переменных (примерные значения переменных для оценивания экспериментального ИДК представлены в таблице 2). Фактически данные оценок четких переменных α_i и нечетких переменных o_i извлекаются из БД дескрипторной модели

(рис. 2), а значения нечетких переменных β_j вводятся экспертом на основании проведенного испытания. При этом из базы знаний выбираются нечеткие дескрипторы, соответствующие оцениваемым индикаторам, и осуществляется активация правил, входящих в эти дескрипторы.

Таблица 2 – Значения переменных для оценивания экспериментального ИДК

Переменная	Значение	Символ
α_1 Вид контроля	Зачет	s_5
α_2 Принадлежность к категории лиц с ограниченными возможностями	Не принадлежит	s_0
β_1 Конкретность решений	Средняя	A
β_2 Обоснованность решений	Низкая	L
β_3 Эффективность выработанных процедур анализа проблем	Средняя	A
O_1 результат обучения 3.2 (см. табл. 1)	{0,00; 0,00; 1,00}	–
O_2 результат обучения У.1 (см. табл. 1)	{0,56; 0,50; 1,00}	–
O_3 результат тестирования	{0,00; 0,64; 0,36}	–

В рассматриваемом случае будет выбран один нечеткий дескриптор, состав которого представлен системой продукций (2) и (6). К этой системе применяется основная процедура нечеткого вывода, реализуемая в блоке 3 (см. рис. 3). Результаты расчетов на этапах фаззификации, агрегирования и активации показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Промежуточные результаты процедуры нечеткого вывода

#i	k_i	a'_{i1}	a'_{i2}	a''_i	b'_{i1}	b'_{i2}	b'_{i3}	b''_i	c_i	T	c'_i
№ стадии	Фаззификация							1	2	–	3
01	1,0	1	–	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	A	1,00
02	1,0	1	–	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	L	1,00
03	0,6	0	–	0	0,00	0,00	–	–	–	–	–
04	0,5	1	–	1	0,00	0,50	–	0,50	0,25	A	0,25
05	0,5	1	–	1	0,00	0,56	–	0,56	0,28	L	0,28
06	0,5	1	–	1	0,00	0,44	–	0,00	0,00	H	0,00
07	1,0	1	0	1	0,00	–	–	0,00	0,00	L	0,00
08	1,0	1	0	1	0,64	–	–	0,64	0,64	A	0,64
09	1,0	1	0	1	0,36	–	–	0,36	0,36	H	0,36

Процедура аккумуляции выполнена с учетом термов, актуальных в консеквентах соответствующих продукций (столбец T). Результат этапа дефаззификации – четкая оценка индикатора, рассчитанная по формуле (5):

$$I = \frac{0 \cdot 1 + 5 \cdot 1 + (1,75 + 8,25) \cdot 0,25 + 3,16 \cdot 0,28 + (2,92 + 7,08) \cdot 0,64 + 7,08 \cdot 0,36}{1 + 1 + 0,25 + 0,25 + 0,28 + 0,64 + 0,64 + 0,36} = 3,92.$$

Для получения нечеткого эквивалента выраженности индикатора $\tilde{I}$ вычисленную четкую оценку необходимо вновь фаззифицировать тройкой значений термов. Согласно графику ФП, представленному на рисунке 1, имеем: $\tilde{I} = \{0,03; 0,97; 0,00\}$. Уровень выраженности индикатора определяется при помощи оператора $MaxTerm[x]$, который идентифицирует и возвращает имя терма, имеющего максимальное значение ФП:

$$MaxTerm[x]: return \max_{\{\mu_L, \mu_A, \mu_H\}} [\langle L, \mu_L \rangle, \langle A, \mu_A \rangle, \langle H, \mu_H \rangle].$$

Следовательно, искомым уровнем выраженности индикатора: $MaxTerm[\tilde{I}] = A$ – «Средний».

Заключение. Построенная модель позволяет в автоматизированном режиме осуществить разработку оценочных средств определения выраженности индикаторов достижения компетенций, а также реализовать процедуру оценивания этой выраженности за счет применения аппарата нечеткой логики, что сделано впервые. Таким образом, получена новая математическая модель, учитывающая нечеткую неопределенность и объективизирующая процедуру оценивания выраженности индикаторов достижения компетенций. Разработанный нечеткий контроллер для оценивания выраженности ИДК за счет применения мягких вычислений сни-

жает чувствительность к вариации входных оценочных данных и субъективизму экспертных суждений лиц, контролирующих испытание. Тем самым повышается объективность результатов оценок выраженности ИДК и сформированности компетенций.

Следует отметить, что нечеткая методика, положенная в основу модели, использует классические механизмы нечеткой логики, исторически получившие наиболее широкое применение в системах нечеткого вывода, такие как *min-конъюнкция*, нечеткий вывод по Мамдани, дефазификация методом центра тяжести, и др. К примеру, в статьях [15, 21] предлагаются улучшенные системы вывода по Мамдани с учетом шума внешней среды, в частности, за счет уточнения математического аппарата этапов нечеткого вывода и параметров ФП, а в исследовании [1] рассматривается локальная подстройка алгоритма вывода Мамдани, где для одного фиксированного набора входных переменных можно настроить выходное значение (отклик) системы. Поэтому модель следует рассматривать как один из возможных вариантов реализации процедуры оценивания выраженности ИДК. Дальнейшие исследования применения других механизмов реализации нечетких операций и процедуры вывода позволят получить наиболее рациональную конфигурацию нечеткой дескрипторной модели, обеспечивая тем самым ее адекватность и объективность процедуры оценивания сформированности компетенций. Например, посредством гибридизации модели нечеткого вывода по типу Мамдани – Сугено, как показано в [19], либо повышения вариативности интерпретации элементов нечеткости предметной области, широкое поле для применения которой рассматривается в статье [20].

Библиографический список

1. Алгоритм настройки системы нечёткого логического вывода типа Мамдани / М. С. Голосовский, А. В. Богомолов, Д. С. Теремов, Е. В. Евтушенко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Математика. Механика. Физика. – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 19–29.
2. Болонский процесс: европейские и национальные структуры квалификаций (Книга-приложение 2) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. В. И. Байденко. – Москва : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. – 220 с.
3. Брумштейн Ю. М. Системный анализ технологий 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. – 2019. – № 4 (44). – С. 57–71.
4. Власов Д. А. Вопросы разработки дескрипторов для системы высшего образования / Д. А. Власов // NOVAINFO.RU. – № 56–4. – С. 359–365. – Режим доступа: <https://novainfo.ru/article/9386>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 11.08.2019).
5. Ильин Д. Ю. Информационно-аналитический сервис формирования актуальных профессиональных компетенций на основе патентного анализа технологий и выделения профессиональных навыков в вакансиях работодателей / Д. Ю. Ильин, Е. В. Никульчев, Г. Г. Бубнов, Е. О. Матешук // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 2 (38). – С. 71–88.
6. Казакова Е. И. Оценка универсальных компетенций студентов при освоении образовательных программ / Е. И. Казакова, И. Ю. Тарханова // Ярославский педагогический вестник. – 2018. – № 5. – С. 127–135.
7. Кулешова Н. В. Методика разработки индикаторов достижения профессиональных компетенций и построения дескрипторной модели компетенций / Н. В. Кулешова, А. Н. Полетаikin // Качество высшего и среднего профессионального образования в условиях перехода на федеральные государственные образовательные стандарты нового поколения : материалы LX научно-методической конференции. – Новосибирск : СибГУТИ, 2019. – С. 112–118.
8. Марданов М. Дж. Комплексная оценка и ранжирование вузов методом нечёткого логического вывода / М. Дж. Марданов, Р. Р. Рзаев // Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения : материалы Международной научно-технической конференции. – Севастополь, 2017. – С. 13–14.
9. Пегат А. Нечёткое моделирование и управление : пер. с англ. / А. Пегат. – 3-е изд. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 801 с.
10. Пивкин Е. Н. Применение теории нечетких множеств и обобщенного метода центра неопределенности для определения параметров функции принадлежности / Е. Н. Пивкин, В. М. Белов, Е. В. Рябова // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2008. – № 4 (62). – С. 70–76.
11. Полетаikin А. Н. Инфраструктурные средства мониторинга и интеллектуального управления дорожным движением / А. Н. Полетаikin, Ю. В. Белов // Автомобильный транспорт : сборник научных трудов. – Харьков : ХНАДУ, 2014. – Вып. 35. – С. 13–21.
12. Полетаikin А. Н. Подготовка классификационных данных для конструирования профессиональных компетенций / А. Н. Полетаikin, Т. С. Ильина, Л. Ф. Данилова // Вестник СибГУТИ. – 2018. – № 2. – С. 89–102.
13. Татур Ю. Г. Как повысить объективность измерения и оценки результатов образования / Ю. Г. Татур // Высшее образование в России. – 2010. – № 5. – С. 22–31.

14. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика. – 20 с. – Режим доступа: http://fgosvo.ru/fgosvo/downloads/1480/?f=%2Fuploadfiles%2FFGOS+VO+3%2B%2B%2FBak%2F090303_B_3_17102017.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.08.2018).
15. E. Boopathi Kumar. Edge detection using trapezoidal membership function based on fuzzy's mamdani inference system / E. Boopathi Kumar and M. Sundaresan // 2014 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom). – New Delhi, 2014. – P. 515–518.
16. Haipeng Pan. Study of Mamdani Fuzzy Controller and Its Realization on PLC / Haipeng Pan and Jiade Yan // 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. – Dalian, 2006. – P. 3997–4001.
17. Sanz J. A. IVTURS: A Linguistic Fuzzy Rule-Based Classification System Based On a New Interval-Valued Fuzzy Reasoning Method With Tuning and Rule Selection / J. A. Sanz, A. Fernández, H. Bustince and F. Herrera // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – June 2013. – Vol. 21, № 3. – P. 399–411
18. Kennedy D. Writing and Using Learning Outcomes: A Practical Guide / D. Kennedy. – Cork : University College Cork, 2006. – 103 p.
19. Gacto M. J. Interpretability of linguistic fuzzy rule-based systems: An overview of interpretability measures / M. J. Gacto, R. Alcal, F. Herrera // Inf. Sci. – 2011. – Vol. 181, № 20. – P. 4340–4360.
20. Devi M. S. A hybrid technique of Mamdani and Sugeno based fuzzy interference system approach / M. S. Devi and M. Soranamageswari // 2016 International Conference on Data Mining and Advanced Computing (SAPIENCE). – Ernakulam, 2016. – P. 340–342.
21. Na W. A Mamdani Fuzzy modeling method via Evolution-Objective Cluster Analysis" / W. Na, H. Chaofang and S. Wuxi // Proceedings of the 31st Chinese Control Conference. – Hefei, 2012, – P. 3470–3475.
22. Chang Y. Fuzzy Interpolative Reasoning for Sparse Fuzzy-Rule-Based Systems Based on the Areas of Fuzzy Sets / Y. Chang, S. Chen and C. Liau // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2008. – Vol. 16, № 5. – P. 1285–1301.

References

1. Golosovsky M. S., Bogomolov A. V., Terebov D. S., Yevtushenko E. V. Algoritm nastroyki sistemy nechetkogo logicheskogo vyvoda tipa Mamdani [Algorithm of adjusting the system of Mamdani fuzzy interference system] *Vestnik Juzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya. Matematika. Mehanika. Fizika* [Bulletin of the South Ural State University. Series. Maths. Mechanics. Physics], 2018, vol. 10, no. 3, pp. 19–29.
2. Baidenko V. I. (ed.) *Bolonskiy protsess: evropeyskie i natsionalnye struktury kvalifikatsiy (Kniga-prilozhenie 2)* [Bologna process: European and national qualifications frameworks (Book-Annex 2)]. Moscow, 2009. 220 p.
3. Brumshteyn Yu. M., Konovalova D. I. Sistemnyy analiz tekhnologiy kompyuternogo testirovaniya s ispolzovaniem nechetkikh otvetov. Chast 1. Testovye zadaniya kategoriy «vybor iz nabora otvetov» i «ranzhirovanie obektov» [System analysis of computer testing technologies with illegible answers using. Part 1. Test tasks of categories "the choice from a set of answers" and "ranging of objects"]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 4 (44), pp. 57–71.
4. Vlasov D. A. Voprosy razrabotki deskriptorov dlya sistemy vysshego obrazovaniya [Questions of development of descriptors for the system of higher education]. *NOVAINFO.RU*, no. 56-4, pp. 359–365. Available at: <https://novainfo.ru/article/9386> (accessed 11.08.2019).
5. Ilin D. Yu., Nikulchev Ye. V., Bubnov G. G., Mateshuk Ye. O. Informatsionno-analiticheskiy servis formirovaniya aktualnykh professio-nalnykh kompetentsiy na osnove patentnogo analiza tekhnologiy i vydeleniya professionalnykh navykov v vakansiyakh rabotodateley [informational and analytical service of formation of actual professional competences on the basis of patent analysis of technologies and allocation of professional skills in vacancies of employers]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 2 (38), pp. 71–88.
6. Kazakova Ye. I., Tarkhanova I. Yu. Otsenka universalnykh kompetentsiy studentov pri osvoenii obrazovatelnykh program [Evaluation of universal competences of students in the development of educational programs]. *Yaroslavskiy Pedagogicheskiy vestnik* [Yaroslavl Pedagogical Bulletin], 2018, no. 5, pp. 127–135.
7. Kuleshova N. V., Poletaykin A. N. Metodika razrabotki indikatorov dostizheniya professionalnykh kompetentsiy i postroeniya deskriptornoy modeli kompetentsiy [Method of the development of professional competence achievement indicators and buildings competencies descriptor models]. *Kachestvo vysshego i srednego professionalnogo obrazovaniya v usloviyakh perekhoda na federalnye gosudarstvennye obrazovatelnye standarty novogo pokoleniya : materialy LX nauchno-metodicheskoy konferentsii* [The quality of higher and secondary vocational education in the context of the transition to a new generation of federal state educational standards: materials of the LX scientific and methodological conference]. Novosibirsk, 2019. pp. 112–118.
8. Mardanov M. J., Rzajev R. R. Kompleksnaya otsenka i ranzhirovanie vuzov metodom nechetkogo logicheskogo vyvoda [Complex estimation and ranking the high schools by fuzzy logical method]. *Avtomatizatsiya i priborostroyeniye: problemi, resheniya : materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Automation and instrumentation: problems, solutions: materials of the International scientific and technical conference], 2017, pp. 13–14.
9. Pegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. 3-rd ed. Moscow, 2015. 801 p.
10. Pivkin E. N., Belov V. M., Ryabova E. V. Primeneniye teorii nechetkikh mnozhestv i obobshchennogo metoda tsentra neopredelennosti dlya opredeleniya parametrov funktsii prinadlezhnosti [Application of the theory

of fuzzy sets and the generalized method of the center of uncertainty to determine the parameters of the membership function]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburzhskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* [Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. Informatics. Telecommunications. Control], 2008, no. 4 (62), pp. 70–76.

11. Poletaykin A. N., Belov Yu. V. Infrastrukturnye sredstva monitoringa i intellektualnogo upravleniya dorozhnym dvizheniem [Infrastructure monitoring, and intelligent traffic management]. *Avtomobilnyy transport : sbornik nauchnykh trudov* [Road transport : proceedings]. Kharkiv, 2014, issue 35, pp. 13–21.

12. Poletaykin A. N., Ilina T. S., Danilova L. Ph. Podgotovka klassifikatsionnykh dannykh dlya konstruirovaniya professio-nalnykh kompetentsiy [Preparation of classification data for designing of professional competences]. *Vestnik SIBGUTI* [Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences], 2018, no. 2, pp. 89–102.

13. Tatur Yu. G. Kak povysit obektivnost izmereniya i otsenki rezultatov obrazovaniya [How to improve the objectivity of measurement and evaluation of educational results]. *Vysshee obrazovanie v Rossii* [Higher education in Russia], 2010, no. 5, pp. 22–31.

14. *Federal state educational standard of the higher education in the direction of preparation 09.03.03 Applied Informatics*. 20 p. Available at: http://fgosvo.ru/fgosvo/downloads/1480/?f=%2Fuploadfiles%2FFGOS+VO+3%2B%2B%2FBak%2F090303_B_3_17102017.pdf (accessed 17.08.2018).

15. E. Boopathi Kumar and M. Sundaresan. Edge detection using trapezoidal membership function based on fuzzy's mamdani inference system. *2014 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*. New Delhi, 2014, pp. 515–518.

16. Haipeng Pan and Jiade Yan. Study of Mamdani Fuzzy Controller and Its Realization on PLC. *2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*. Dalian, 2006, pp. 3997–4001.

17. Sanz J. A., Fernández A., Bustince H. and Herrera F. IVTURS: A Linguistic Fuzzy Rule-Based Classification System Based On a New Interval-Valued Fuzzy Reasoning Method With Tuning and Rule Selection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, June 2013, vol. 21, no. 3, pp. 399–411,

18. Kennedy D. *Writing and Using Learning Outcomes: A Practical Guide*. Cork, University College Cork, 2006. 103 p.

19. Gacto M. J., Alcal R., Herrera F. Interpretability of linguistic fuzzy rule-based systems: An overview of interpretability measures. *Inf. Sci.* 2011, vol. 181, no. 20, pp. 4340–4360.

20. Devi M. S. and Soranamageswari M. A hybrid technique of Mamdani and Sugeno based fuzzy interference system approach. *2016 International Conference on Data Mining and Advanced Computing (SAPIENCE)*. Ernakulam, 2016, pp. 340–342.

21. Na W., Chaofang H. and Wuxi S. A Mamdani Fuzzy modeling method via Evolution-Objective Cluster Analysis. *Proceedings of the 31st Chinese Control Conference*. Hefei, 2012, pp. 3470–3475.

22. Chang Y., Chen S. and Liao C. Fuzzy Interpolative Reasoning for Sparse Fuzzy-Rule-Based Systems Based on the Areas of Fuzzy Sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2008, vol. 16, no. 5, pp. 1285–1301.

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

УДК 004.42, 681.51

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА¹

Статья получена редакцией 09.06.2019, в окончательной версии – 26.08.2019.

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

Марков Алексей Евгеньевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28,
магистрант, e-mail: markovalex95@gmail.com

Скориков Андрей Викторович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28,
ассистент, e-mail: scorpion_energy@mail.ru

Тарасов Павел Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28,
ассистент, e-mail: tarasradio@mail.ru

Рассматриваются вопросы построения программной траектории движения, которые могут быть использованы в инициативных проектах по созданию беспилотных транспортных средств, реализуемых творческими коллективами Волгоградского государственного технического университета. Приводится авторский метод построения данной траектории, представляющий собой модификацию известного алгоритма прокладки маршрута для беспилотных наземных транспортных средств. Для описания траектории движения используются полиномы. С целью поиска коэффициентов полиномов, описывающих оптимальную траекторию, осуществляется решение системы линейных алгебраических уравнений. Применение данного метода позволяет оптимизировать построение траектории движения с учетом заданных ограничений. Представленные в статье решения были апробированы на реальной авторской модели беспилотного транспортного средства, оснащенной бортовым компьютером NVidia Jetson TX2. Она представляет собой неоднородную параллельную вычислительную систему, включающую в себя два 64-битных четырехядерных ARM-процессора и GPU Pascal.

Ключевые слова: беспилотный автомобиль, построение траектории, оптимальная траектория, метод планирования движения, система линейных алгебраических уравнений, объезд препятствий, алгоритм Дейкстры

A SOFTWARE CONSTRUCTION OF THE UNMANNED GROUND VEHICLE TRAJECTORY

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

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

Markov Alexey E., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

student, e-mail: markovalex95@gmail.com

Skorikov Andrey V., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Assistant, e-mail: scorpion_energy@mail.ru

Tarasov Pavel S., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Assistant, e-mail: tarasradio@mail.ru

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 18-47-340010 p_a.

разработка и реализация системы построения достижимой программной траектории, которая позволит автономному наземному транспортному средству двигаться, избегая препятствий.

Обзор существующих решений. Имеется большое количество методов построения программной траектории движения, которые могут быть применены к наземным транспортным средствам. В работах [3, 5, 10–11, 18] дан обзор различных методов планирования движения применительно к беспилотным автомобилям. Подробные обзоры целостных систем управления беспилотным автомобилем приведены в статьях [8, 12, 13, 19] участников соревнований автомобилей-роботов DARPA Urban Challenge.

Среди большого количества методов планирования движения можно выделить следующие: методы планирования на графах, случайные (sampled-based) методы, методы интерполяции кривыми, методы численной оптимизации и ряд других. Многие из фактически применяемых методов являются гибридными и сочетают в себе несколько подходов.

Наиболее простыми и распространенными методами построения пути являются методы поиска на графах. Широко распространенным методом данной группы является метод клеточной декомпозиции, когда препятствия представляются в виде регулярной сетки (Occurance Grid). При этом каждой клетке ставится в соответствие наличие (или вероятность наличия) препятствия. Поиск пути перемещения объекта может осуществляться рядом алгоритмов поиска на графах. Подобные методы широко применяются для мобильных роботов. Недостатком подобного подхода является тот факт, что указанные методы позволяют получить только геометрический путь, без учета профиля (динамики) изменения скорости во времени. При этом получаемые пути могут не удовлетворять кинематическим и динамическим ограничениям для конструкции робота, а возможно, и его грузов.

Существует ряд модификаций графовых методов, например, алгоритм Hybrid A* [9]. В этом алгоритме дискретным элементам сетки сопоставляются непрерывные координаты автомобиля в пространстве состояний, а переходы между вершинами графа осуществляются с помощью решения прямой задачи динамики с учетом управляющих воздействий, примененных к модели автомобиля.

Другим широко распространенным методом является метод регулярной решетки состояний (state lattice) [17]. В этом методе используется граф, узлы которого расположены в форме регулярной решетки, а ребра соединяют начальное состояние и все возможные состояния, которые могут быть достижимы из него. Важной особенностью этого метода является то, что может быть выделено некое подмножество этих вершин и ребер, инвариантное к положению начального состояния. Таким образом, можно заранее рассчитать ограниченный набор состояний и достижимых траекторий для переходов между ними, а затем использовать их для поиска наиболее подходящего решения. Это позволяет существенно сэкономить вычислительные ресурсы управляющего устройства.

Еще одним недостатком графовых алгоритмов, использующих регулярные сетки, является быстрый рост сложности при увеличении размерности задачи. Поэтому в настоящее время для сложных задач планирования движения, например, задач перемещения твердого тела в трехмерном пространстве, применяются алгоритмы на основе Rapidly-Exploring Random Trees (RRT) [14]. Идея этого метода заключается в том, что из начального состояния строится дерево, которое может достичь конечного состояния, путем выбора случайных точек в конфигурационном пространстве или пространстве состояний. Алгоритм является итеративным, при этом на каждой итерации используются случайные выборки состояний (вершин дерева), за счет которых дерево пытается расширяться. Выбирается случайное состояние, после чего находится ближайшее к нему состояние в дереве. Если между ними нет препятствий, то строится ребро от ближайшего состояния к новому (либо по направлению к новому, но не превышающее заданной длины). Если препятствие есть, новая вершина отклоняется, т.е. ребро не строится. Существует ряд модификаций этого алгоритма, например, RRT* [18], представляющий его вариант, оптимизированный с точки зрения получения решения, так как базовый алгоритм возвращает неоптимальную траекторию.

Другое семейство алгоритмов, применяемое в системах планирования движения беспилотных автомобилей, основано на представлении траектории движения в форме кривых. В данных методах применяются полиномы различных порядков (третьего, пятого), кривые Безье, окружности, сплайны [6]. Чаще всего эти методы используются при движении по дорогам, что является более простой задачей, чем построение траектории для движения в произвольном окружении. Кривые применяются для построения траектории движения между последовательностью ключевых точек, описывающих маршрут движения.

Предлагаемые решения. В данной работе предложен метод построения программной траектории беспилотного наземного транспортного средства с использованием полиномов пятого порядка. Этот метод является модификацией решения, предложенного одной из команд [16], участвовавшей в DARPA Urban Challenge. Данное мероприятие представляет собой соревнования автомобилей-роботов, проводимых в США, целью которых является создание полностью автономных транспортных средств.

Планирование траектории осуществляется независимо для продольного движения вдоль опорной траектории и поперечного (по отношению к этой траектории) движения без учета неровностей рельефа дороги, т.е. принимается, что движение осуществляется по плоскости. Планирование осуществляется в подвижной системе координат, движущейся по опорной траектории вместе с автомобилем, как показано на рисунке 1.

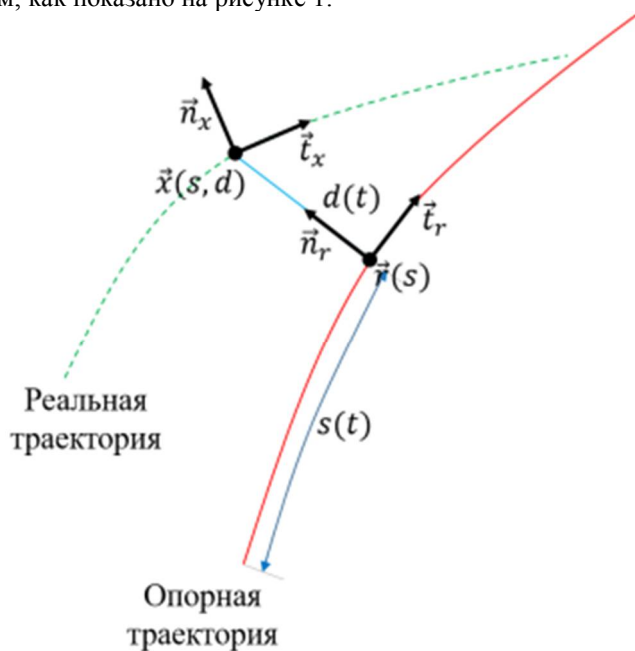


Рисунок 1 – Система координат для планирования движения

Опорная траектория (изображена на рисунке 1 красной линией) представлена натурально параметризованной кривой, т.е. кривой, параметризованной длиной ее дуги. Здесь $s(t)$ – покрытая длина дуги в момент времени t , т.е. длина дуги опорной траектории, которую преодолел автомобиль к моменту времени t .

Положение автомобиля в глобальной системе координат обозначено радиус-вектором $\vec{x}$. Этому положению автомобиля соответствует подвижная система координат $\vec{r}(s)$, представляющая собой ортонормированный репер Френе [7], где $\vec{t}_r$ и $\vec{n}_r$ – касательный и нормальный векторы к опорной траектории соответственно. Таким образом, положение автомобиля в глобальной декартовой системе координат (x, y) может быть представлено в подвижной системе координат как (s, d) , где d – расстояние между автомобилем и опорной траекторией.

За основу функции качества, применяемой при принятии решения в процессе прокладки маршрута, был взят интеграл от производной ускорения по времени $\ddot{s}$, называемый рывком (jerk) [16]:

$$\begin{aligned} J_s &= \int_0^T \ddot{s}(t)^2 dt, \\ J_d &= \int_0^T \ddot{d}(t)^2 dt. \end{aligned} \quad (1)$$

Данный выбор является распространенным во многих алгоритмах планирования движения автомобилей. Использование функции качества типа (1) позволяет строить траектории с более плавными маневрами, при выполнении которых величина ускорения не превышает значения, задаваемого в качестве ограничения. Использование данной функции качества позволяет также в целом уменьшать количество маневров и рывков. В итоге предпочтение будет отдаваться траекториям, позволяющим достичь целей перемещения с меньшим количеством

маневров. Минимизация числа рывков в процессе движения способствует комфорту пассажиров, а также лучшей сохранности некоторых видов перевозимых грузов.

Полную функцию качества для продольного и поперечного движения можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} C_d &= K_{dj} \int_0^T \ddot{d}(t)^2 dt + K_d d(T)^2 + K_{dt} T, \\ C_s &= K_{sj} \int_0^t \ddot{s}(t)^2 dt + K_s (s(T) - S_1)^2 + K_v (\dot{s}(T) - \dot{S}_1) + K_{st} T, \\ C &= K_{lon} C_s + K_{lat} C_d, \end{aligned} \quad (2)$$

где $s(t)$, $d(t)$ – продольная и поперечная траектории соответственно; T – длительность маневра; S_1 – целевое продольное состояние; K_{dj} , K_d , K_{dt} , K_{sj} , K_s , K_v , K_{st} – весовые коэффициенты.

В соответствии с [15], траектории, минимизирующие подобные функции качества, могут быть найдены в форме полиномов пятого порядка:

$$s(t) = a_0 t^5 + a_1 t^4 + a_2 t^3 + a_3 t^2 + a_4 t + a_5. \quad (3)$$

Полином здесь используется не только для интерполяции формы траектории, по которой движется автомобиль, но и для определения профиля скорости и ускорения. В качестве них применяются первая и вторая производные функции $s(t)$ соответственно. Это позволяет строить траектории, которые будут непрерывными и гладкими для положения ($s(t)$) и скорости ($ds(t)/dt$). Полная траектория движения формируется из набора таких коротких участков, описываемых полиномами. Для этого планирование движения автомобиля повторяется с определенной периодичностью, а в качестве начальных условий используются текущее положение, скорость и ускорение автомобиля. Как было сказано выше, полиномы непрерывны и гладки по положению и скорости. Таким образом, итоговая траектория, полученная из набора участков, также будет непрерывной и гладкой.

Коэффициенты полиномов для оптимальной траектории на отдельном участке могут быть найдены путем решения системы из шести линейных уравнений. При этом необходимо учитывать начальное состояние траектории (текущее состояние автомобиля, получаемое с использованием сенсоров) S_0 , требуемое конечное состояние S_1 автомобиля и длительность маневра T . В данной работе для получения начального приближения для времени маневра применяется длительность равноускоренного движения при заданных S_0 , S_1 .

Для определения оптимальной траектории, которая удовлетворяет ограничениям (максимальное продольное ускорение, максимальная продольная скорость, максимальное поперечное ускорение, минимальный радиус кривизны) и не пересекается с препятствиями, формируется набор траекторий-кандидатов путем варьирования конечного состояния (или других параметров – поперечного отклонения, продольного положения и скорости, длительности маневра). После чего из полученных траекторий выбирается оптимальная. При этом она не пересекается с препятствиями и удовлетворяет заданным ограничениям. Пример набора траекторий представлен на рисунке 2. Красным цветом здесь обозначены траектории, удовлетворяющие ограничениям, серым – не удовлетворяющие ограничениям. Для построения графиков использовалась библиотека matplotlib для языка Python.

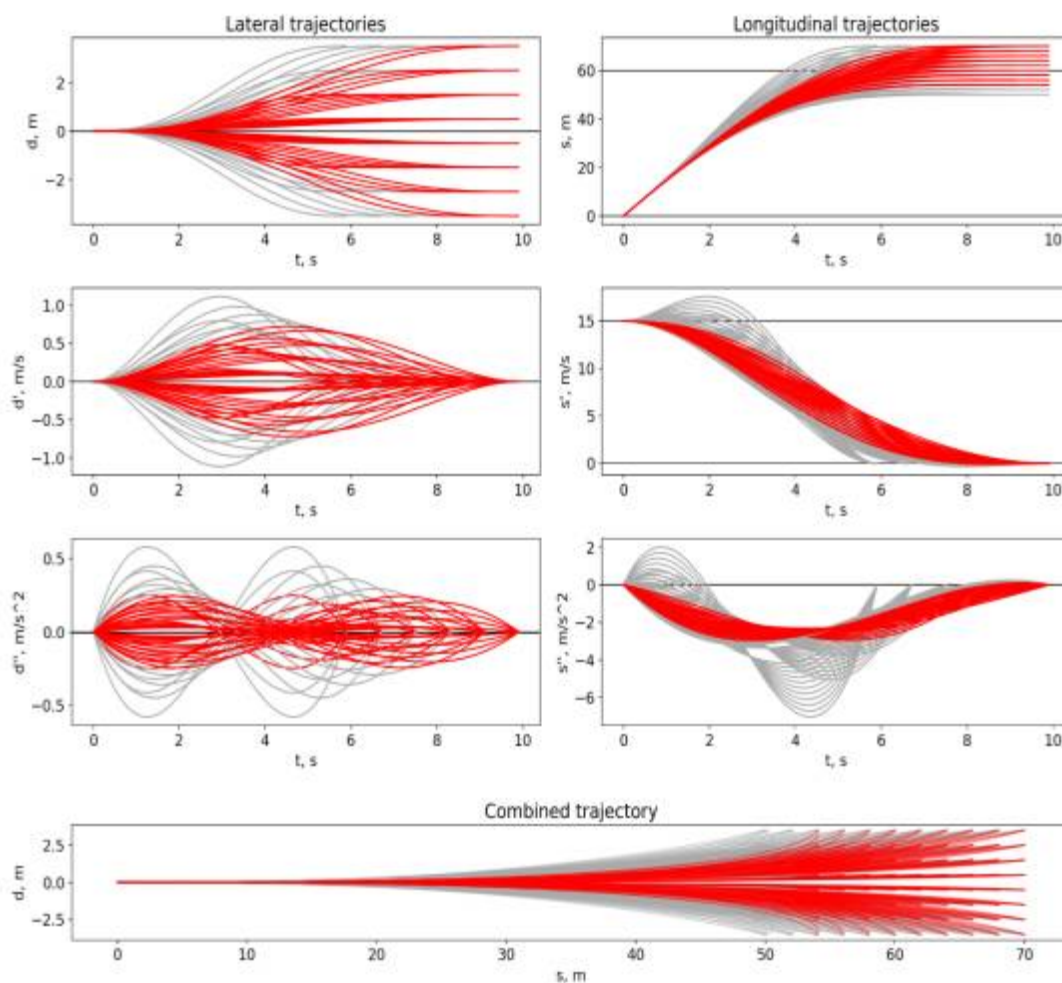


Рисунок 2 – Пример формирования набора траекторий

На рисунке 2 применены следующие обозначения:

- графики lateral trajectories использованы для описания поперечного перемещения, при этом d – собственно зависимость поперечного перемещения от времени, d' – график зависимости поперечной скорости, а d'' – график зависимости поперечного ускорения от времени;
- графики longitudinal trajectories использованы для описания продольного перемещения, при этом s – собственно зависимость продольного перемещения от времени, s' – график зависимости продольной скорости, а s'' – график зависимости продольного ускорения от времени;
- на графике combined trajectory представлена собственно траектория движения с учетом продольных и поперечных перемещений.

Пример выбора оптимальной траектории для объезда препятствия показан на рисунке 3. Здесь синим цветом обозначено препятствие, красным – целевое положение, серые линии используются для обозначения траекторий, не удовлетворяющих ограничениям (пересекающиеся с препятствием), зеленым – удовлетворяющие ограничениям, красным – выбранная оптимальная траектория. Если заданным ограничениям удовлетворяют несколько траекторий-кандидатов, то в простейшем случае любая из них может быть выбрана в качестве оптимальной. Также может быть выбрана наилучшая траектория из подходящих траекторий-кандидатов путем дальнейшего уточнения ограничений. Однако данный вопрос выходит за рамки данной работы и будет в дальнейшем рассмотрен в отдельной статье.

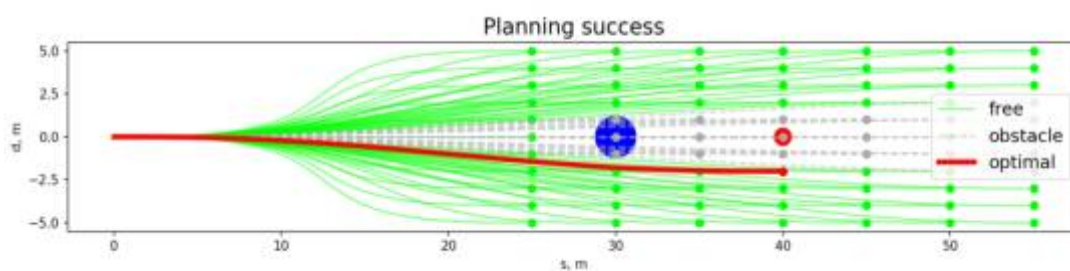


Рисунок 3 – Пример планирования траекторий с учетом препятствия

Для улучшения планирования траектории в более сложных случаях было предложено осуществлять планирование на несколько шагов по времени вперед. При этом каждое конечное состояние является начальным состоянием для следующего этапа планирования. Таким образом, была применена концепция, похожая на state lattice [17]. Пример планирования траекторий на несколько шагов представлен на рисунке 4. Для наглядности осуществлялось варьирование только поперечных параметров траекторий.

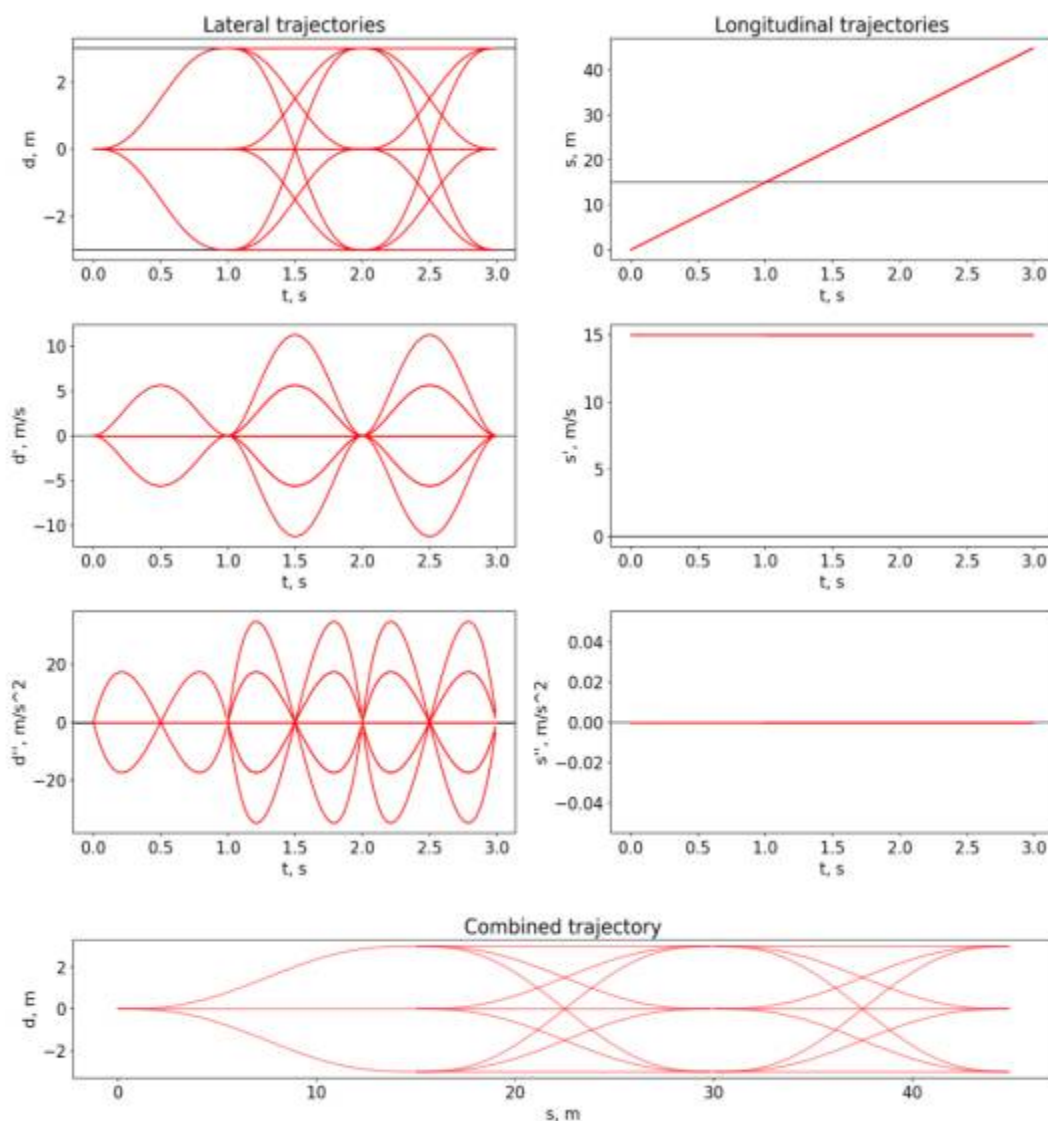


Рисунок 4 – Планирование траекторий на несколько шагов вперед

В этом случае требуется определить оптимальное конечное состояние и оптимальную траекторию для его достижения. В данном случае применяется алгоритм Дейкстры [4] для нахождения кратчайшего пути на графе. Вес траектории складывается из весов ребер, определяющихся резкостью маневров, и весов вершин, определяющихся удаленностью вершины от конечного положения траектории:

$$C_{move} = K_{lon}K_{sj} \int_0^T \ddot{s}(t)^2 dt + K_{lat}K_{dj} \int_0^T \ddot{d}(t)^2 dt,$$

$$C_{state} = K_{lon} \left[K_s(s(T) - S_1)^2 + K_v(\dot{s}(T) - \dot{S}_1)^2 \right] + K_{lat}K_d(T)^2, \quad (4)$$

$$C = C_{move} + C_{state}.$$

Полученный алгоритм можно описать следующим образом. Вначале осуществляется построение графа возможных состояний и траекторий путем варьирования конечных состояний, как было описано выше. Затем с помощью алгоритма Дейкстры определяется кратчайший путь и его вес C_{move} от начального состояния до всех состояний в графе. На последнем шаге выбирается конечное состояние с минимальным суммарным весом C .

Блок-схема алгоритма формирования набора траекторий приведена на рисунке 5.

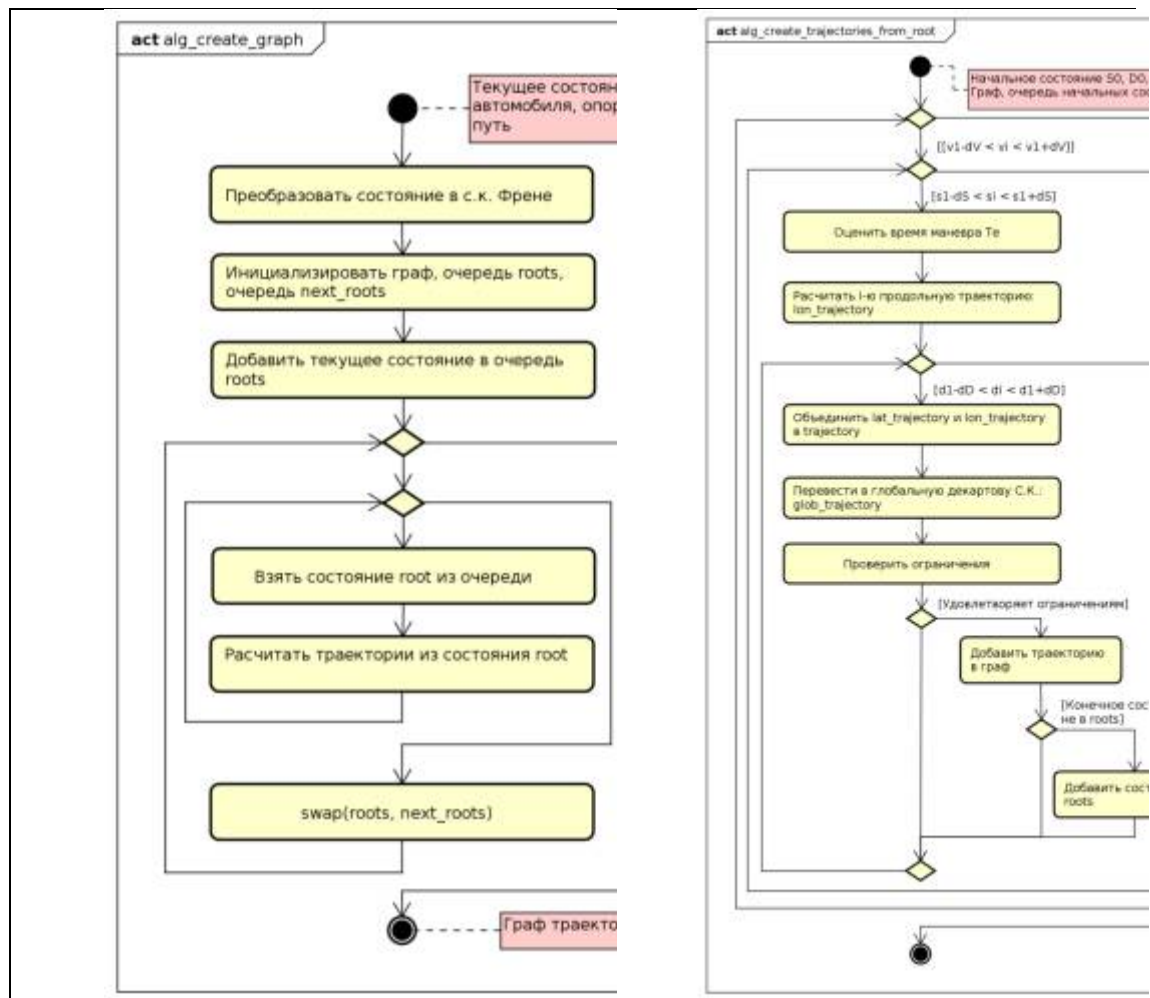


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма формирования набора траекторий: а – блок-схема алгоритма построения графа; б – блок-схема шага расчета набора траекторий из заданного начального состояния

На вход подаются состояние автомобиля, полученное с помощью системы SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), карта препятствий и локальная цель. Вначале происходит преобразование начального и целевого состояния в подвижную систему координат Френе, заданную опорной траекторией. Инициализируются пустой граф и две пустых очереди для хранения новых состояний, из которых впоследствии осуществляется формирование траекторий. В качестве первого начального состояния в очередь помещается текущее состояние

автомобиля в системе координат Френе. Алгоритм работает до тех пор, пока не будет построено необходимое количество слоев графа. При заполнении каждого слоя из очереди извлекается очередное состояние, начиная с которого осуществляется формирование набора траекторий. Конечные состояния этих траекторий помещаются в очередь, для использования при формировании нового слоя. В алгоритме применяются две очереди состояний, которые переключаются после заполнения каждого слоя для оптимизации процесса вычислений.

Следующим этапом алгоритма планирования траектории является нахождение кратчайших путей до всех вершин с помощью алгоритма Дейкстры. Блок-схема этого алгоритма, представленная в форме UML-диаграммы, изображена на рисунке 6.

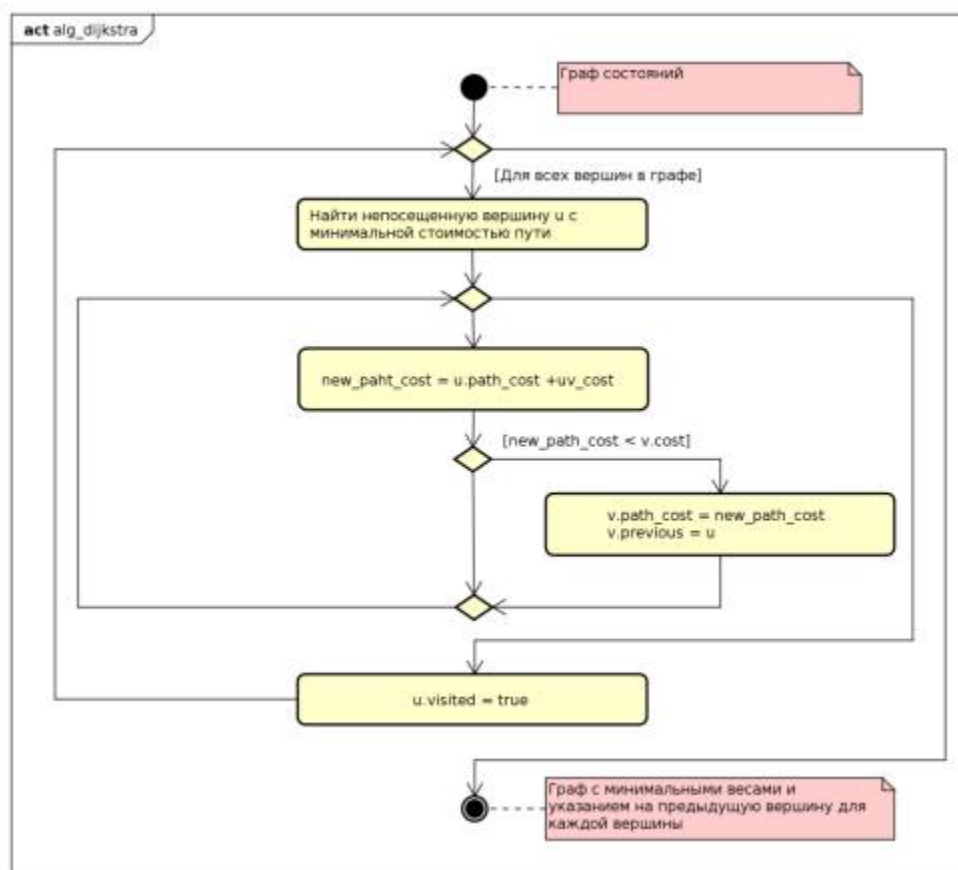


Рисунок 6 – Реализация алгоритма Дейкстры

В начале алгоритма стоимость путей до всех вершин (кроме начальной) инициализируется максимально возможными значениями. Все вершины отмечаются как непосещенные. На каждой итерации алгоритма выбирается вершина u с минимальной стоимостью пути от текущей до начальной. Это может быть сделано простым перебором за $O(N)$, причем использование различных структур данных может сократить данную оценку. Затем перебираются все вершины v , связанные ребром с u . Рассчитывается стоимость пути до вершин v при движении через вершину u : $\text{new_path_cost} = u.\text{path_cost} + uv_edge_cost$, и если эта стоимость меньше, чем та, которая сохранена в вершине v , то значение стоимости пути до вершины v обновляется. Для того чтобы в дальнейшем можно было восстановить кратчайший маршрут, а не только получить его стоимость, для вершины v обновляется предыдущая вершина кратчайшего маршрута – вершина $v.\text{previous}$. После обработки всех связанных вершин вершина u отмечается как посещенная. Затем алгоритм переходит к следующей итерации.

Алгоритм завершается после того, как все вершины будут посещены. Финальным этапом работы алгоритма является выбор оптимального конечного состояния. Оно обладает минимальным суммарным весом $C = C_{\text{move}} + C_{\text{state}}$, где C_{move} получен в результате использования алгоритма Дейкстры, а C_{state} для каждой вершины рассчитан при формировании графа.

Полученные результаты. Предложенный алгоритм был протестирован на небольшой мобильной колесной платформе, использованной в качестве модели автомобиля, представленной на рисунке 7.



Рисунок 7 – Платформа, использованная для экспериментов

Данная статья написана во многом по следам исследований, проведенных в рамках подготовки магистерских диссертаций. Поэтому выбор компонентов был обусловлен, в первую очередь, наличием этих компонентов в вузе.

Платформа оснащена LiDAR VLP-16 для обнаружения препятствий, стереокамерой ZED, использующейся для определения положения в пространстве с помощью SLAM и бортовым компьютером NVidia Jetson TX2.

Стереокамера ZED оснащена двумя камерами с высоким разрешением, качественной оптикой и встроенной системой инерциальной навигации, повышающей точность определения ориентации камеры. Поступающее в комплекте с камерой программное обеспечение, реализующее алгоритм SLAM, позволяет определять положение камеры с высокой точностью (сантиметры и менее). Встраиваемый компьютер NVidia Jetson TX2 имеет компактные размеры, малое энергопотребление, но при этом обладает сравнительно высокой производительностью по сравнению с другими встраиваемыми системами, такими как, например, Raspberry Pi. Он оснащен GPU NVidia с архитектурой Pascal, что позволяет существенно повысить быстродействие для ряда задач.

В ходе экспериментов было протестировано движение модели по заданной опорной траектории, на которой имелись препятствия. Эксперименты показали, что предложенный алгоритм позволяет успешно объезжать препятствия. На рисунке 8 представлена визуализация работы алгоритма в реальных условиях.

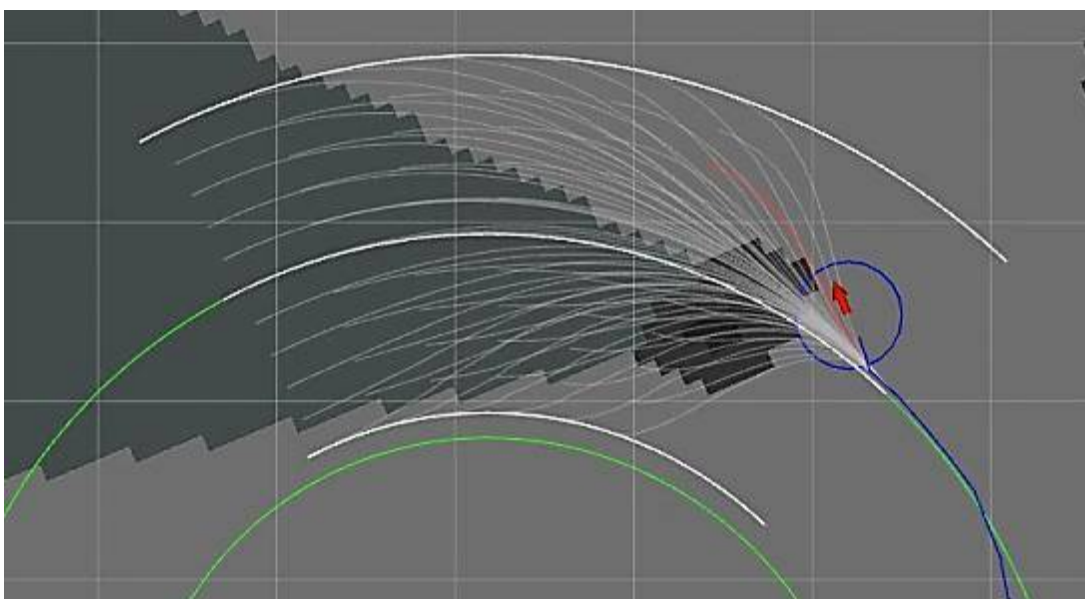


Рисунок 8 – Результат эксперимента с объездом препятствий

В ходе эксперимента осуществлялось движение модели автомобиля по заданной спиралевидной траектории (она обозначена на рисунке зеленой линией) при наличии препятствий. Для распознавания препятствий использовалось облако точек, полученное с помощью LiDAR. Препятствия представлялись в виде регулярной сетки, ячейки которой могут иметь одно из следующих значений: свободно, препятствие и неизвестно. Такая карта препятствий носит название Оссурпэнси Грид. Алгоритм построения карты препятствий содержит несколько шагов:

- получение облака точек;
- разбиение облака точек на сетку с ячейкой заданного размера (при этом изначально все ячейки имеют значение «неизвестно»);
- ячейка помечается как препятствие, если число точек в ней, расположенных выше заданной высоты ($z > z_{\max}$), превышает некоторое заданное значение ($\text{cnt}_{\max}$);
- в качестве свободных принимаются ячейки, расположенные в зоне прямой видимости от LiDAR до ячеек препятствий, не включая их;
- вокруг каждой ячейки препятствия создавалась буферная зона путем растрирования окружности некоторого радиуса с помощью алгоритма Брезенхема [6] – для того, чтобы учесть габариты транспортного средства.

На рисунке 8 препятствия обозначены черным цветом, свободные клетки – серым, все остальное – неизвестно (тень от препятствия). Красной стрелкой с окружностью вокруг нее обозначено текущее положение автомобиля, получаемое с помощью SLAM-алгоритма, синей линией – реальная траектория автомобиля. Толстые белые линии – границы поперечного планирования траекторий, светло-белые линии – сформированные траектории-кандидаты, выбранная оптимальная программная траектория для следующего участка движения обозначена красной линией. Алгоритм работает итеративно, поэтому до того, как автомобиль доедет до конца запланированной траектории (красная линия), будет сформирован новый участок программной траектории. Рисунок построен при помощи RViz визуализатора, входящего в состав ROS.

Выводы. Авторами был разработан и реализован метод построения программных траекторий для автономного наземного транспортного средства. Представленные решения были апробированы на реальной авторской модели беспилотного транспортного средства, испытания которой признаны удачными. Модель объезжала препятствия, ее перемещения соответствовали задаваемым ограничениям.

Дальнейшее улучшение возможностей системы построения программных траекторий может быть осуществлено за счет применения специализированных вычислительных средств для повышения производительности бортовой вычислительной системы [2]. Также для проверки и/или формирования участков траектории с целью достижения лучшего учета динамических ограничений транспортного средства может быть использована программа «ФРУНД» (Формирование решений уравнений нелинейной динамики, <http://frund.vstu.ru>) – программный комплекс для решения задач многотельной динамики твердых и упругих тел, разрабатываемый творческим коллективом ВолгГТУ.

Библиографический список

1. Егунов В. А. Об управлении манипуляционным механизмом мобильного робота / В. А. Егунов, А. П. Жуков, М. И. Потапов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – № 11 (84). – С. 49–51.
2. Егунов В. А., Лукьянов В. С. Аппаратные методы решения задач линейной алгебры : монография / В. А. Егунов, В. С. Лукьянов. – Волгоград : Волгоградский гос. технический ун-т, 2007.
3. Казаков К. А. Обзор современных методов планирования движения / К. А. Казаков, В. А. Семенов // Труды Института системного программирования РАН. – 2016.
4. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ = Introduction to Algorithms / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн ; под ред. И. В. Красикова. – 2-е изд. – Москва : Вильямс, 2005. – 1296 с.
5. Лю В. Методы планирования пути в среде с препятствиями (обзор) / В. Лю // Математика и математическое моделирование. – 2018. – № 1. – С. 15–58.
6. Палагута К. А. Кривые Безье как опорные кривые для построения траектории автомобиля / К. А. Палагута, А. А. Алексеев. – Москва : Мир, 1989.
7. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики / Д. Роджерс // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2010. – № 1. – С. 453–455.
8. Топоногов В. А. Дифференциальная геометрия кривых и поверхностей / В. А. Топоногов. – Москва : Физматкнига, 2012. – ISBN 978-5-89155-213-5.
9. A Perception-Driven Autonomous Urban Vehicle / J. J. Leonard [et al.] // Journal of Field Robotics. – 2008. – Oct. – Vol. 25. – P. 727–774. DOI: 10.1002/rob.20262.
10. Application of Hybrid A* to an Autonomous Mobile Robot for PathPlanning in Unstructured Outdoor Environments / J. Peterit [et al.] // ROBOTIK 2012 : 7th German Conference on Robotics. – 05/2012. – P. 1–6.
11. A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles / D. Gonzalez Bautista [et al.] // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2015. – Nov. – P. 1–11. DOI: 10.1109/TITS.2015.2498841.
12. A Survey of Motion Planning and Control Techniques for Self-driving Urban Vehicles / B. Paden [et al.] // CoRR. – 2016. – Vol. abs/1604.07446. – arXiv: 1604.07446. – Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/1604.07446>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Autonomous driving in urban environments: Boss and the Urban Challenge // Journal of Field Robotics Special Issue on the 2007 DARPA UrbanChallenge. Part I. – 2008. – June. – Vol. 25, № 8. – P. 425–466.
14. Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge / M. Montemerlo [et al.] // Journal of Field Robotics. – 2008. – Sept. – Vol. 25. – P. 569–597. DOI: 10.1002/rob.20258.
15. LaValle S. M. Rapidly-Exploring Random Trees: A New Tool for Path Planning / S. M. LaValle. – 1998.
16. Local Path Planning And Motion Control For Agv In Positioning / A. Takahashi [et al.] // Proceedings. IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems. (IROS '89) The Autonomous Mobile Robots and Its Applications. – 09/1989. – P. 392–397. DOI: 10.1109/IROS.1989.637936.
17. Optimal Trajectory Generation for Dynamic Street Scenarios in a FrenetFrame / M. Werling [et al.]. – 06/2010. – P. 987–993. DOI:10.1109/ROBOT.2010.5509799.
18. Pharpata P. Shortest path for aerial ehicles in heterogeneous environment using rrt* / P. Pharpata, B. Herisse and Y. Bestaoui // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2015. – P. 6388–6393.
19. Pivtoraiko M. Efficient constrained path planning via search instate lattices / M. Pivtoraiko, A. Kelly // The 8th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space. – 09/2005.
20. Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions / C. Katrakazas [et al.] // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2015. – Nov. – Vol. 60. – P. 416–442. DOI: 10.1016/j.trc.2015.09.011.
21. Team AnnieWAY's autonomous system for the 2007 DARPA Urban Challenge/ S. Kammel [et al.] // Journal of Field Robotics. – 2008. – Vol. 25, № 9. – P. 615–639. DOI: 10.1002/rob.20252. – Режим доступа: [eprint:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/rob.20252](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/rob.20252), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

References

1. Egunov V. A., Zhukov A. P., Potapov M. I. Ob upravlenii manipulyatsionnym mekhanizmom mobilnogo robota [About controlling manipulative mechanism for mobile robot]. *Izvestiya VolgGTU. Seriya. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series: Actual problems of control, computer engineering and informatics in technical systems], 2011, no. 11 (84), pp. 49–51.
2. Egunov V. A., Lukyanov V. S. *Apparatnye metody resheniya zadach lineynoy algebrы* [Hardware methods for solving linear algebra problems]. Volgograd, Volgograd State Technical University, 2007.
3. Kazakov K. A., Semenov K. A. Obzor sovremennykh metodov planirovaniya dvizheniya [Review of modern methods of traffic planning]. *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN* [Proceedings of the Institute of System Programming RAS], 2016.
4. Kormen T., Leyzerson Ch., Rivest R., Shtayn K. *Algoritmy: postroenie i analiz* [Introduction to Algorithms], 2nd ed. Moscow, Wiliams, 2005. 1296 p.

5. Lyu V. Metody planirovaniya puti v srede s prepyatstviyami (obzor) [Path planning methods in an environment with obstacles (overview)]. *Matematika i matematicheskoe modelirovanie* [Matematika i matematicheskoe modelirovanie], 2018, no. 1, pp. 15–58.
6. Palaguta K. A., Alekseyev A. A. Krivye Beze kak oprnye krivye dlya postroyeniya trayektorii avtomobilya [Bezier curves as reference curves for the construction of the trajectory of the car]. *Innovatsii na osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnology* [Innovation through information and communication technologies], 2010, no. 1, pp. 453–455.
7. Rodzhers D. *Algoritmicheskie osnovy mashinnoy grafiki* [Algorithmic bases of computer graphics], Moscow, Mir Publ., 1989.
8. Toponogov V. A. *Differentsialnaya geometriya krivyykh i poverhnostey* [Differential geometry of curves and surfaces]. Moscow, Fizmatkniga Publ., 2012.
9. Leonard J. J. et al. A Perception-Driven Autonomous Urban Vehicle. *Journal of Field Robotics*, 2008, Oct., vol. 25, pp. 727–774. DOI: 10.1002/rob.20262.
10. Petereit J. et al. Application of Hybrid A* to an Autonomous Mobile Robot for PathPlanning in Unstructured Outdoor Environments. *ROBOTIK 2012; 7th German Conference on Robotics*, 05/2012, pp. 1–6.
11. Gonzalez Bautista D. et al. A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, Nov., pp. 1–11. DOI: 10.1109/TITS.2015.2498841.
12. Paden B. et al. A Survey of Motion Planning and Control Techniques for Self-driving Urban Vehicles. *CoRR*, 2016, vol. abs/1604.07446, arXiv: 1604.07446. Available at: <http://arxiv.org/abs/1604.07446>.
13. Autonomous driving in urban environments: Boss and the Urban Challenge. *Journal of Field Robotics Special Issue on the 2007 DARPA Urban Challenge, Part I*, 2008, June, vol. 25, no. 8, pp. 425–466.
14. Montemerlo M. et al. Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge. *Journal of Field Robotics*, 2008, Sept., vol. 25, pp. 569–597. DOI: 10.1002/rob.20258.
15. LaValle S. M. *Rapidly-Exploring Random Trees: A New Tool for Path Planning*, 1998.
16. Takahashi A. et al. Local Path Planning And Motion Control For Agv In Positioning. *Proceedings. IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems. (IROS '89) 'The Autonomous Mobile Robots and Its Applications*, 09/1989, pp. 392–397. DOI: 10.1109/IROS.1989.637936.
17. Werling M. et al. Optimal Trajectory Generation for Dynamic Street Scenarios in a FrenetFrame, 06/2010, pp. 987–993. DOI:10.1109/ROBOT.2010.5509799.
18. Pharpata P., Herisse B., and Bestaoui Y. Shortest path for aerial ehicles in heterogeneous environment using rrt*. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2015, pp. 6388–6393.
19. Pivtoraiko M., Kelly A. Efficient constrained path planning via search instate lattices. *The 8th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space*, 09/2005.
20. Katrakazas C. et al. Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, Nov., vol. 60, pp. 416–442. DOI: 10.1016/j.trc.2015.09.011.
21. Kammel S. et al. Team AnnieWAY's autonomous system for the 2007 DARPA Urban Challenge. *Journal of Field Robotics*, 2008, vol. 25, no. 9, pp. 615–639. DOI: 10.1002/rob.20252. Available at: [eprint:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/rob.20252](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/rob.20252).

УДК 004.021, 004.043, 004.4

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛЕТОЧНОЙ МЕМБРАНЫ С ТОКСИКАНТАМИ ПРИ ПОИСКЕ АНТИДОТОВ

Статья поступила в редакцию 29.08.2019, в окончательной версии – 02.09.2019.

Жарких Леся Ивановна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: lesy_g@mail.ru

Предложена структура программного обеспечения для процесса моделирования межмолекулярного взаимодействия клеточной мембраны с токсикантами и для осуществления проверки эффективности предполагаемых антидотов. Описаны этапы проведения моделирования взаимодействий между молекулами и поиска антидотов к токсическому воздействию. Представлены схемы каждого этапа работы программного обеспечения. Описаны алгоритмы модулей и программ системы и проиллюстрированы результаты выполнения программы визуализации. Предложены базы данных для хранения результатов моделирования молекулярных взаимодействий, структуры и состава клеточных мембран, Z-матриц молекул, выявленных и заблокированных активных центров компонентов клеточных мембран и найденных антидотов к данному токсиканту. Представленная в статье компьютерная разработка позволит значительно уменьшить время проведения эксперимента, имитировать натурный эксперимент, проанализировать и проверить адекватность результатов математического моделирования на известных межмолекулярных взаимодействиях. Полученные результаты предоставляют возможность проводить поиск широкого круга антидотов для различных токсикантов.

Ключевые слова: межмолекулярное взаимодействие, алгоритм, программное обеспечение, база данных, квантово-химические расчеты, квантово-химический программный комплекс, токсикант, антидот

STRUCTURE OF SOFTWARE FOR MODELING INTERMOLECULAR INTERACTION OF CELL MEMBRANE WITH TOXICANTS IN THE SEARCH FOR ANTIDOTES

The article was received by the editorial board on 29.08.2019, in the final version – 02.09.2019.

Zharkikh Lesya I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

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

The structure of the software for the process of modeling intermolecular interaction of the cell membrane with toxicants and for testing the effectiveness of the proposed antidotes is proposed. The stages of simulation of interactions between molecules and the search for antidotes to toxic effects are described. Diagrams of each stage of the software are presented. The algorithms of modules and programs of the system are described and the results of the visualization program are illustrated. The proposed database for storing the results of modeling molecular interactions, the structure and composition of cell membranes, Z-matrices for molecules identified and blocked the active sites of the components of cell membranes and is found antidotes to this toxicant. Computer development will significantly reduce the time of the experiment, simulate a full-scale experiment, analyze and verify the adequacy of mathematical modeling on known intermolecular interactions. The results provide an opportunity to search for a wide range of antidotes for various toxicants.

Keywords: intermolecular interaction, algorithm, software, database, quantum chemical calculations, quantum chemical software complex, toxicant, antidote

Введение. Изучение действия токсических веществ на живой организм в настоящее время широко развивается, что подтверждает ряд работ в данном направлении в различных областях наук [3, 4, 8, 10–12]. Достоверность результатов работ в этой области исследований необходимо подтверждать экспериментальными данными, полученными на живых организмах. Проведение лабораторных экспериментов сталкивается с огромным количеством дополнительных условий и требований, таких, например, как необходимость приобретения целого ряда специфического оборудования и соответствующих реактивов [9], законодательные регламенты стран о гуманности проведения исследований на живых организмах и многое другое. Современные компьютерные технологии могут быть существенной альтернативой *in vivo* и *in vitro* экспериментам.

Общая методология применения математического моделирования для изучения воздействия токсиканта на живую клетку и основанная на этом методика подбора антидотов предполагает последовательное выполнение следующих этапов.

1. Провести анализ и классификацию молекул, составляющих клеточную мембрану (КМ) конкретной клетки живого организма. На этом этапе требуется разработать структуру базы данных, содержащей информацию о следующих объектах: типе компонента клеточной мембраны (ККМ), к которому относится данный элемент; структурной и брутто-формулах каждой молекулы; а также сведения об органе живого организма, к которому относится рассматриваемая клетка.

2. Получить описание состава и структуры молекул клеточной мембраны, токсиканта и антидота в виде z-матриц. На этом этапе разрабатывается алгоритм получения такого описания и структура базы данных для хранения полученной информации.

3. Выявить активные центры ККМ при воздействии на него реагентом. На этом этапе разрабатывается программный комплекс для выявления активных центров взаимодействия двух молекул, а также база данных для сохранения полученных результатов.

4. Проанализировать список антидотов для ККМ при воздействии на него данным токсикантом.

Компьютерная реализация перечисленных этапов позволит значительно уменьшить время проведения эксперимента, имитировать натурный эксперимент, проанализировать и проверить адекватность математического моделирования на известных межмолекулярных взаимодействиях.

Исходя из этого, целью данной работы явилась разработка и описание структуры программного обеспечения (ПО) процесса моделирования межмолекулярного взаимодействия клеточной мембраны с токсикантами для целенаправленного поиска антидотов к ним.

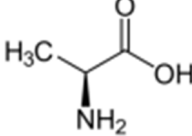
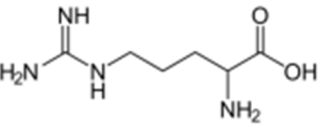
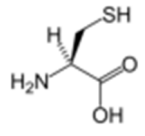
Описание структуры программного обеспечения.

Этап 1. Анализ и классификация молекул мембран клеток различных живых организмов.

Для реализации данного этапа требуется классифицировать и сохранить информацию о структуре клетки и её составе. Сведения об основных ККМ должны способствовать логическому поиску по критериям, однозначно определяющим поэлементный состав данной клетки конкретного организма, а также содержать описание структуры молекулы ККМ. Эти сведения сохраняются в специально созданной базе данных (БД) «Структура Клеточных Мембран» (БД «СКМ»).

Пример описания молекул для сохранения в БД «СКМ» приведен в таблице.

Таблица – Пример кодирования типа молекул

Название молекулы	Аланин	Аргинин		Цистеин
Структурная формула				
Брутто-формула	C ₃ H ₇ NO ₂	C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂		C ₃ H ₇ NO ₂ S

Реализацию этапа 1 удобно представить в виде схемы (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема этапа 1

Этап 2. Описание состава и структуры молекул клеточной мембраны, токсиканта и антидота в виде z-матриц.

Учитывая то, что компоненты клеточной мембраны, токсиканты и антидоты имеют различную природу, изучение процесса их взаимодействия с использованием различных программных комплексов требует разработки собственного или использования существующего унифицированного описания этих молекул.

Для решения задачи подбора антидотов необходимо знание структур молекул, расположения атомов внутри молекул, знание основных энергетических характеристик процессов образования молекул. Моделировать взаимодействия, опираясь на геометрию молекулярных структур, предполагается с использованием квантово-химических программ. Эти программы ориентированы на описание геометрической структуры молекулы в декартовых координатах или в виде z-матриц, либо используется смешанный формат описания, когда совместно применяются и декартовы координаты и z-матрица. Подробное описание процесса построения z-матрицы приведено в работе [2]. Каждая строка z-матрицы определяет тип и положение атома в молекуле.

Исследования в области квантово-химических вычислений опираются на использование дорогостоящего программного обеспечения, подобного известным программным пакетам

Gaussian [7] и ChemOffice [5]. Однако для Gaussian существует альтернативный программный пакет Gamess [6], способный предоставить пользователю достаточно большой спектр функциональных возможностей, имеющихся в Gaussian.

Поэтому при разработке алгоритма формирования z-матриц (GZM) мы ориентировались на бюджетный программный продукт Gamess.

Алгоритм «GZM» выглядит следующим образом:

1. Получить структурную формулу молекулы из БД «СКМ» или ввести ее вручную.
2. Пользуясь структурной формулой с помощью специального графического интерфейса (например, в программе ChemOffice) описать геометрию рассматриваемой молекулы.
3. Полученное геометрическое описание передать на вход программы, описывающей оптимизированную по величине потенциальной энергии структуру молекулы в виде z-матрицы (например, использовать программу Gamess).
4. Сохранить всю полученную на предыдущем шаге информацию в базе данных «ZM» (z-матрицы).

Согласно описанному алгоритму «GZM» был создан программный продукт, обеспечивающий формирование БД «ZM». В этой БД хранится описание структуры молекул в виде z-матриц, а также информация о межъядерных расстояниях; молекулярных орбиталях; значениях энергий взаимодействий; заселенностях по Малликену и Лёвдину; дипольных моментах и т.д.

Реализация этапа 2 изображена в виде схемы на рисунке 2.

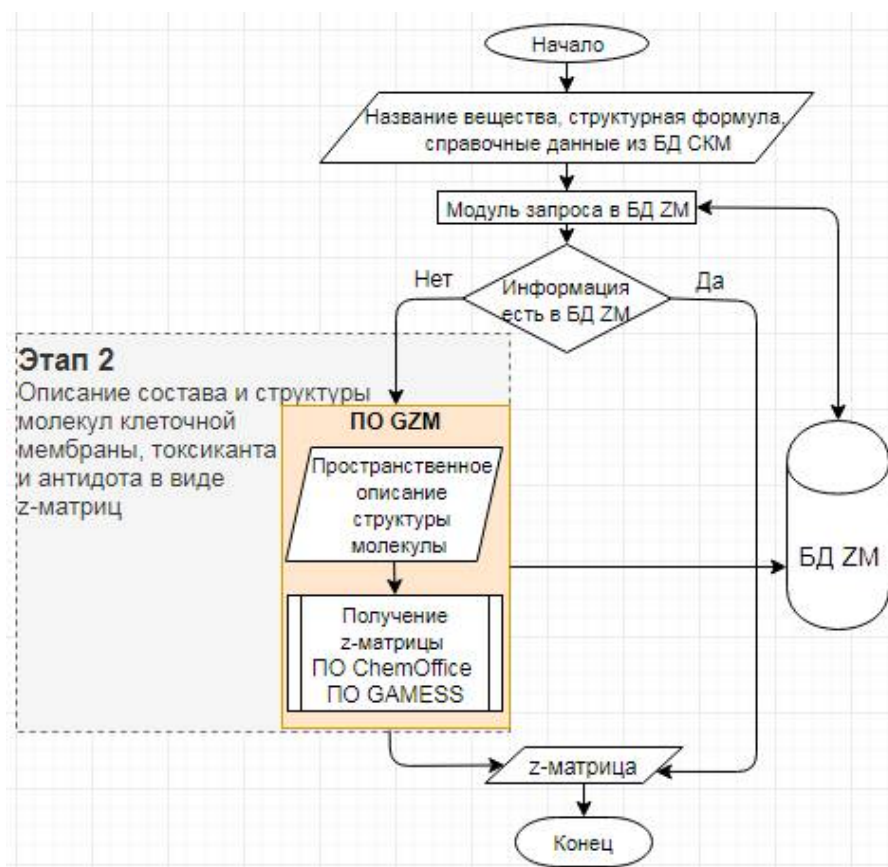


Рисунок 2 – Схема этапа 2

Этап 3. Выявление активных центров ККМ при воздействии на него реагентом.

Для выявления активных центров ККМ при воздействии на него реагентом необходимо исследовать взаимодействие двух молекул: молекулы ККМ и молекулы реагента (токсиканта или антидота). Между этими молекулами требуется смоделировать межмолекулярные взаимодействия по водородным связям, которые удовлетворяют условию изменения величин электроотрицательностей на атомах. Однако пространственное расположение молекул относительно друг друга и атомов внутри каждой молекулы, а также наличие внутри молекулы атомов,

мешающих образованию исследуемой водородной связи, оставляют вопрос образования этой связи открытым.

Полагаем, что взаимодействие между молекулами осуществилось, если в результате квантово-химических расчетов комплекса из этих молекул между ними по некоторым атомам образуется водородная связь различной природы. Теоретически образовывать водородную связь могут 7 атомов: F, O, N, Cl, Br, I, S с одной стороны водородной связи и атом H с другой [13]. Обозначим данное множество химических элементов через HB (HydrogenBond), т.е.:

$$HB = \{ "F", "O", "N", "Cl", "Br", "I", "S" \}.$$

Множество потенциально возможных активных центров (ПАЦ) – это такое множество пар атомов, которое удовлетворяет следующим условиям:

$$ПАЦ = \{ (ak_i; at_i) : (Name ak_i = "H" \wedge Name at_i \in HB) \vee (Name at_i = "H" \wedge Name ak_i \in HB) \},$$

где $ak_i = (Name ak_i; Num ak_i)$; $at_i = (Name at_i; Num at_i)$, $Name ak_i$ – символ химического элемента атома ККМ ak_i ; $Name at_i$ – символ химического элемента атома реагента at_i ; $Num ak_i$ – номер атома ККМ ak_i ; $Num at_i$ – номер атома реагента at_i .

Мощность данного множества обозначим $N_{ПАЦ}$.

Программа «ПАЦ» формирует соответствующее множество, состоящее из пар атомов ККМ и реагента, между которыми потенциально возможно взаимодействие; определяет мощность этого множества; полученные данные передает в модуль «Трансформации z-матрицы реагента». Блок-схема работы программы «ПАЦ» представлена на рисунке 3.

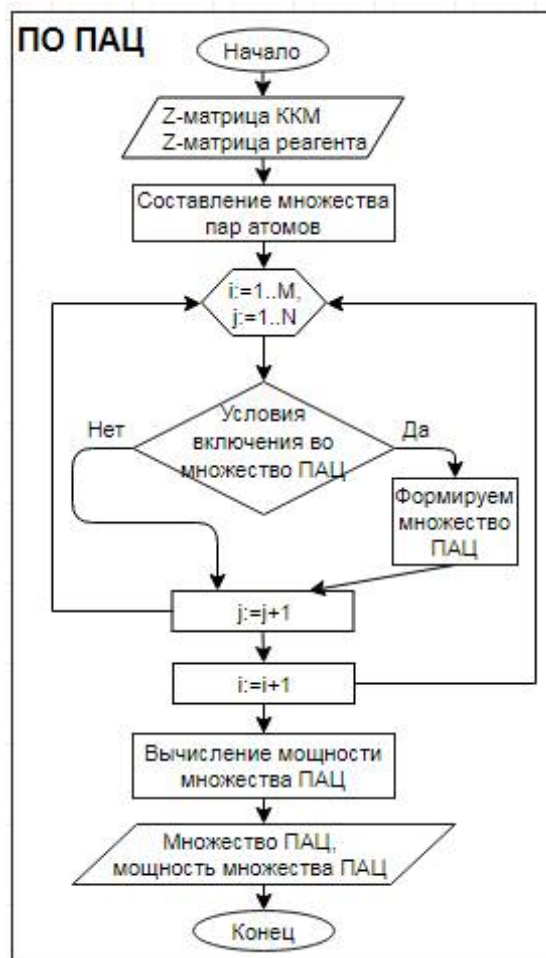


Рисунок 3 – Блок-схема работы программы «ПАЦ»

Сформированное программой «ПАЦ» множество пар атомов отсылается на проверку образования водородной связи между атомами взаимодействующих молекул в специально разработанную программу расчета основных характеристик межмолекулярного взаимодействия (РОХМВ). Алгоритм анализа данных, заложенный в программу «РОХМВ», позволяет сделать вывод о наличии или отсутствии водородной связи между рассматриваемой парой атомов ККМ и реагента.

Для того чтобы продемонстрировать работу этой программы, рассмотрим работу составляющих ее модулей.

Модуль TZM. Для полученного множества пар атомов составляем Z-матрицы молекулярных пар, которые исследуем на основании данных, полученных с помощью квантово-химических программ. Для этих целей сначала используется алгоритм «Трансформация Z-матрицы реагента» (TZM), преобразующий запись Z-матрицы к новому виду, в котором нумерация атомов начинается от атома, участвующего в паре, образующей водородную связь. Преобразование матрицы необходимо для описания молекулярного комплекса, соответствующего паре (ak, at) . Таким образом, алгоритм «TZM» включает в себя выполнение следующей последовательности шагов:

1. Получить из БД «ZM» Z-матрицу реагента.
2. Выбрать атом реагента, входящий в первую пару ПАЦ.
3. Перенумеровать атомы, начиная с выбранного в пункте 2 атома.
4. Описать структуру Z-матрицы в новых координатах.

Алгоритм работы программы «TZM» представлен в виде блок-схемы на рисунке 4.

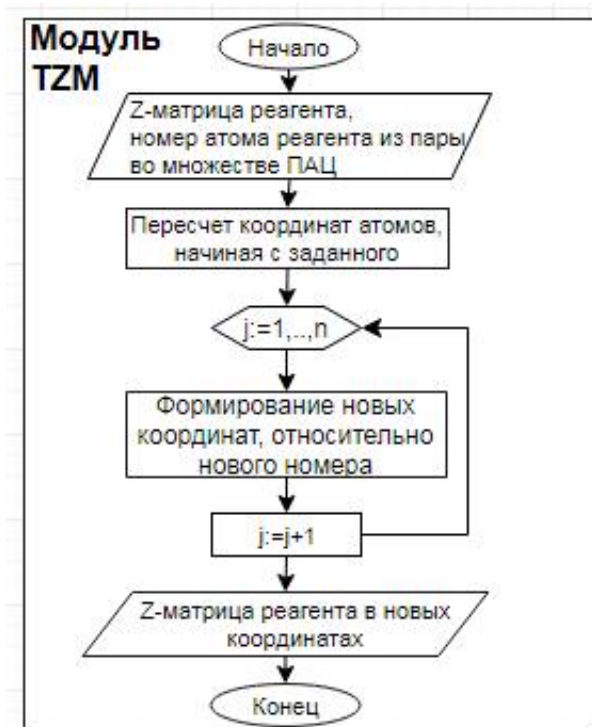


Рисунок 4 – Блок-схема работы программы «TZM»

После приведения к новому базису Z-матрицы реагента необходимо выполнить алгоритм «Формирование интегральной Z-матрицы» (IZM).

Модуль IZM. Алгоритм «IZM» соединяет Z-матрицы двух молекул в Z-матрицу молекулярного комплекса для каждой пары из множества ПАЦ. Интегральная Z-матрица представляет собой суперпозицию Z-матрицы компонента КМ с приведенной к новому базису Z-матрицей реагента. При этом нулевой элемент реагента в новой матрице получает номер, следующий за номером последнего элемента в Z-матрице компонента мембраны. Указанный алгоритм осуществляет следующие действия:

- формирует файл с расширением txt, содержащий описание двух Z-матриц, расположенных последовательно: сначала Z-матрица молекулы ККМ, затем реагента;

- перенумеровывает все атомы по порядку следования, дополняя обозначения координат, использованных в Z-матрице ККМ;
- преобразовывает начальные координаты в Z-матрице реагента с учетом образования водородной связи с молекулой ККМ;
- переходит к следующей паре элементов из множества ПАЦ, пока множество не будет исчерпано.

После формирования интегральных матриц необходимо проверить выполнение условий образования водородной связи, приводящей к появлению устойчивого конгломерата, для каждой пары атомов из ПАЦ.

На данном этапе на вход программы Gamess подается сформированный алгоритмом «IZM»-файл, содержащий интегральную Z-матрицу и управляющие команды для проведения расчетов. В результате получается «оптимизированная» по минимуму потенциальной энергии Z-матрица конгломерата, состоящего из молекулы ККМ и молекулы реагента, а также совокупность энергетических характеристик, присущих полученной системе.

Модуль ИАЦ. К полученным данным совместно с информацией из БД ZM об энергетических характеристиках каждой из молекул конгломерата применяется алгоритм «Идентификации активных центров ККМ» (ИАЦ). Блок-схема этого алгоритма представлена на рисунке 5.

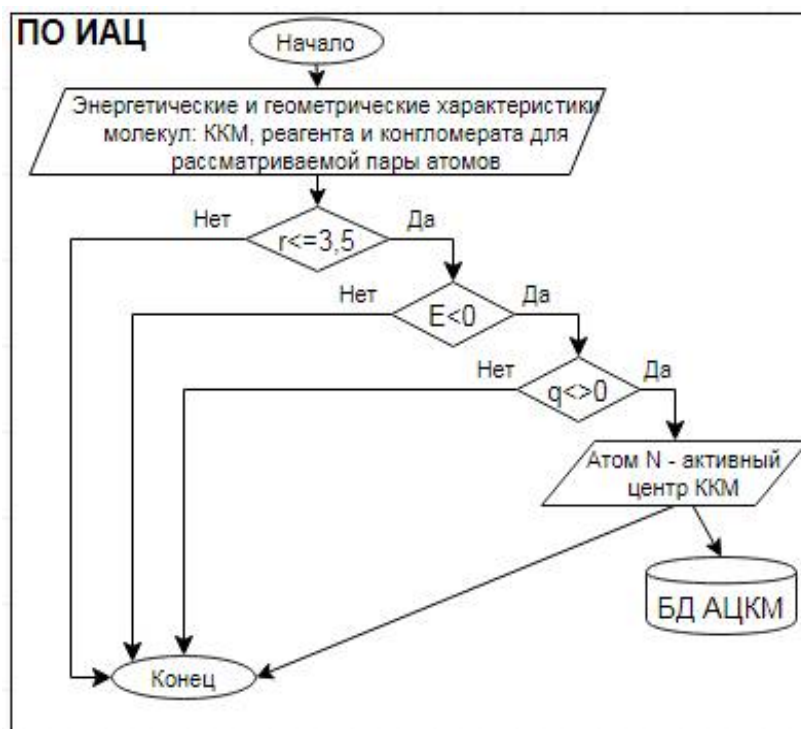


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма «ИАЦ»

Для идентификации активного центра ККМ использовались следующие правила:

1. Расстояние r между атомами рассматриваемой пары из множества ПАЦ, между которыми предполагается образование водородной связи, не должно превышать допустимую величину водородной связи для данных атомов. Это расстояние должно быть меньше, чем сумма радиусов этих атомов [1].

2. Значение энергии адсорбции $\Delta E_{\text{адс}}$ должно быть строго меньше нуля, т.е. при образовании связи энергия должна только выделяться. Эта величина находится как разность между полной энергией конгломерата и суммой полных энергий образующих ее молекул:

$$\Delta E_{\text{адс}} = E_{\text{общ}} - (E_1 + E_2).$$

3. Сумма зарядов атомов молекул, входящих в конгломерат, должна быть отлична от нуля, поскольку это характеризует образование водородной связи между молекулами и тем самым подтверждает возможность того, что атомы из рассматриваемой пары являются активными центрами.

Если хотя бы одно из этих трех условий не выполняется, то необходимо перейти к рассмотрению конгломерата, соответствующего следующей паре из ПАЦ.

Если все условия выполняются, то делаем вывод о том, что атом ККМ ak_i из рассматриваемой пары $(ak_i; at_i)$ является активным центром для данного реагента.

Соответствующая информация об этом атоме заносится в базу данных активных центров клеточных мембран (БД АЦКМ).

Таким образом, запись в БД «АЦКМ» будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Название ККМ; название реагента (токсиканта или антидота);} \\ \text{название атома } ak_i \text{ – активного центра} \end{array} \right\}.$$

Например, запись может выглядеть следующим образом:

$$\{ \text{Метионин; Сероводород; Об} \}.$$

Реализацию этапа 3 удобно представить в виде блок-схемы, показанной на рисунке 6.

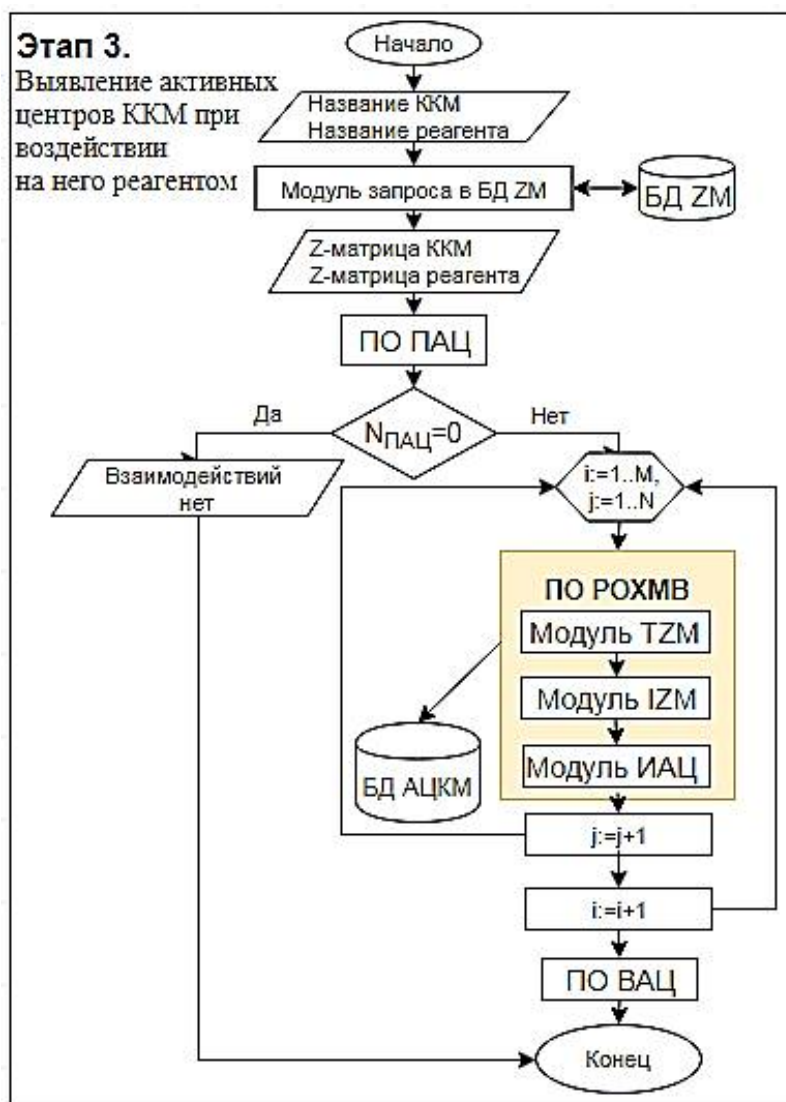


Рисунок 6 – Блок-схема этапа 3

Данные, хранящиеся в БД АЦКМ, удобно анализировать, используя графическое представление активных центров. Для этих целей была разработана специальная программа «Визуализация активных центров» (ВАЦ). Алгоритм программы ВАЦ следующий:

1. Изображение молекулы ККМ в виде схемы, отражающей все атомы и связи между ними.
2. Присвоение каждому атому порядкового номера, соответствующего его номеру в записи Z-матрицы. Номер указывается в произвольном месте рядом с атомом.
3. Изображение множеством стрелок множества активных центров данного ККМ.

Схема помогает выполнять поиск антидотов к данному токсиканту более эффективно. Пример результатов работы программы «ВАЦ» при взаимодействии фосфолипида КМ с метионином представлен на рисунке 7.

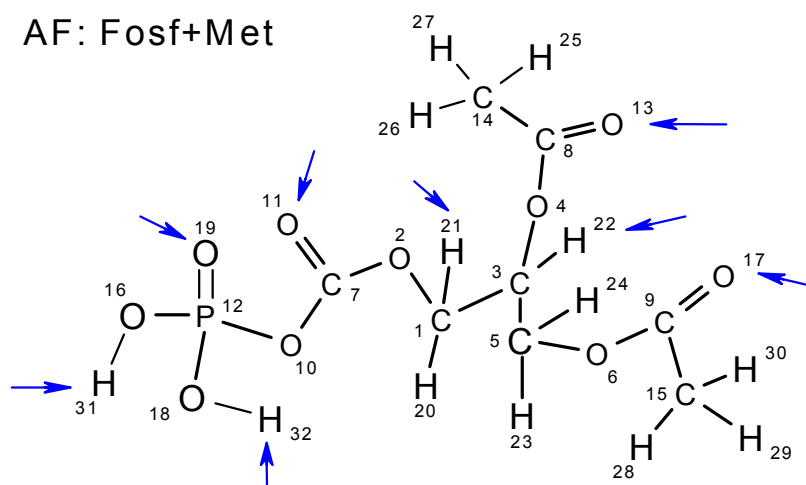


Рисунок 7 – Пример результатов работы программы «ВАЦ»

Направления стрелок указывают на активные центры фосфолипида КМ. Тем самым возможно представить направление атаки антидотом и токсикантом; сравнить их, чтобы сделать выводы об эффективности противодействия.

Этап 4. Подбор антидотов для ККМ при воздействии на него токсикантом.

На данном этапе происходит построение ранжированного по эффективности действия списка из заданных пользователем антидотов для ККМ к конкретному токсиканту. Для осуществления ранжирования изучается множество активных центров КМ, обнаруженных на предыдущем этапе для токсического воздействия. Каждый антидот из списка проверяется на воздействие на это множество активных центров КМ. Чем больше найдено совпадений действия антидота и токсиканта, тем эффективней будет антидот.

Основой данного этапа является определение блокированных антидотом активных центров (ОБАЦ) ККМ, образующихся при воздействии на них изучаемым токсикантом. Для этого была создана программа «ОБАЦ», которая делает выборку множеств АЦКМ-Т (записи из БД «АЦКМ», соответствующие токсиканту) и АЦКМ-АД (записи из БД «АЦКМ», соответствующие антидоту) и составляет их пересечение.

Результаты работы программы «ОБАЦ» заносятся в БД «Блокированные антидотом активные центры» (БАЦ). В ней хранится информация о названии ККМ, названии токсиканта, названии антидота, названии атома – блокированного данным антидотом активного центра ККМ, выявленного при рассмотрении взаимодействия с указанным токсикантом.

Программой «Эффективность антидота» (ЭФАД) обрабатывается информация из БД «БАЦ» и определяется эффективность применения данного антидота для блокирования активных центров, образованных заданным токсикантом. Эффективность может быть оценена по следующей формуле:

$$\Xi = \alpha_1 \cdot |\text{ОАЦ}_B| + \alpha_2 \cdot |\text{ОАЦ}_Y| + \alpha_3 \cdot |\text{ОАЦ}_L|, \quad (1)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – весовые коэффициенты, отражающие значимость блокирования активных центров белковых, углеводных и липидных компонент КМ соответственно;

$|OAC_B|, |OAC_V|, |OAC_L|$ – мощности множеств общих активных центров по белковой, углеводной и липидной компонентам КМ соответственно.

Программа «Подбор наиболее эффективного антидота к данному токсиканту» (ПАТ) реализует все этапы моделирования для каждого антидота из введенного пользователем списка и вычисляет для них коэффициент эффективности. На этом этапе осуществляется автоматизация процесса расчета коэффициентов эффективности различных антидотов для заданного токсиканта. На выходе программы «ПАТ» формируется ранжированный по эффективности список антидотов для заданной пары (КМ; токсикант).

Сформированный на выходе программы «ПАТ» ранжированный по эффективности список антидотов для заданной пары сохраняется в БД «Подбор наиболее эффективного антидота к данному токсиканту». Информация в базе данных имеет следующую структуру: пара КМ – токсикант, ранжированный список антидотов для данной пары.

Для наглядного изображения блокированных антидотом активных центров КМ используется программа «ВАЦ», соответствующая этапу 3. На схеме, полученной в соответствии с этим способом и изображенной на рисунке 8, блокированные антидотом активные центры обозначены кружками.

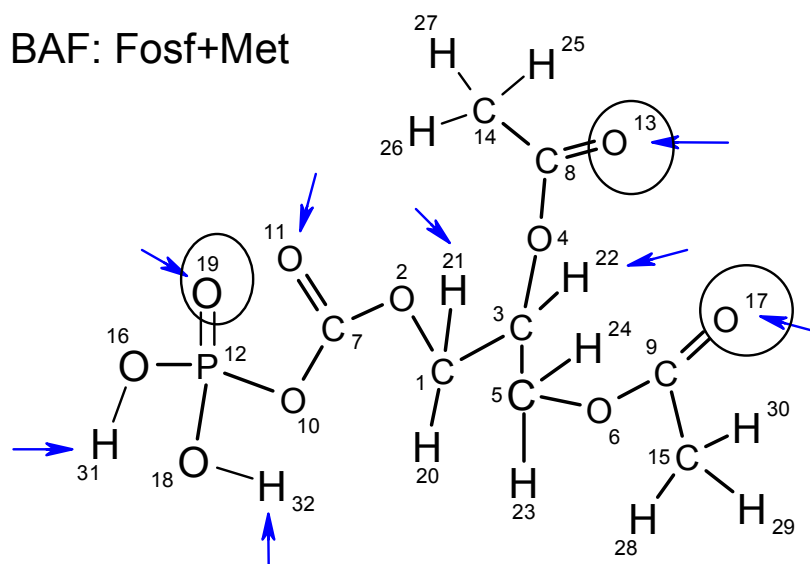


Рисунок 8 – Пример результатов работы программы «ВАЦ»

Таким образом, работу ПО для этапа 4 можно изобразить с помощью схемы, представленной на рисунке 9.

При выполнении этапа 4 осуществляется запрос в БД СКМ и БД АЦКМ. При отсутствии данных в этих БД происходит запуск соответствующих этапов для заполнения баз нужной информацией. Таким образом, предполагается последовательное выполнение этапов 1–3, а затем на этапе 4 происходит работа с информацией, полученной на предыдущих этапах.

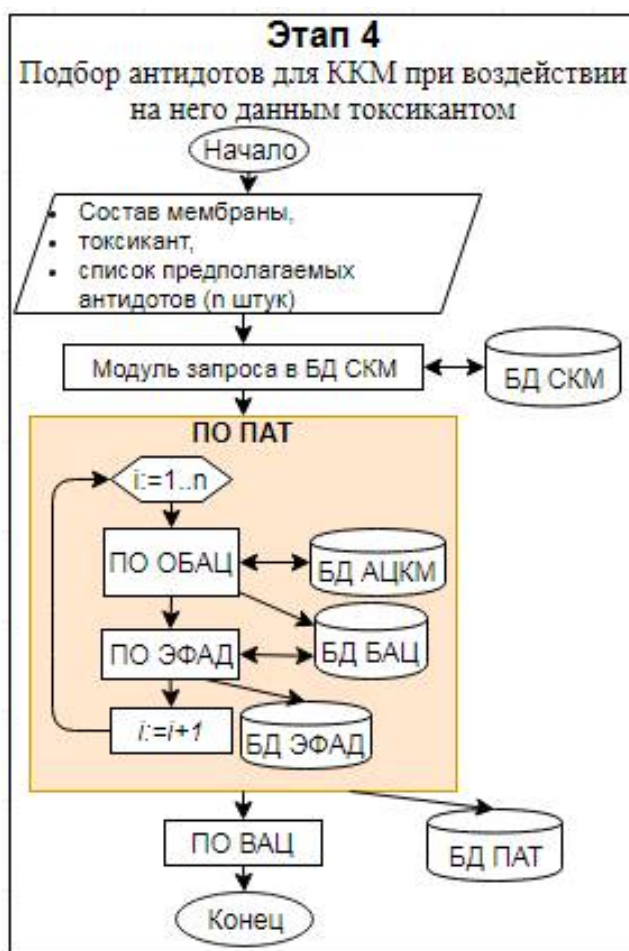


Рисунок 9 – Схема работы ПО для этапа 4

Работа программного комплекса в целом представлена на рисунке 10.

Для работы с программным комплексом пользователю достаточно ввести названия веществ, с которыми он предполагает работать. А именно в соответствующее окно записать: название клеточной мембраны, название её основных составляющих молекул (ККМ), название токсиканта и список названий антидотов к этому токсиканту. В результате работы программного комплекса будет проведено:

- построение каждой заданной молекулы в виде Z-матрицы;
- расчет основных энергетических характеристик молекул с использованием программного комплекса Gamess;
- моделирование межмолекулярных взаимодействий между указанными молекулами (каждый ККМ + токсикант, каждый ККМ + антидот);
- расчет основных энергетических характеристик построенных межмолекулярных взаимодействий;
- выявление активных центров каждого ККМ при воздействии данного токсиканта и антидотов;
- сравнение множества активных центров ККМ при воздействии данного токсиканта с каждым множеством активных центров ККМ при воздействии антидотов;
- составление ранжированного списка антидотов по эффективности блокирования воздействия данного токсиканта.

Таким образом, применение программного комплекса полностью обеспечивает процесс моделирования межмолекулярного взаимодействия клеточной мембраны с токсикантами для целенаправленного поиска антидотов к ним.

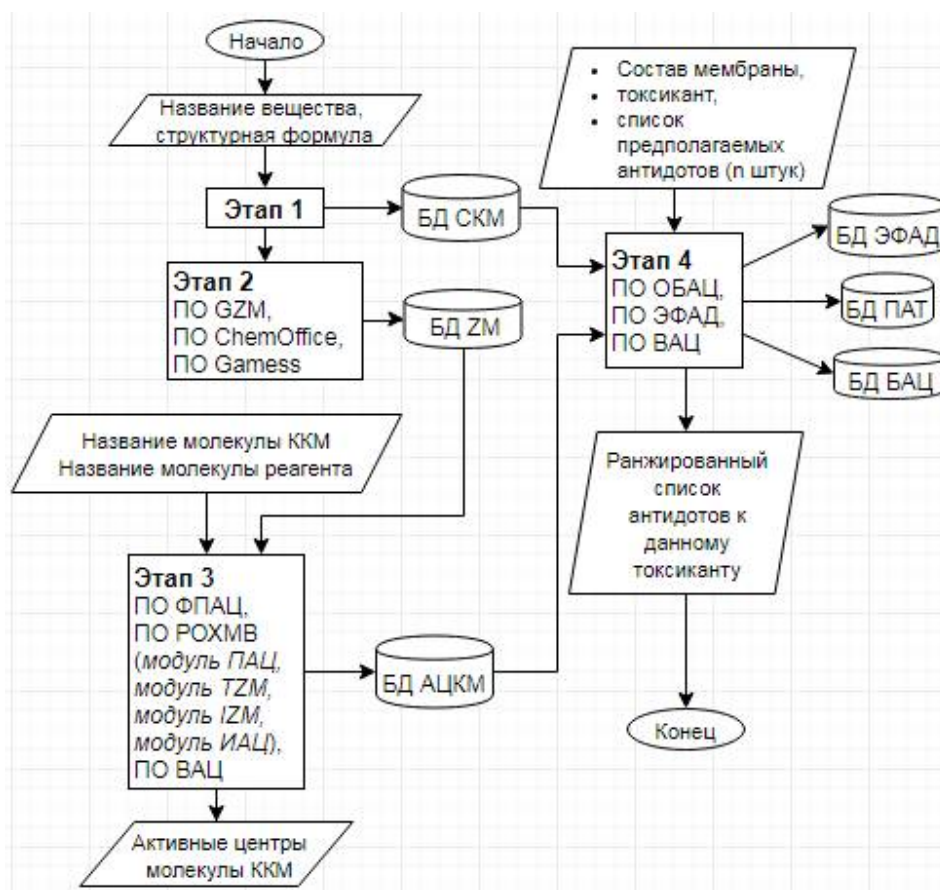


Рисунок 10 – Структура и схема работы программного комплекса для целенаправленного поиска антидотов к заданному токсиканту

Выводы. Полученные результаты позволят проводить поиск широкого круга антидотов для различных токсикантов. В дальнейшем представляется целесообразным рассмотреть применимость предложенного подхода к решению задач взаимодействия молекул неорганических веществ, например, с целью подбора эффективных сорбентов для очистки окружающей среды от токсических воздействий.

Библиографический список

1. Аликберова Л. Ю. Основы строения вещества : методическое пособие / Л. Ю. Аликберова, Е. В. Савинкина, М. Н. Давыдова. – Москва : МИТХТ, 2004. – Режим доступа: <http://alhimik.ru/stroenie>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Жарких Л. И. Алгоритм определения активных центров межмолекулярного взаимодействия / Л. И. Жарких, И. М. Ажмухамедов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 144–151.
3. Илларионов А. И. Токсическая активность фосфорорганических инсектицидов для медоносной пчелы в зависимости от строения соединений / А. И. Илларионов // Агрохимия. – 1992. – № 7. – С. 133–137.
4. Походенько-Чудакова И. О. Макроскопические изменения после хирургического лечения п. alveolarisinferior, первично подвергнутого токсическому воздействию / И. О. Походенько-Чудакова, К. В. Вилькицкая // Вятский медицинский вестник. – 2013. – № 4. – С. 17–19.
5. Программа ChemOffice. – Режим доступа: www.cambridgesoft.com, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Программа Gamess. – Режим доступа: www.msg.chem.iastate.edu/gamess/index.html, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Программа Gaussian. – Режим доступа: <https://gaussian.com>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
8. Рыжко И. В. Инфекционно-токсическая модель чумы мышей / И. В. Рыжко, Б. Н. Мишанькин, Р. И. Цураева, А. И. Щербанюк, Б. И. Анисимов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2009. – № 3. – С. 46–50.

9. Саноцкий И. В. Методы определения токсичности и опасности химических веществ. Токсикометрия / И. В. Саноцкий и др. – М., 1970. – 243 с.
10. Тризно Н. Н. Изменения гемостазиологического профиля крыс при хроническом воздействии сероводородсодержащего газа и возможности их коррекции / Н. Н. Тризно, Х. М. Галимзянов, Д. М. Никулина, В. А. Спиридонова, Е. В. Голубкина, О. С. Дюкарева, М. Н. Тризно // Астраханский медицинский журнал. – 2017. – Т. 12, № 2. – С. 75–81.
11. Тризно Н. Н. Состояние системы гемостаза у крыс после хронической интоксикации сероводородсодержащим газом / Н. Н. Тризно, Е. В. Голубкина, М. Н. Тризно, О. С. Дюкарева // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 4. – С. 75.
12. Усов К. И. Роль пиридоксина гидрохлорида в развитии толерантности организма животных к токсическому действию изониазида / К. И. Усов, Т. А. Гуськова, Г. Г. Юшков // Туберкулез и болезни легких. – 2018. – Т. 96, № 6. – С. 51–57.
13. Эпштейн Л. М. Многоликая водородная связь / Л. М. Эпштейн, Е. С. Шубина // Природа. – 2003. – № 6. – С. 40–45.

References

1. Alikberova L. Yu., Savinkina E. V., Davydova M. N. *Osnovy stroeniya veshchestva : metodicheskoe posobie* [Fundamentals of the structure of matter : Methodical manual]. Moscow, 2004. Available at: <http://alhimik.ru/stroenie>.
2. Zharkikh L. I., Izmukhambetov M. I. Algoritm opredeleniya aktivnykh tsentrov mezhmolekulyarnogo vzaimodeystviya [Algorithm for determining the active centers of intermolecular interactions]. *Prikladnyy zhurnal: upravlenie i visokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 144–151.
3. Illarionov A. I. Toksicheskaya aktivnost fosfororganicheskikh insektitsidov dlya medonosnoy pchely v zavisimosti ot stroeniya soedineniy. [Toxicity of organophosphorus insecticides to honey bees, depending on the structure of compounds]. *Agrokimiya* [Chemistry], 1992, vol. 7, pp. 133–137.
4. Pokhodenko-Chudakova I. O., Vilkitskiy K. V. Makroskopicheskie izmeneniya posle hirurgicheskogo lecheniya n. alveolarisinferior, pervichno podvergnutogo toksicheskomu vozdeystviyu. [The macroscopic changes after surgical treatment n. alveolarisinferior, initially subjected to the toxic effect of]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik* [Vyatka Medical Bulletin], 2013, no. 4, pp. 17–19.
5. *ChemOffice Program*. Available at: www.cambridgesoft.com.
6. *Program Gamess*. Available at: www.msg.chem.iastate.edu/gamess/index.html.
7. *Gaussian Program*. Available at: [https://gaussian.com](http://gaussian.com).
8. Ryzhko I. V., Mishankin B. N., Tsurava R. I., Shcherbaniuk A. I., Anisimov B. I. Infektsionno-toksicheskaya model chumy myshey. [Infectious-toxic model of mouse plague]. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i imunobiologii* [Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology], 2009, no. 3, pp. 46–50.
9. Sanotskiy I. V. et al. *Metody opredeleniya toksichnosti i opasnosti khimicheskikh veshchestv. Toksikometriya* [Methods for determining the toxicity and hazard of chemicals. Toxicometry]. Moscow, 1970. 243 p.
10. Trizno N. N., Galimzyanov H. M., Nikulina D. M., Spiridonova V. A., Golubkina, E. V., Dyukareva O. S., Trizno M. N. Izmeneniya gemostaziologicheskogo profilya kris pri khronicheskom vozdeystvii serovodorodsoderzhashchego gaza i vozmozhnosti ikh korrektsii [Changes in hemostatic profile in rats after chronic exposure to hydrogen sulfide-containing gas and the possibility of their correction]. *Astrakhanskiy meditsinskiy zhurnal* [Astrakhan Medical Journal], 2017, vol. 12, no. 2, pp. 75–81.
11. Trizno N. N., Golubkina, E. V., Trizno M. N., Dyukareva O. S. Sostoyanie sistemy gemostaza u kris posle khronicheskoy intoksikatsii serovodorodsoderzhashim gazom [Hemostasis in rats after chronic intoxication with hydrogen sulfide-containing gas]. *Sovremennye problemy obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2017, no. 4, p. 75.
12. Usov K. I., Guskova T. A., Yushkov G. G. Rol piridoksina gidrokhlorida v razvitii tolerantnosti organizma zhivotnykh k toksicheskomu deystviyu izoniazida. [The role of pyridoxine hydrochloride in the development of tolerance of animals to the toxic effects of isoniazid]. *Tuberkulez i bolezni legkikh* [Tuberculosis and lung disease], 2018, vol. 96, no. 6, pp. 51–57.
13. Epshtein L. M., Shubina E. S. Mnogolikaya vodorodnaya svyaz [Diverse hydrogen bond]. *Priroda* [Nature], 2003, no. 6, pp. 40–45.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.42, 004.056

ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОТОКОЛА ТАЙНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ ФУДЗИОКА – ОКАМОТО – ОХТА

Статья поступила в редакцию 15.05.2019, в окончательном варианте – 28.05.2019.

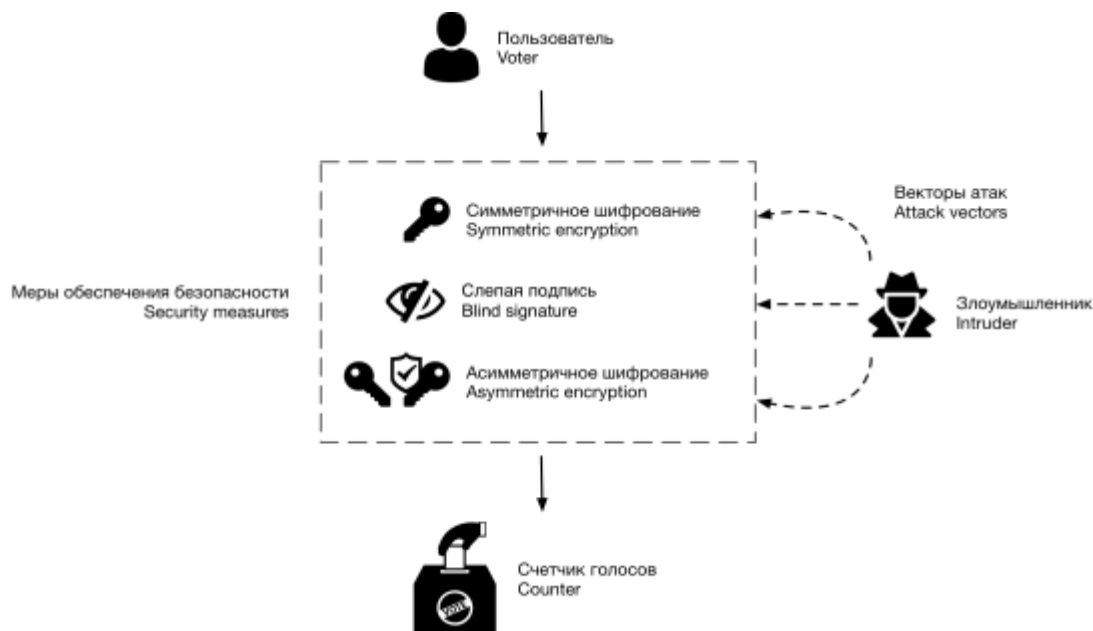
Чернухин Дмитрий Алексеевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, Татищева, 20а, магистрант, e-mail: madlabman@mail.ru

Ажмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, Татищева, 20а, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности, e-mail: iskander_agm@mail.ru

Рассмотрен протокол тайного электронного голосования Фудзиока – Окамото – Охта с точки зрения практической реализации. Приведена формализация протокола в виде математической модели и диаграммы последовательностей в нотации UML. Даны рекомендации по выбору отдельных элементов практической реализации информационной системы. Приведены критерии выбора алгоритмов симметричного и асимметричного шифрования в протоколе. Рассмотрены границы практической применимости алгоритма «слепой» подписи на основе криптосистемы RSA. Приведены используемые на практике релевантные информационной системе уникальные идентификаторы пользователей и критерии для их выбора. Предложены варианты выбора структуры бюллетеня и их оценка по критериям удобства и безопасности использования. Дана оценка практической реализации информационной системы с точки зрения информационной безопасности. Рассмотрены отдельные векторы атак, в том числе атаки на бюллетень, «слепую» подпись, хэш-функцию и канал передачи информации.

Ключевые слова: протокол тайного электронного голосования, слепая подпись, практическая реализация, информационная безопасность

Графическая аннотация (Graphical annotation)



SPECIFIC FEATURES OF THE FUJIOKA ET AL. ELECTRONIC VOTING SCHEME REAL-WORLD IMPLEMENTATION

The article was received by the editorial board on 15.05.2019, in the final version – 28.05.2019.

Chernukhin Dmitrii A., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

graduate student, e-mail: madlabman@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

The protocol of Fujioka – Okamoto – Ohta secret electronic voting from the standpoint of practical realisation is considered. Formalisation of the protocol is presented as mathematical model and sequence diagram in UML notation. Recommendations are given at option of separate elements of practical realisation of information system. The criteria of choice of algorithms of symmetric and asymmetric encryption in the protocol are presented. The boundaries of practicality of algorithm of “blind” signature on the basis of RSA crypto-system are considered. Practically useful and relevant to the information system examples of unique identifiers of the users and criteria for their choice are given. Variants of choice of the structure of bulletin and their evaluation on the criteria of convenience and safety of use are offered. The evaluation of practical realisation of information system from the standpoint of information safety are given. Different attack vectors are examined including attack to bulletin, «blind» signature, hash-function and transmission channel.

Keywords: secure election scheme, blind signature, practical realisation, information security

Введение. Криптографическими методами могут быть обеспечены следующие сервисы информационной безопасности: конфиденциальность – с помощью шифрования, целостность (путём использования хэш-функций), аутентичность и неотказуемость – за счет применения протоколов электронной цифровой подписи [2]. Обычно данные сервисы реализуются таким образом, что не требуется вмешательства пользователя; обеспечивается защищённый доступ к информационным ресурсам. В том числе предоставляется возможность сохранения анонимности в тех случаях, когда она является необходимым условием осуществления взаимодействия с информационной системой (ИС). Ярким примером подобной ИС является система тайного электронного голосования, подразумевающая сокрытие личности участника процесса при возможности удостоверения в легитимности полученного от него голоса. Для реализации подобных информационных систем были разработаны различные протоколы, обладающие следующими, необходимыми для голосования свойствами:

- все голоса должны быть учтены верно;
- недобросовестный участник не способен нарушить ход голосования;
- все голоса должны быть учтены конфиденциально;
- никто не может проголосовать дважды;
- могут голосовать только допущенные к голосованию лица;
- внешние факторы не влияют на процедуру голосования;
- никто не может повлиять на результаты голосования.

Наиболее известным представителем семейства протоколов, отвечающих приведённым требованиям, является протокол на основе слепой подписи Фудзюка – Окамото – Охта. Данный протокол является детально описанным, хорошо изученным с теоретической точки зрения и отличается своей простотой, что делает его особенно привлекательным для практического использования. Тем не менее широкого распространения протокол не получил в силу ограничений, связанных с его практической реализацией. Таким образом, целью данной работы является предложить меры устранения препятствий практической реализации протокола тайного электронного голосования Фудзюка – Окамото – Охта [4]. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- построить математическую модель протокола Фудзюка – Окамото – Охта;
- описать практическую реализацию протокола и ее особенности;
- дать оценку практической реализации с точки зрения информационной безопасности.

Математическая модель протокола. Протокол включает в себя трёх акторов: избирателя (И), регистратора (Р), счётчика (С). При этом каждый из акторов выполняет ряд действий на различных шагах выполнения протокола. Графическое представление в виде диаграммы последовательностей приведено на рисунке.

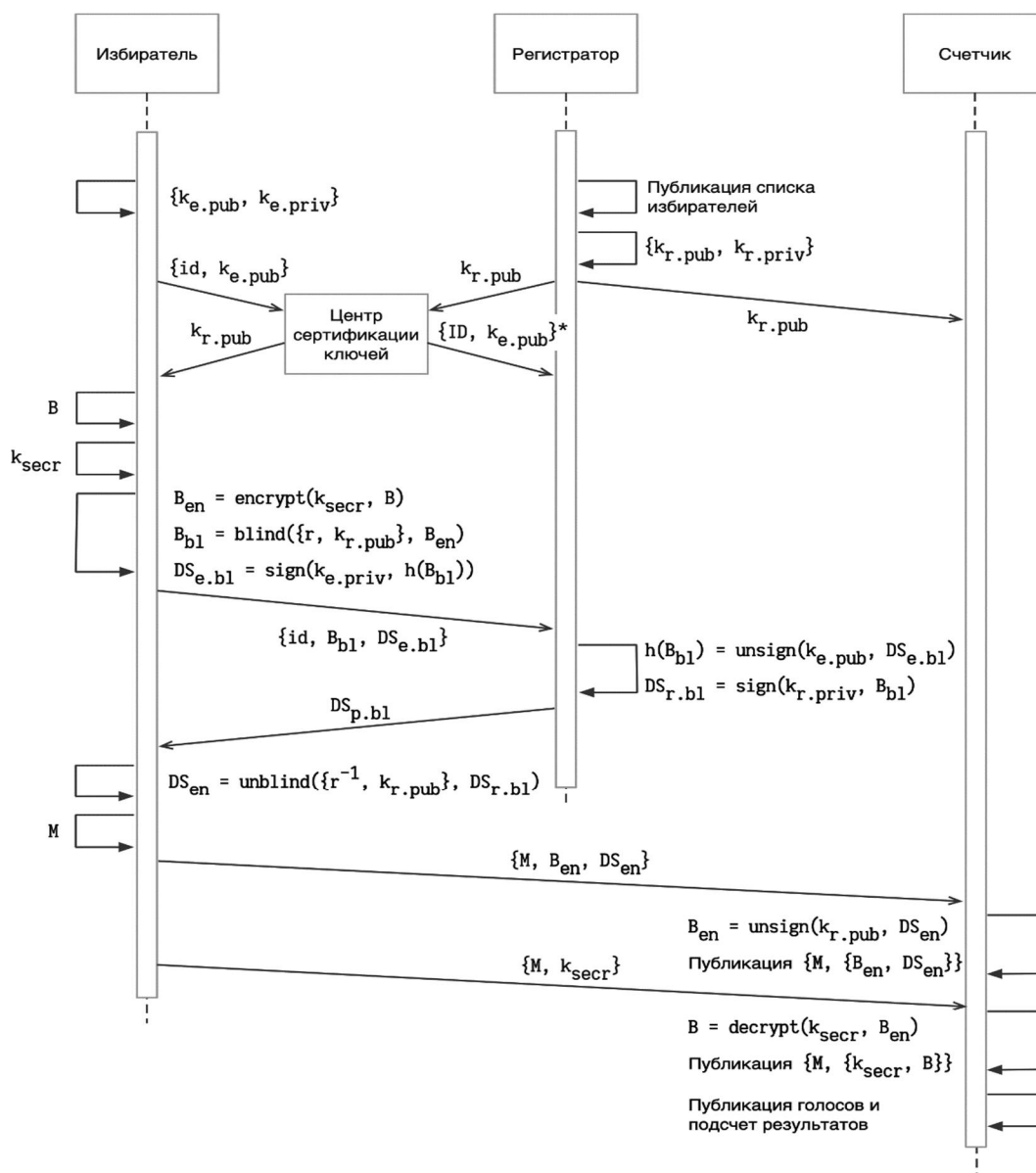


Рисунок – Диаграмма последовательностей протокола Фудзиоко – Окамото – Охта

Формализация действий, приведенных на диаграмме, приведена ниже:

1. Регистратор:

- публикует список всех правомочных избирателей;
- создаёт пару ключей для асимметричного шифрования $\{k_{r.pub}, k_{r.priv}\}$;
- публикует открытый ключ $k_{r.pub}$ в центре сертификации ключей (ЦСК). ЦСК может быть независимой организацией или подчиняться регистратору.

2. Избиратель:

- создаёт пару ключей для асимметричного шифрования $\{k_{e.pub}, k_{e.priv}\}$ и публикует свой открытый ключ в ЦСК. Публикация ключа подразумевает регистрацию конкретного избирателя с присвоенным ему уникальным идентификатором id ;
- создаёт секретный ключ для симметричного шифрования k_{secr} ;
- делает свой выбор в бюллетене B ;
- с помощью секретного ключа k_{secr} зашифровывает бюллетень $B_{en} = \text{encrypt}(k_{secr}, B)$;
- с помощью «маскирующего» множителя r и открытого ключа регистратора $k_{r.pub}$ скрывает содержимое зашифрованного бюллетеня $B_{bl} = \text{blind}(\{r, k_{r.pub}\}, B_{en})$;

е) с помощью своего закрытого ключа $k_{e,priv}$ подписывает хэш-образ зашифрованного бюллетеня $DS_{e.bl} = \text{sign}(k_{e,priv}, h(B_{bl}))$;

ж) посылает регистратору свой идентификатор id , скрытый зашифрованный бюллетень B_{bl} и электронно-цифровую подпись (ЭЦП) к нему $DS_{e.bl}$.

3. Регистратор:

а) проверяет ЭЦП с помощью открытого ключа избирателя $h(B_{bl}) = \text{unsign}(k_{e,pub}, DS_{e.bl})$;

б) с помощью своего закрытого ключа подписывает скрытый зашифрованный бюллетень $DS_{r.bl} = \text{sign}(k_{r,priv}, B_{bl})$;

в) посылает избирателю «слепую» ЭЦП $DS_{r.bl}$.

4. Избиратель:

а) снимает «маскирующий» множитель r со слепой ЭЦП регистратора и получает ЭЦП регистратора $DS_{en} = \text{unblind}(\{r^{-1}, k_{r,pub}\})$ к открытому зашифрованному бюллетеню B_{en} ;

б) генерирует уникальную метку M ;

в) анонимно посылает счетчику свою метку M , зашифрованный бюллетень B_{en} и ЭЦП регистратора DS_{en} .

5. Счетчик:

а) с помощью открытого ключа регистратора проверяет ЭЦП к зашифрованному бюллетеню $B_{en} = \text{unsign}(k_{r,pub}, DS_{en})$;

б) по истечении времени, отведенного на голосование, публикует все метки M и зашифрованные бюллетени с ЭЦП к ним $\{B_{en}, DS_{en}\}$ в доказательство избирателю, что его голос принят.

6. Избиратель:

1) анонимно посылает счетчику секретный ключ k_{secre} для метки M .

7. Счетчик:

а) расшифровывает бюллетень $B = \text{decrypt}(k_{secre}, B_{en})$;

б) в дополнение к $\{M, \{B_{en}, DS_{en}\}\}$ публикует $\{M, \{k_{secre}, B\}\}$ для того, чтобы избиратель убедился в правильности учета его голоса;

в) подводит подсчет голосов и публикует результаты голосования.

Приведенная математическая модель отражает отдельные этапы протокола с точки зрения теории и позволяет перейти к описанию особенностей реализации протокола на практике.

Особенности практической реализации. Особенности, связанные с выбором основных элементов практической реализации информационной системы электронного голосования, приведены ниже.

Идентификатор пользователя. Как отмечено в пункте 2а, пользователь должен передать свой открытый ключ и связанный с ним идентификатор, позволяющий однозначно определить личность представителя ключа. Данный идентификатор необходим для проверки легитимности голоса и контроля за повторным голосованием. Протокол не предлагает определенной процедуры генерации и распределения идентификаторов между пользователями информационной системы. Возможные реализации данного элемента приведены ниже.

Задача идентификации личности пользователя в большинстве случаев является обязательным условием для многопользовательских информационных систем. Наиболее распространенная стратегия решения данного вопроса – передача данной задачи доверенной третьей стороне. На практике преобладающим вариантом является идентификация личности посредством подтверждения факта владения идентификационным модулем абонента в сотовых сетях (SIM-карта). SIM-карта предоставляется пользователю провайдером услуг связи, обязанностью которого является связать персональные данные пользователя с предоставляемым ему уникальным номером, используемым для идентификации абонента в сетях сотовой связи. Данная схема идентификации является двухфакторной, поскольку позволяет подтвердить личность пользователя посредством двух факторов:

- фактора знания уникального идентификатора, связанного с пользователем;
- фактора владения, подтверждаемого предоставлением одноразового пароля, отправляемого пользователю посредством сетей сотовой связи.

Другим примером идентификатора для информационной системы может выступать идентификатор пользователя в какой-либо иной доверенной информационной системе, например, такой как Федеральная миграционная служба, предоставляющая пользователю уникальные значения серии и номера выдаваемого соответствующей организацией документа – пас-

порта гражданина Российской Федерации. В данном случае сторонняя информационная система берет обязанности по идентификации пользователя и передает конечную информацию целевой информационной системе.

При отсутствии возможности использования третьей стороны для решения задачи идентификации пользователя возможным является генерация собственного типа идентификатора и его распределения между всеми легитимными пользователями.

В качестве рекомендуемого варианта реализации идентификатора предлагается к использованию схема с использованием модулей идентификации абонента в сотовых сетях.

Алгоритм симметричного шифрования. На этапе 2г перед пользователем стоит задача зашифровать сформированный бюллетень с помощью алгоритма симметричного шифрования. Наиболее распространенными алгоритмами симметричного шифрования являются алгоритмы на основе SP-сетей (подстановочно-перестановочных сетей). Подобные алгоритмы используют предварительно рассчитанные таблицы замены байтов в совокупности с несколькими раундами соответствующих замен, что позволяет получить важное свойство, заключающееся в изменении всех битов выходной последовательности при изменении одного бита информации, поступающей на вход. Также распространенность данных алгоритмов обусловлена простотой и эффективностью реализаций непосредственно на аппаратном обеспечении, которые значительно превосходят по производительности программные решения. Самым известным среди подобных алгоритмов является Advanced Encryption Standard (AES), также известный как Rijndael – симметричный алгоритм блочного шифрования, работающий с блоками размером по 128 бит и с ключом размером 128, 192 или 256 бит [5]. Альтернативой AES может служить блочный шифр «Кузнечик», разработанный Центром защиты информации и специальной связи ФСБ России. Данный алгоритм также работает с блоками размером 128 бит, но с фиксированной длиной ключа в 256 бит. В случае применения блочных симметричных алгоритмов шифрования в настоящее время, как отмечено в [1], 256 бит является достаточной длиной ключа для сохранения устойчивости шифра. В практических реализациях протокола выбор алгоритма шифрования не является критичным, достаточно соблюдения устойчивости к взлому и оптимальной производительности при работе как на устройстве участника голосования, так и на устройстве счетчика голосов. Тем не менее размер блока, используемый алгоритмом для шифрования, может повлиять на особенности реализации бюллетеня.

Таким образом, в качестве алгоритма симметричного шифрования предлагается использовать AES в силу приведенных выше преимуществ.

Бюллетень. Протокол требует формирования бюллетеня с выбором пользователя. Протокол не предъявляет никаких требований к выбору структуры бюллетеня. Таким образом, на практике стоит вопрос, какая структура данных оптимальна для его представления. Форматы представления данных делятся на две основные группы: человекочитаемые и бинарные [3]. В первом случае бюллетень является битовой последовательностью, которую можно представить в виде символьной информации, воспринимаемой человеком. В случае бинарного формата представления, бюллетень является упорядоченной структурированной последовательностью битов. В практической реализации возможно использование любого из представленных вариантов, при условии соблюдения следующего требования: информационная система должна контролировать структуру бюллетеня и отказывать в учете бюллетеней со структурой, отличной от объявленной. Данной требование позволяет ограничить потенциального злоумышленника в возможности манипулирования данными в бюллетене при проведении атаки на хэш-функцию, значительно сократив возможное число вариантов для прямого перебора. В соответствии с приведенным требованием, также следует обратить внимание на выравнивание размера данных в бюллетене под размер блока, используемого алгоритмом шифрования, что также позволит минимизировать количество информации, доступной в бюллетене для модификации.

Уникальная метка пользователя. При генерации метки возникает проблема проверки уникальности данного идентификатора без центра координации, который может стать потенциальным источником компрометации или дать злоумышленнику дополнительную информацию, указав на существование сгенерированной ранее метки до ее фактической публикации. Для генерации уникальных идентификаторов для распределенных систем существует стандарт идентификации UUID (universally unique identifier – «универсальный уникальный идентификатор»). Данный стандарт позволяет пользователю сгенерировать идентификатор с приемлемой для конкретной информационной системы вероятностью коллизии. Стандарт предоставляет несколько версий реализации, наиболее подходящим для системы электронного голосования

является UUID 3 или 5, действующих аналогичным образом, получая идентификатор из двух входных значений: идентификатора пространства имен («namespace»), также представляющий собой UUID, и некоего строкового значения. Отличие версии 3 от 5 заключается в используемой функции хеширования – MD5 для 3 версии и SHA-1 для 5. Таким образом, на вход функции генерации UUID 3/5 в практической реализации возможно подать сгенерированное UUID 4 значение, которое формируется на основе генератора псевдослучайных чисел, и некоего уникального идентификатора пользователя. Данная схема является безопасной с точки зрения возможности восстановления входных значений в силу использования хэш-функции при генерации значения и рекомендуется для практической реализации протокола.

Алгоритм шифрования с открытым ключом. На шаге 2а избиратель генерирует ключи для асимметричного шифрования [9]. Выбор алгоритма шифрования распространяется на всю информационную систему. Наиболее распространенные криптографические алгоритмы с открытым ключом основываются на вычислительной сложности задачи факторизации произведения больших простых целых чисел. Криптографические системы с открытым ключом используют так называемые односторонние функции, которые обладают следующими свойствами:

- если известно x , то вычислить $f(x)$ относительно просто;
- если известно $y = f(x)$, то для вычисления x нет простого (эффективного) пути.

Под односторонностью понимается практическая невозможность вычислить обратное значение, используя современные вычислительные средства, за обозримый интервал времени. Наибольшее распространение на практике получил алгоритм RSA [10], находящий применение в электронной цифровой подписи, шифровании данных пользователя, установке защищенного соединения и аутентификации пользователя. Также стоит отметить, что данный алгоритм является возможным для применения схемы слепой подписи, необходимой для реализуемого протокола.

Слепая подпись. Дэвидом Чаумом было введено понятие слепой подписи [6] и предложен широко известный алгоритм на основе криптосистемы RSA:

- Боб выступает в качестве нотариуса и предоставляет свой открытый ключ (p, e) , где p – модуль открытого ключа, e – публичная экспонента;
- Алиса выбирает случайный маскирующий множитель r , взаимно простой с p , и вычисляет $m' \equiv m \times r^e \bmod p$;
- Алиса отправляет Бобу m' ;
- Боб вычисляет $s' \equiv (m')^d \bmod p$, где d – приватная экспонента;
- Боб отправляет подписанное сообщение Алисе;
- Алиса снимает маскирующий множитель и получает исходное сообщение m , подписанное Бобом: $s \equiv s' \times r^{-1} \bmod p \equiv m^d \bmod p$.

Стоит отметить, что данная схема применима исключительно при условии коммутативности операций подписи и маскировки сообщения. Приведенная схема RSA на практике не допускается к использованию по причине того, что она не является *практически надежной*, так как функция подписи в данном случае является детерминированной, то есть при одних и тех же входных значениях приводит к одинаковому результату. Для практических реализаций принято использовать схемы «дополнения», так что исходное сообщение M расширяется и приводится к подобному виду [10]:

$$0 \times 00 \quad \left| \quad 0 \times 02 \quad \left| \quad \text{PS} \quad \left| \quad 0 \times 00 \quad \left| \quad M, \quad \left| \right. \right.$$

где первые два октета являются контрольными; PS – псевдослучайная последовательность битов. Математически упрощенно операцию расширения можно представить в следующем виде:

$$M' = l + M; l > 2^{\log_2 M}.$$

Очевидно, что расширенное сообщение становится непригодным для применения в схеме слепой подписи из-за нарушения свойства коммутативности, в результате чего процедура снятия маскирующего множителя приведет к невозможности проверить цифровую подпись. Таким образом, в практической реализации требуется игнорировать стандарт PKCS, что приводит к необходимости дать оценку данного решения с точки зрения информационной безопасности.

Оценка практической реализации с точки зрения информационной безопасности.

При использовании приведенных ранее практических реализаций отдельных элементов протокола возможны следующие атаки на информационную систему.

Атака на канал передачи информации. Очевидно, что передача информации между компонентами информационной системы требует отдельного рассмотрения. В протоколе не приводятся требований к каналу передачи информации, тем не менее отмечается, что канал должен быть *защищенным*. Данное требование является очевидным для большинства информационных систем, и в особенности для системы тайного электронного голосования. При атаке на систему голосования злоумышленник может преследовать одну или несколько из приведенных целей:

- раскрыть личность голосующего и связать его с конкретным бюллетенем;
- проголосовать от имени другого пользователя;
- раскрыть бюллетень пользователя до принятия голоса с целью повлиять на итоговый результат голосования.

Данные векторы атак в случае их реализации нарушают приведенные ранее требования к информационной системе электронного голосования. Общепринятой реализацией безопасного канала передачи информации является канал на основе протокола HTTPS. Тем не менее данный протокол не защищен от атак, связанных с перехватом информации при условии предварительной подготовки злоумышленником сетевой инфраструктуры, которую используют участники голосования для доступа к информационной системе. Таким образом, при оценке защищенности информационной системы следует предполагать, что злоумышленнику могут быть доступны все данные, передаваемые по сети между участником голосования и частями информационной системы.

Атака на зашифрованный бюллетень. Использование современных блочных шифров с длиной ключа в 256 бит позволяют надежно сокрыть информацию в большинстве случаев. Атака методом перебора на ключ указанной длины является неэффективной и по различным оценкам на настоящий момент может занять до $3,31 \times 10^{56}$ лет, что однозначно превышает сроки актуальности сокрытой информации. Тем не менее разрабатываются атаки на алгоритмы шифрования, связанные с архитектурными недостатками данных алгоритмов или особенностей их применения в программном или аппаратном обеспечении. Так, для алгоритма шифрования AES может быть использована уязвимость, позволяющая получить ключ шифрования путем анализа тактов центрального процессора вычислительной машины, используемой для шифрования данных. Тем не менее данный способ требует не только удаленного или физического привилегированного доступа к аппаратной системе, но и предварительно подготовленной программной закладки, что позволяет судить о крайне низкой вероятности реализации данного вектора атаки.

Атака на слепую подпись. Так как в основе алгоритма слепой подписи лежит один из алгоритмов асимметричного шифрования, уязвимости выбранного алгоритма непосредственно отразятся на применимости алгоритма слепой подписи. Как было отмечено ранее, RSA не используется на практике без схем «дополнения» из-за свойства детерминированности наивной реализации, позволяющей злоумышленнику изменять расшифрованные данные на основе известного шифротекста предсказуемым образом. Например, имея шифротекст c , который получен из сообщения m , злоумышленник может вычислить: $c' = c \times 2^e \bmod n$, при расшифровании которого пользователь получит значение $2m$. Тем не менее в алгоритме слепой подписи алгоритм симметричного шифрования применяется для проверки электронной цифровой подписи, осуществляя шифрование данных не открытым ключом пользователя, а секретным, при том, что открытый текст не является секретной информацией и, напротив, используется для контроля за целостностью и источником предоставляемой информации. Таким образом, применение простой схемы RSA или подобного ему алгоритма без использования схем «дополнения» являются допустимым, так как не приводит к раскрытию шифротекста.

Заключение. Таким образом, рассмотрение математической модели, вариантов реализации элементов протокола и его оценка с точки зрения информационной безопасности позволяет перейти непосредственно к практической реализации протокола в виде программного обеспечения для электронно-вычислительных машин.

Библиографический список

1. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си / Б. Шнайер. — Москва : Триумф, 2002. — 815 с.
2. Мао В. Современная криптография. Теория и практика / В. Мао. — Москва : Вильямс, 2005. — 763 с.

3. Шаньгин В. Ф. Защита в компьютерных системах и сетях / В. Ф. Шаньгин. – Москва : ДМК Пресс, 2012. – 592 с.
4. Fujioka A. A practical secret voting scheme for large scale election / A. Fujioka, T. Okamoto and K. Ohta // *Advances in Cryptology-Auscrypt'92*, LNCS 718. – Springer-Verlag, 1992. – P. 244–260.
5. Announcing the Advanced Encryption Standard (AES). – Federal Information Processing Standards Publication 197, 2001.
6. Chaum D. Blind signatures for untraceable payments / D. Chaum // *Proceedings of Crypto 82*. – New York : Plenum Press, 1983. – P. 199–203.
7. Nurmi H. Secret ballot elections in computer networks / H. Nurmi, A. Salomaa, L. Santean // *Computers and Security*. – 1991. – Vol. 36, № 10. – P. 553–560.
8. RFC 2818 HTTP over TLS. – 2000.
9. Rivest R. L. A Method for Obtaining Digital Signatures and Public Key Cryptosystems / R. L. Rivest, A. Shamir, L. M. Adleman *Communications of the ACM*. – 1978. – Vol. 21, № 2. – P. 120–126.
10. RSA Laboratories. PKCS #1 v2.2: RSA Cryptography Standard. – 2012.
11. Shamir A. *Comm. of the ACM* / A. Shamir. – 1979. – Vol. 22. – P. 612.

References

1. Shnayer. B. *Prikladnaya kriptografiya. Protokoly, algoritmy, iskhodnye teksty na yazyke Si* [Applied Cryptography. Protocols, algorithms, sources in C++]. Moscow, Triumph Publ., 2002. 815 p.
2. Mao V. *Sovremennaya kriptografiya. Teoriya i praktika* [Modern cryptography. Theory and practice]. Moscow, Vilyams Publ., 2005. 763 p.
3. Shangin V. F. *Zashchita v kompyuternykh sistemakh i setyakh* [Security in computer systems and networks]. Moscow, DMK Press Publ., 2012. 592 p.
4. Fujioka A., Okamoto T. and Ohta K. A practical secret voting scheme for large scale election. *Advances in Cryptology-Auscrypt'92, LNCS 718*. Springer-Verlag, 1992, pp. 244–260.
5. *Announcing the Advanced Encryption Standard (AES)*. Federal Information Processing Standards Publication 197, 2001.
6. Chaum D. Blind signatures for untraceable payments. *Proceedings of Crypto 82*. New York, Plenum Press, 1983, pp. 199–203.
7. Nurmi H., Salomaa A., Santean L. Secret ballot elections in computer networks. *Computers and Security*, vol. 36, no. 10, 1991, pp. 553–560.
8. RFC 2818 HTTP over TLS, 2000.
9. Rivest R. L., Shamir A., Adleman L. M. A Method for Obtaining Digital Signatures and Public Key Cryptosystems. *Communications of the ACM*, 1978, vol. 21, no. 2, pp. 120–126.
10. *RSA Laboratories, PKCS #1 v2.2: RSA Cryptography Standard*, 2012.
11. Shamir A. *Comm. of the ACM*, 1979, vol. 22, p. 612.

УДК 004.056

АНАЛИЗ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУ ТП ГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Статья поступила в редакцию 10.06.2019, в окончательном варианте – 26.08.2019.

Римша Андрей Сергеевич, Тюменский государственный университет, 625003, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Перекопская, 15А,
аспирант, e-mail: RimshaAndrew@gmail.com

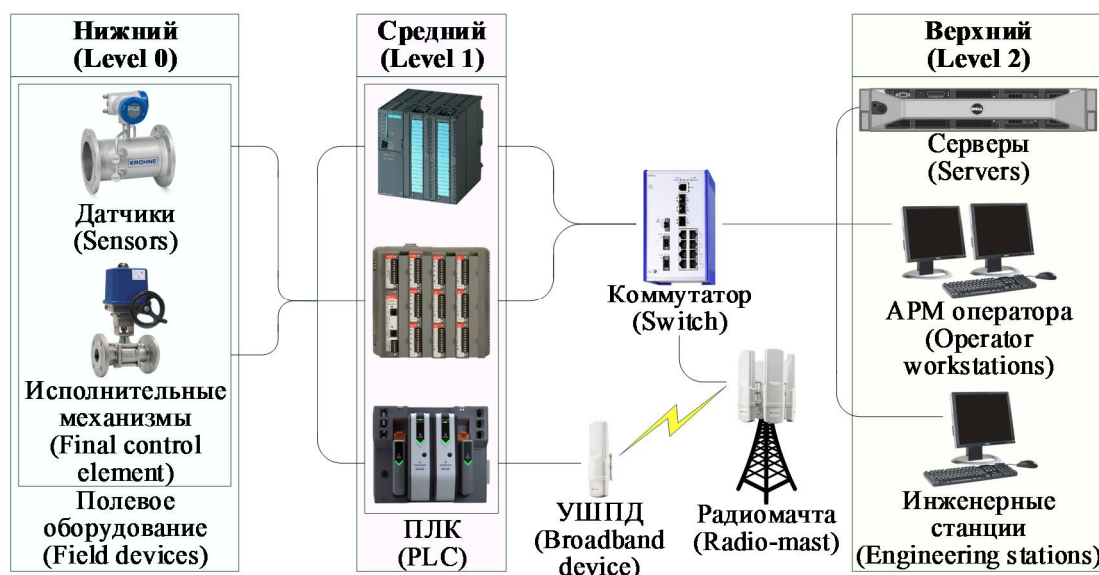
Римша Константин Сергеевич, Тюменский государственный университет, 625003, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Перекопская, 15А,
студент, e-mail: RimshaKonstantin@ya.ru

Цели исследования, описанного в данной статье: анализ актуальных классов решений для обеспечения информационной безопасности АСУ ТП газодобывающего предприятия; выбор наиболее подходящего решения и сравнение его с используемыми на рынке решениями соответствующего класса; формирование нового подхода к моделированию угроз; разработка программной реализации для предложенного ранее метода оценки угроз. Для достижения поставленных целей решен ряд научных задач. Проведено исследование нескольких средств информационной безопасности с учетом опыта их применения в автоматизированных системах; установлены критерии для сравнения рассматриваемых решений; в результате было определено средство, по своим характеристикам в наибольшей степени удовлетворяющее критериям сравнения. Рассмотрены популярные решения, относящиеся к данному классу, их достоинства и недостатки. Учитывая специфические особенности обеспечения информационной безопасности АСУ ТП, были сформулированы определенные требования, причем ни одно из рассмотренных решений в полной

мере не удовлетворило указанным требованиям. Поэтому был разработан программный комплекс для моделирования угроз и оценки рисков информационной безопасности, удовлетворяющий сформулированным требованиям. В статье описан интерфейс этого комплекса. Указанный комплекс позволяет выполнить комплексное моделирование угроз и оценить риски информационной безопасности АСУ ТП газодобывающих предприятий.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, информационная безопасность, средства защиты информации, газодобывающее предприятие, средства моделирования угроз, оценка рисков, идентификация уязвимостей, программный комплекс

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ANALYSIS OF INFORMATION SECURITY' TOOLS FOR APCS OF GAS PRODUCING ENTERPRISES

The article was received by the editorial board on 10.06.2019, in the final version – 26.08.2019.

Rimsha Andrew S., Tyumen State University, 15A Perekopskaya St., Tyumen, 625003, Russian Federation, graduate student, e-mail: RimshaAndrew@gmail.com

Rimsha Konstantin S., Tyumen State University, 15A Perekopskaya St., Tyumen, 625003, Russian Federation, student, e-mail: RimshaKonstantin@ya.ru

The objectives of the study described in this article are an analysis of the actual classes of information security solutions for the APCS of gas producing enterprise; a selection of the most appropriate class of solution and comparison of representatives of this class used in the market; a formation of a new approach to threat modeling; the development of an information security risk assessment methodology; the development of software implementation for this methodology. To achieve these goals, several scientific problems have been solved. A study of several information security tools was carried out considering their use in automated systems; established criteria for comparing the considered decisions, as a result, the tool was determined according to its characteristics that best meet the comparison criteria; the popular solutions of this class listed, considering their advantages and disadvantages. Considering the specific features of providing information security for APCS, certain requirements are formed, not one of these solutions did not fully satisfy these requirements. Consequently, the proposed methodology for modelling threats and assessing the risks of information security that meets the requirements; describes the interface and the possibility of the software implementation of the proposed methodology. The developed program allows you to simulate threats and assess the risks of information security of APCS of gas producing enterprises.

Keywords: APCS, information security, information security tools, gas producing enterprise, threat modeling tools, risk assessment, vulnerability identification, software package

Введение. Автоматизированная система управления (АСУ) технологическими процессами (ТП) – это целая группа технических и программных средств, предназначенных для автоматизации процессов управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях. Серьезной угрозой для таких предприятий сегодня является возможность вмешательства террористических, экстремистских и враждебно настроенных групп в управление АСУ критически важных объектов, в том числе и с целью вывода их из строя.

Важным направлением для корректного функционирования АСУ ТП является обеспечение информационной безопасности (ИБ) этих систем. Отрасли, где защита АСУ ТП наиболее критична, те, в которых возможен максимальный ущерб и может пострадать наибольшее количество людей и оборудования, – это энергетические компании и предприятия топливно-энергетических комплексов (ТЭК). Здесь возможны как негативные экономические последствия, например, нарушение поставок нефти или газа или перебои в электроснабжении населения, так и экологические или гуманитарные катастрофы.

Одним из наиболее опасных видов деятельности в сфере ТЭК является добыча газа. Его физические и химические свойства накладывают повышенные требования в отношении обеспечения промышленной безопасности предприятий. В настоящее время Россия обладает самыми крупными запасами природного газа в мире. При таких условиях помимо «промышленной безопасности» необходимо обеспечение гарантированного уровня ИБ газодобывающих предприятий (ГДП), что требует совершенствования систем, средств и процессов управления ИБ. Эти вопросы в существующих публикациях разработаны недостаточно полно.

В связи с этим целью данной работы стал анализ существующих средств обеспечения ИБ АСУ ГДП.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- описать процесс работы типовых АСУ ТП;
- рассмотреть основные типы нарушений ИБ в АСУ ТП;
- рассмотреть и сравнить актуальные средства обеспечения ИБ АСУ ТП ГДП;
- выбрать средство обеспечения ИБ АСУ ТП ГДП и обосновать целесообразность его использования.

Общая характеристика проблематики исследований. Под «промышленной безопасностью» подразумевается обеспечение для оборудования безопасных режимов функционирования, предотвращающих ускоренный износ оборудования, а также снижение возможных негативных влияний людей-операторов на процессы управления (с целью сокращения аварийных остановок оборудования, предотвращения сверхнормативных вредных выбросов в воздух и пр.).

Под «управлением» в статье понимается процесс изменения состояния или режима функционирования системы в соответствии с поставленной перед ней задачей [3]. Исходя из этого определения, управление направлено на то, чтобы целенаправленно менять состояние системы.

Для обеспечения ИБ АСУ ТП ГДП необходимо рассмотреть, что из себя представляют системы автоматического управления (САУ) таких предприятий.

Рассмотрим процесс управления на примере ГДП. Пусть технологическая установка по добыче газа является объектом управления, а САУ – органом (средством) управления. В таком случае САУ формирует управляющее воздействие на исполнительные механизмы, установленные на скважинах, которые открывают (регулируют) или перекрывают потоки газа, а технологическая установка формирует обратную связь, отправляя сигналы с датчиков. На основании обратной связи САУ может корректировать свои управляющие воздействия. Таким образом, в данной системе не принимает участие человек, и она является замкнутой. [3]. Основная особенность САУ в том, что в таких системах происходит очень быстрый анализ «информации обратной связи» при формировании сигналов управления. Из-за больших объемов информации и необходимости быстрых реакций на нее человек не способен достаточно быстро принимать и реализовывать правильные решения, т.е. заменить САУ. На рисунке 1 представлена схема САУ.

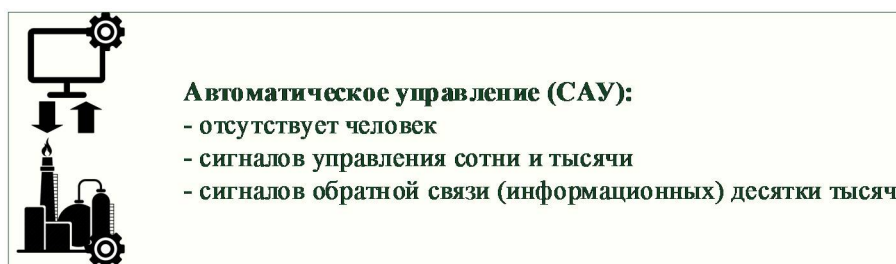


Рисунок 1 – Система автоматического управления [6]

Система, в которой человек участвует в принятии и реализации решений по управлению ТП, относится к классу АСУ ТП. При этом важно понимать, что возможности человека по обработке информации ограничены, поэтому он может участвовать в принятии и реализации только некоторых видов решений. Для управления в рамках АСУ и, в частности, снижения объемов поступающей информации, используется преобразующий интерфейс. С его помощью на экране демонстрируются показания приборов, где человек может проверить: соответствуют ли данные получаемые с датчиков действительности или нет. Таким образом, через АСУ человек может оказывать воздействие на объект управления, однако это воздействие не прямое, а косвенное. Косвенное воздействие характерно тем, что результат воздействия и сигналы обратной связи могут не совпадать, поэтому операторам необходимо проверять фактическое выполнение некоторых действий вручную. На рисунке 2 представлена схема АСУ ТП.

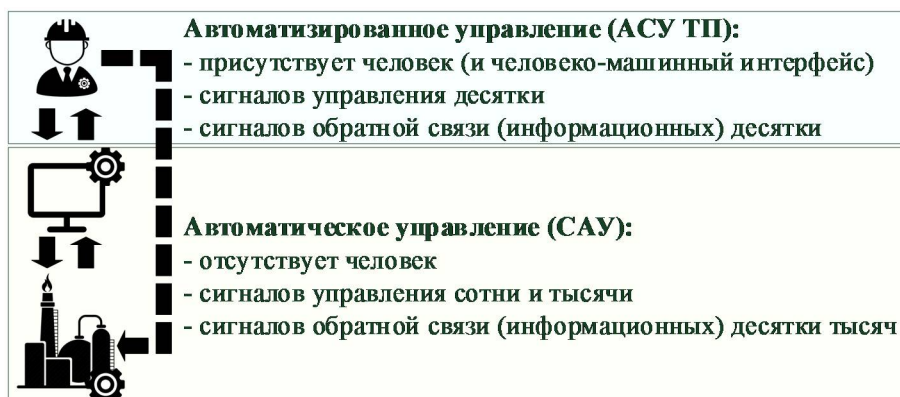


Рисунок 2 – Автоматизированная система управления технологическими процессами [6]

Типовое ГДП представляет собой территориально распределенную структуру, которая начинается от кустов газовых скважин и заканчивается центральным диспетчерским пунктом. Как правило, в промышленных АСУ ТП выделяют три уровня [9]:

- нижний уровень – уровень датчиков и исполнительных механизмов;
- средний уровень – уровень программируемых логических контроллеров (ПЛК);
- верхний уровень – система сбора данных и оперативного диспетчерского управления (англ. SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition).

Объединение устройств АСУ ТП в сеть, наличие соединений между различными зонами, а также появление интерфейсов для удаленного обслуживания создают условия, при которых возникают угрозы ИБ для АСУ ТП и предприятия в целом. Связь между компонентами АСУ ТП, уязвимостями и угрозами представлена в виде трехдольного графа [1] на рисунке 3.

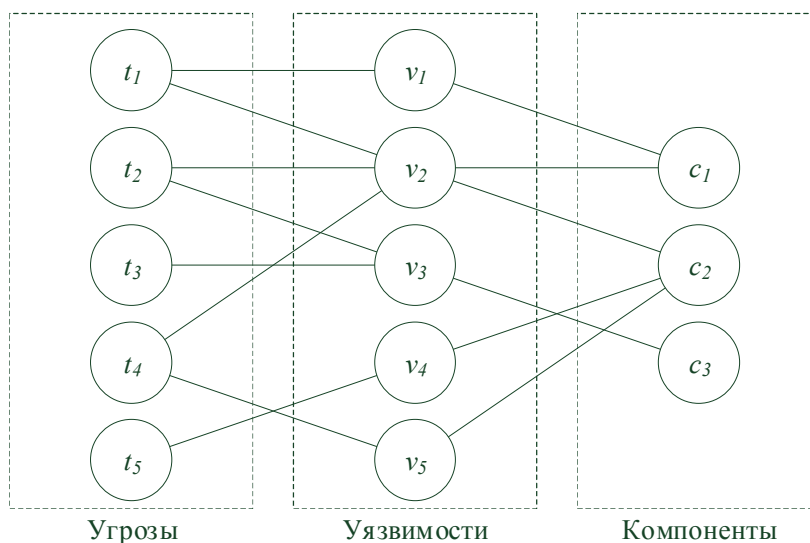


Рисунок 3 – Связь между компонентами, уязвимостями и угрозами

Федеральным законом РФ от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, АСУ, функционирующие в сфере ТЭК, отнесены к субъектам критической информационной инфраструктуры. Поэтому к системам автоматизации предприятий ТЭК предъявляются повышенные требования по обеспечению стабильности работы, надежности функционирования оборудования. Эти требования обуславливают наличие особого подхода при построении и поддержании системы защиты информации АСУ ТП ГДП от реально существующих и потенциально возможных угроз ИБ.

Основные типы угроз и нарушений ИБ в АСУ ТП. Типы угроз ИБ очень разнообразны и имеют множество классификаций [5]. Однако, учитывая специфику рассматриваемых АСУ ТП, были выделены следующие три основных типа нарушений ИБ.

1. Пренебрежение и халатность со стороны собственных работников предприятия. Подобные инциденты возникают в случае использования производственной инфраструктуры не по назначению. Например, подключение внешних устройств (носители информации, модемы и другие), установка незадекларированного программного обеспечения (ПО) или подключение сторонних средств вычислительной техники (СВТ) в промышленную сеть.

2. Хищения. В отличие от предыдущего типа нарушений этот тип является умышленным и подразумевает использование АСУ ТП для того, чтобы скрывать хищения сырья, например, газа или конденсата.

3. Целевая кибератака (или Advanced Persistent Threat (APT)). Такой тип нарушений ИБ направлен на использование АСУ ТП с целью повлиять на производственные процессы предприятия [11]. Это влияние может быть либо промышленным шпионажем (чтобы получить конфиденциальные данные), либо саботажем, направленным на прекращение производственного процесса или повышение вероятности возникновения аварийных ситуаций.

Далее эти три направления рассматриваются более подробно с учетом АСУ ТП ГДП.

Пренебрежение правилами и халатность со стороны собственных работников предприятия. Ненадлежащее выполнение (или невыполнение) работниками предприятия правил в сфере ИБ может привести к серьезным последствиям, которые могут повлиять на технологический процесс ГДП.

1. Примерный типичный сценарий нарушения ИБ: оператор подключил съемный носитель, зараженный вредоносным ПО, к автоматизированному рабочему месту (АРМ). В случае отсутствия антивирусов или использования их устаревших баз скриптов вредоносное ПО проникает на клиентскую машину оператора, нарушая при этом ее работу, и имеет потенциальную возможность распространиться на остальные устройства в локальной сети.

Одним из вариантов проявления действий вредоносного ПО могут быть ошибки операционной системы (ОС), связанные с недостатком системных ресурсов для выполнения операций. Также популярным типом вредоносного ПО являются вирусы-вымогатели, которые поражают АРМ или сервера, блокируя доступ к ОС или предотвращают считывание записанных данных, требуя у жертвы выкуп для восстановления исходного состояния системы.

2. Второй сценарий нарушения ИБ подразумевает подключение устройств, выполняющих функцию модема, к АРМ с доступом в SCADA-систему. Таким образом, это устройство оказывается в глобальной сети и оказывается подверженным множеству потенциальных угроз. Примером такой атаки может стать скрытно устанавливаемая на АРМ-оператора программа, позволяющая злоумышленнику выполнять действия с использованием ресурсов зараженной машины. Одним из таких действий может быть DoS-атака (Denial of Service) на устройства внутри промышленной сети.

Еще одним потенциально возможным подвариантом может быть нарушение отображения информации, используемой оператором АСУ ТП для принятия и реализации оперативных решений. В этих случаях из-за неверной информации операторами могут приниматься и выполняться неверные решения, которые могут приводить к аварийным ситуациям.

В формализованном виде примеры сценариев нарушения ИБ (и их последствия) вследствие пренебрежения и халатности со стороны собственных работников представлены на рисунке 4.

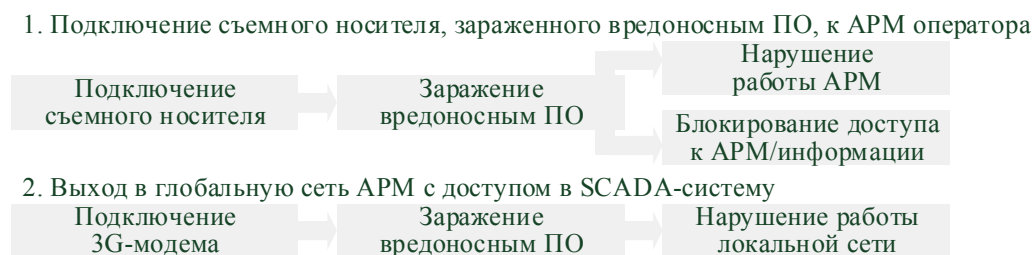


Рисунок 4 – Сценарии нарушения ИБ вследствие халатности со стороны собственных работников

Отметим, что в силу специфики работы ГДП и их АСУ даже кратковременные неблагоприятные воздействия вредоносных программ могут иметь весьма неблагоприятные последствия для организаций, их подразделений.

хищение. Информация о том, сколько было добыто ресурсов во время технологического процесса, передается от нижнего уровня иерархии системы управления к верхнему. За расчет добытого объема газа отвечают расходомеры, которые измеряют поступающий в прибор газ равными по объему дозами, которые затем суммируются. Газ перед этим нагревается до определенной (стандартной) температуры. Масса газа при этом не измеряется. Поэтому если повлиять на прибор, ответственный за нагревание добытого газа перед подачей в расходомер, изменив температуру нагревания на некоторое количество градусов, то через расходомер можно пропустить больший объем газа. Разницу между расчетными объемами газа, добытого при рабочей и измененной температурах, можно скрыто похитить.

Для реализации такого типа нарушения ИБ необходимо повлиять на показания системы, то есть сделать так, чтобы вместо заданных в систему попадали ложные показания, в которых заинтересован злоумышленник. Такого результата можно добиться, в частности, следующими способами: перепрограммированием ПЛК, ответственного за передачу информации о нагревании; при помощи вредоносного ПО попытаться исказить данные на АРМ, которое передает их для учета в SCADA-систему; использовать другие способы. Пример организации атак класса «хищение» представлен на рисунке 5.

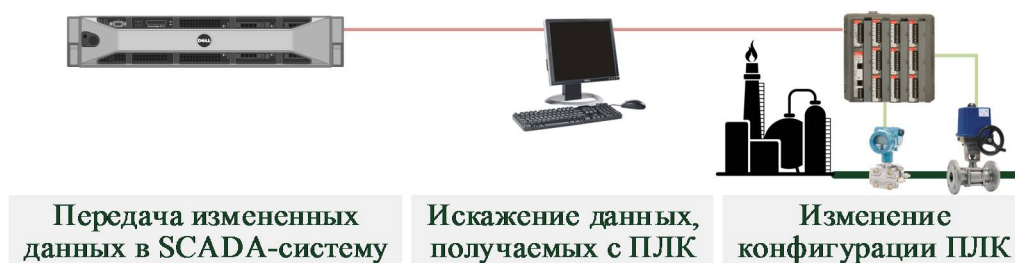


Рисунок 5 – Класс атак – хищение

Целевая кибератака. Целевые кибератаки применительно к АСУ ТП условно можно разделить на два вида:

- несанкционированное получение информации;
- нарушение технологического процесса.

Несанкционированное получение информации. Такой вид атак направлен на использование АСУ ТП с целью повлиять на производственный процесс предприятия. Это влияние может быть либо промышленным шпионажем (чтобы разведать данные ограниченного доступа), либо саботажем, направленным на дезорганизацию или прекращение производственного процесса. Учтем следующее: каждое ГДП добывает ресурсы на выделенных лицензионных участках, а организаций, обладающих лицензией на добычу газа, в стране ограниченное количество, и их деятельность во многом контролируется государством. Поэтому конкурентная разведка между такими компаниями в России обычно нецелесообразна, но указанные сведения могут представлять интерес для иностранных организаций, в том числе конкурирующих с российскими на зарубежных рынках сбыта газа или продуктов его переработки.

Информацией ограниченного доступа является любая информация, которой может воспользоваться злоумышленник для нанесения ущерба предприятию. Такой информацией могут являться конфигурации ПЛК, данные с пульта управления оператора, архивные сведения SCADA-системы и другие, по которым можно восстановить технологический процесс. Полученную информацию можно использовать для оказания влияния на производство и организацию других видов атак, в некоторых случаях – для нанесения репутационных ущербов предприятиям.

Источники информации ограниченного доступа представлены на рисунке 6.

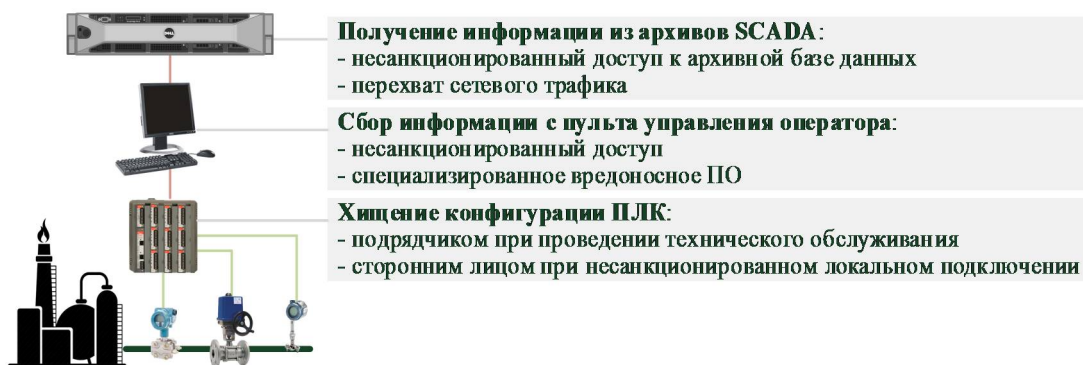
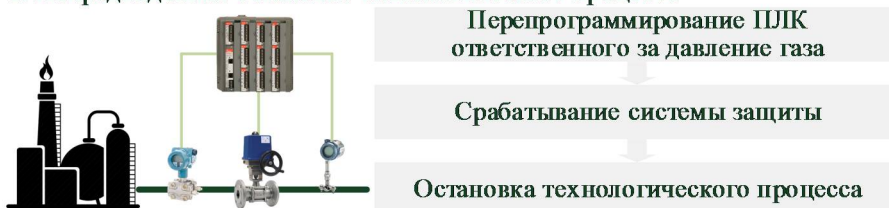


Рисунок 6 – Направленная атака с целью получения информации

Нарушение технологического процесса. Разрушить (нарушить) техпроцесс на ГДП можно несколькими способами. Одним из них является доведение производственного процесса до аварийного состояния путем, например, перепрограммирования ПЛК или АРМ, отвечающий за давление газа в трубах, отходящих от газодобывающих скважин. Учитывая, что газодобывающее предприятие является опасным объектом, на нем, как правило, предусмотрены аварийные ситуации, и реализуемые процессы контролируются нормами промышленной безопасности. Поэтому в случае выхода каких-либо показателей за допустимые пределы независимая система (по сравнению с АСУ ТП) отключает эти объекты.

Менее очевидной атакой на техпроцесс будет являться атака, имеющая целью оказание влияния на конечный добываемый продукт. Как и в примере с хищением, можно, например, повлиять на логику работы устройств АСУ ТП, подменив алгоритмы (в частности изменить принцип работы механизмов, отвечающих за отделение газа от конденсата). Таким образом, в результате добываемый газ будет иметь другую консистенцию и соответственно другое качество. Это может в дальнейшем сказаться на репутации компании и привести к серьезному экономическому ущербу для нее. Возможные сценарии целевых кибератак, направленных на нарушение технологического процесса, представлены на рисунке 7.

1. Непредвиденная остановка технологического процесса



2. Влияние на качество добываемого продукта

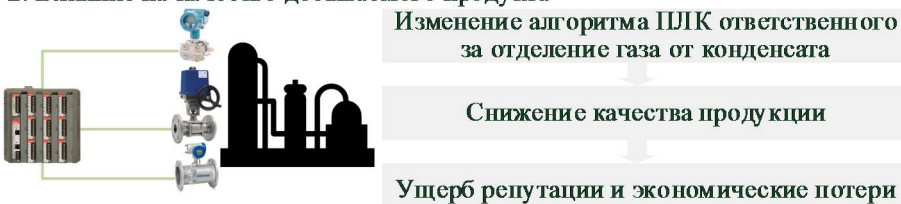


Рисунок 7 – Сценарии целевых кибератак, направленных на нарушение технологического процесса ГДП

Стадии атаки на АСУ ТП. Суммируя вышесказанное, можно прийти к выводу, что любая атака на АСУ ТП, связанная с технологическим процессом, будет состоять из трех основных стадий, которые начинаются на верхнем уровне АСУ ТП и заканчиваются на нижнем.

Первая стадия – это IT-атака через человеко-машинный интерфейс АСУ ТП или подключение к смежным системам – основным звеньям АСУ ТП. Они обычно используют популярные вне промышленных систем IT-решения, содержащие общеизвестные уязвимости и, как следствие, подверженные традиционным атакам, в рамках которых злоумышленник проникает в защищаемый периметр АСУ ТП с целью дальнейших действий.

Вторая стадия – это следующий этап атаки, где уязвимыми объектами являются технологические компоненты системы, например, логика работы SCADA-системы или алгоритмы ПЛК. При этом целью является создание сбоев в работе АСУ ТП, манипуляции технологическими процессами и пр.

Третья стадия – атака на технологические объекты управления, которые управляются ПЛК. На этой стадии целью является нанесение максимального ущерба. В качестве примера можно привести поведение известного компьютерного червя Stuxnet, который скрытно увеличивал скорости вращения центрифуг в системах обогащения 235-м изотопом шестифтористого урана.

Червь поражал непосредственно ПЛК, заставляя центрифуги работать в предельно допустимом режиме. Это приводило к повышенному износу оборудования, но не к мгновенному выходу их из строя. После выхода из строя нескольких центрифуг подряд логично было бы провести внеочередное техническое обслуживание, дополнительную наладку и найти отклонение. Поэтому преждевременный износ оборудования был растянут по времени, чтобы центрифуги не начали выходить из строя почти одновременно и тем самым разоблачить действия зловредного ПО. При этом Stuxnet добивался того, чтобы центрифуги выходили из строя быстрее, чем их успевали бы пополнить (заменить). Для организации атаки на таком технологическом уровне необходимо обладать информацией о том, как устроен технологический процесс, которым управляют атакуемые АСУ ТП.

Считается, что область ИБ заканчивается там, где начинается технологический объект управления и происходит переход к промышленной безопасности. Ее задачей является в первую очередь безопасное функционирование системы, а именно отсутствие человеческих жертв и минимальный экологический ущерб. Задачей ИБ в свою очередь является нейтрализация злоумышленника на второй стадии. Этапы (стадии) атаки на АСУ ТП представлены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Стадии атаки на АСУ ТП

Актуальные классы решений, направленных на обеспечение ИБ АСУ ТП ГДП. Большинство решений на рынке для обеспечения ИБ представляют собой сочетания программных и аппаратных «инструментов»; для реализации своего функционала требуют интеграции в промышленную сеть. Учитывая, что АСУ ТП ГДП представляет собой непрерывный процесс по добыче природного газа, внедрение подобных средств обеспечения ИБ в системах, в которых изначально не было предусмотрено и протестировано их использование, может частично или полностью неблагоприятно повлиять на весь технологический процесс [7]. Возможные проблемы могут быть вызваны как несовместимостью оборудования или ПО, так и встроенным функционалом блокирования дополнительных программно-аппаратных средств. С учетом того, что газовое предприятие является опасным промышленным объектом, подобное воздействие может быть причиной отказа оборудования или даже аварии. Поэтому при выборе решений для защиты системы необходимо руководствоваться в первую очередь минимальным вмешательством в производственные процессы.

Из предлагаемых на рынке классов решений, оказывающих минимальное воздействие на систему и повышающих уровень ее ИБ, можно выделить следующие «классы» [25]:

- средства межсетевого экранирования;
- системы обеспечения одностороннего межсетевого взаимодействия;
- системы обнаружения вторжений;
- дублирование и перенаправление технологического трафика;
- корреляция инцидентов и мониторинг событий ИБ;
- сканеры уязвимостей;
- средства моделирования угроз.

Далее эти классы решений рассматриваются более подробно.

Межсетевой экран (МЭ) – это система сетевой безопасности, которая отслеживает и контролирует входящий и исходящий сетевой трафик на основе заранее определенных правил безопасности.

МЭ обычно подразделяются на сетевые и хостовые. Сетевые брандмауэры расположены на компьютерах-шлюзах локальных сетей, глобальных сетей и интрасетей. Они представляют собой либо программные решения, работающие на основе аппаратного обеспечения общего назначения, либо отдельные устройства со встроенной ОС. МЭ на основе хоста расположены на самом сетевом узле и контролируют входящий и исходящий сетевой трафик этих устройств.

У каждого типа МЭ свои преимущества и недостатки. Однако в промышленных сетях применение чаще находит сетевой тип МЭ. Его используют для установки барьера между доверенной внутренней сетью и «ненадежной» внешней сетью. В случае АСУ ТП ГДП это соответствует следующему: между промышленной сетью и корпоративной.

Иногда МЭ может применяться и внутри промышленной сети между верхним и средним уровнем для контроля сетевого трафика. В этом случае правила доступа настраиваются таким образом, что в список открытых портов входят необходимые промышленные протоколы. Например, открывается доступ по порту TCP 502 (Modbus TCP).

Одной из разновидностей МЭ являются «промышленные полевые МЭ» – они используются на уровне контроллеров. Основными вендорами, поставляющими подобный тип оборудования, являются зарубежные компании, однако ведутся и отечественные разработки в данном направлении [2]. На рисунке 9 представлен пример использования промышленных МЭ.

Основным отличием промышленных полевых МЭ является контроль сессии промышленных протоколов на прикладном уровне, а не только на сетевом. Таким образом, промышленные полевые МЭ могут проводить полноценную инспекцию промышленных протоколов на уровне приложений, позволяя тем самым более гибко настраивать допустимый в промышленной сети трафик.

При защите промышленной сети между уровнями АСУ ТП также важными являются технические характеристики, такие как требования к вибрационным нагрузкам, рабочей температуре, влагоустойчивости. Исходя из данных параметров, можно определить, насколько конкретное устройство будет удовлетворять эксплуатационным требованиям к сетевому оборудованию на конкретном объекте.

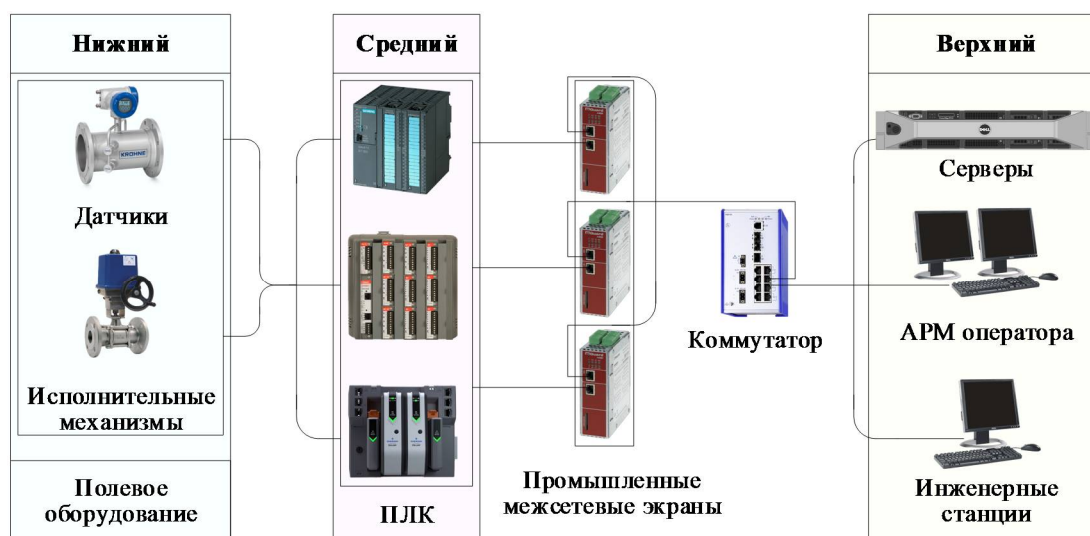


Рисунок 9 – Применение промышленного МЭ

Системы одностороннего межсетевого взаимодействия (также известные как однонаправленные шлюзы и диоды данных) – это устройства связи, которые обеспечивают безопасную одностороннюю передачу данных между сегментированными сетями. Интеллектуальная конструкция таких систем поддерживает физическое и электрическое разделение сетей источника и назначения. При этом устанавливается немаршрутизируемый, полностью закрытый, односторонний протокол передачи данных между сетями. Обеспечение безопасности всех потоков данных в сети с помощью систем одностороннего межсетевого взаимодействия делает невозможной передачу небезопасных или враждебных вредоносных программ, а также удаленный доступ к промышленным системам [17].

Таким образом, применение технологий односторонних шлюзов в промышленных сетях ГДП позволяет безопасно передавать информацию только в одном направлении, от защищенных областей (АСУ ТП) к менее защищенным системам (корпоративный сегмент сети), исключая возможность проникнуть в промышленную сеть извне. Подобное решение в отличие от более популярных (OPC- (Open Platform Communications), MES- (Manufacturing Execution System) серверов) намного эффективнее защищает от попыток несанкционированного доступа в сеть АСУ ТП, так как злоумышленник на физическом уровне не имеет доступа из корпоративного сегмента в промышленный.

Для полноценной работы «диода данных» ему необходимы прокси-серверы: внутренний (находится в промышленном сегменте сети) и внешний (находится в корпоративном сегменте сети). Взаимодействие между прокси-серверами происходит в одном направлении, например, от внешнего к внутреннему. В обратном направлении прокси-серверы не могут взаимодействовать в силу использования «диода данных». В нем на аппаратном уровне исключен интерфейс в отношении приема информации от внутреннего прокси-сервера. Схема устройства «диода данных» представлена на рисунке 10.

Существует множество вариантов использования систем одностороннего межсетевого взаимодействия в АСУ ТП ГДП:

- отправка данных через OPC Server о добываемых ресурсах в сегмент корпоративной сети для мониторинга и анализа информации;
- обеспечение взаимодействия компонентов иерархии WSUS (Windows Server Update Services) сегментов корпоративной сети и АСУ ТП;
- пересылка журналов аудита в формате syslog для SIEM-систем (Security Information and Event Management), расположенных вне сегмента АСУ ТП;
- удаленное обслуживание оборудования АСУ ТП с привлечением квалифицированной сервисной поддержки, исключающей утечки информации.

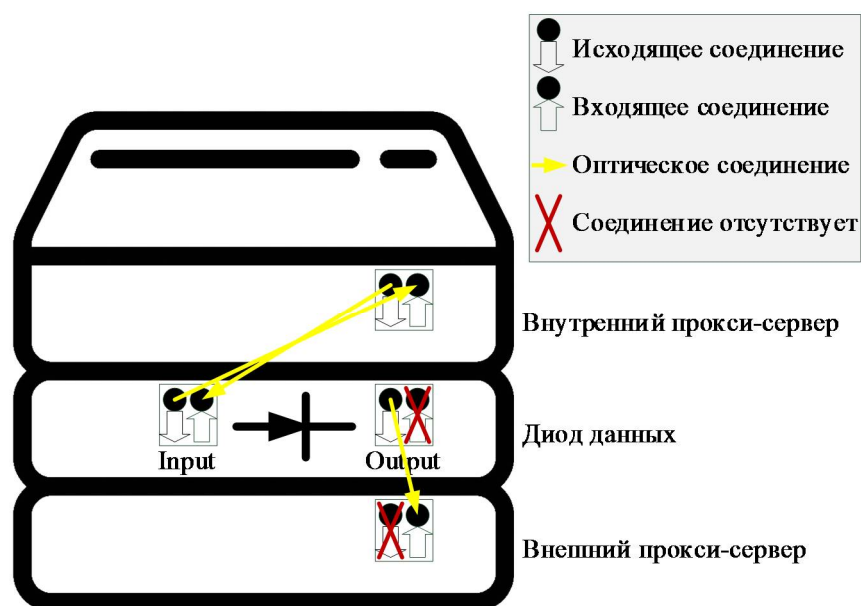


Рисунок 10 – Схема устройства диода данных [8]

На рисунке 11 представлен один из примеров использования «диода данных» в промышленной сети.

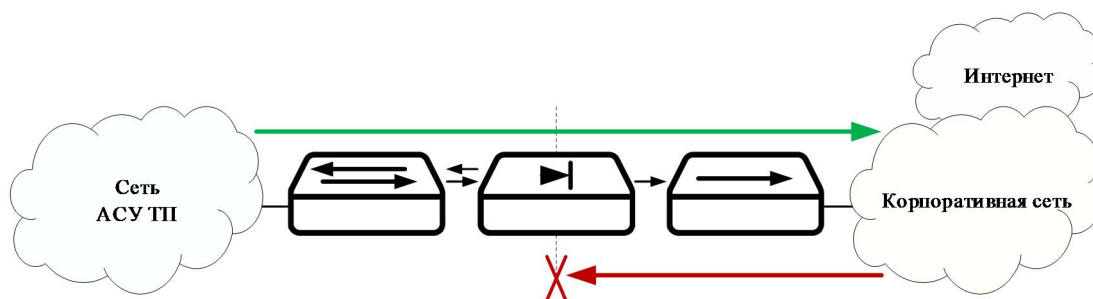


Рисунок 11 – Пример использования «диода данных» в промышленной сети

Система обнаружения вторжений (СОВ) – это аппаратное или программное решение, которое отслеживает сеть или системы на предмет вредоносных действий или нарушений политики безопасности. О любых злонамеренных действиях или нарушениях обычно либо сообщается администратору, либо информация об этих действиях собирается централизованно с использованием системы защиты информации и управления событиями (SIEM) [18].

Основное отличие СОВ от МЭ заключается в том, что МЭ ограничивает доступ между сетями, чтобы предотвратить вторжение, и не сигнализирует о нападении внутри сети. СОВ в свою очередь описывает предполагаемое вторжение после того, как оно произошло, и сигнализирует об опасности. Также СОВ отслеживает атаки, исходящие из ОС. Указанные возможности достигаются путем изучения сетевых взаимодействий, выявления эвристики и сигнатур распространенных компьютерных атак; принятия мер по предупреждению операторов АСУ ТП, специалистов по ИБ.

Типы СОВ варьируются, и они применяются, начиная от отдельных компьютеров и до крупных сетей. Наиболее распространенными классификациями СОВ являются сетевые системы обнаружения вторжений (NIDS) и хост-системы обнаружения вторжений (HIDS). Система, которая отслеживает важные файлы операционной системы, является примером HIDS, а система, которая анализирует входящий сетевой трафик, является примером NIDS. Также можно классифицировать СОВ с помощью подхода к обнаружению. Наиболее известные варианты – это сигнатурное обнаружение (распознавание опасных сигнатур, таких как вредоносные программы или атаки) и обнаружение на основе аномалий (обнаружение отклонений от модели допустимого трафика, которая часто опирается на машинное обучение).

Расширенный вариант СОВ со способностью реагирования на обнаруженные вторжения называется системой предотвращения вторжений. В промышленных сетях такое средство защиты не рекомендуется использовать в связи с потенциальной возможностью блокировки технологических процессов в случае обнаружения аномальной и вредоносной сетевой активности, что может существенно повлиять на всю промышленную сеть в целом. Поэтому использование СОВ с отсутствием возможности реагировать на обнаруженные вторжения является более приемлемым вариантом.

Дублирование и перенаправление сетевых пакетов (зеркалирование). Как правило, зеркалирование портов используется на сетевом коммутаторе для отправки копий всех или отдельно взятых VLAN входящих и/или исходящих сетевых пакетов, получаемых на одном или нескольких портах, на отдельный интерфейс для мониторинга сетевого трафика [19]. С точки зрения безопасности наиболее эффективно данный метод может использоваться совместно с предыдущим средством защиты – СОВ. Данный способ наиболее приемлемый для реализации при использовании в промышленных сетях СОВ, так как это гарантирует, что при анализе трафика отсутствуют угрозы для работы промышленной сети.

Еще одним полезным применением зеркалирования портов является анализ и отладка полученной информации или диагностики ошибок в сети. Это помогает системным администраторам внимательно следить за производительностью сети и оповещать их при возникновении проблем.

Корреляция инцидентов и мониторинг событий ИБ. В области компьютерной безопасности программные продукты и услуги по *защите информации и управлению событиями* (SIEM) объединяют управление информационной безопасностью (SIM) и управление событиями безопасности (SEM). Они обеспечивают в реальном времени анализ предупреждений безопасности, генерируемых приложениями и сетевым оборудованием.

SIEM может представлять из себя как программное или аппаратное решение, так и предоставляемую услугу [14]. Основное внимание уделяется мониторингу и управлению правами пользователей и служб, службами каталогов и другим изменениям конфигурации системы; а также реагированию на инциденты.

Система SIEM объединяет выходные данные из нескольких источников и использует методы фильтрации аварийных сигналов, чтобы отличить вредоносную активность от ложных аварийных сигналов. Это позволяет избавиться от необходимости следить за различными консолями средств защиты и вручную анализировать получаемую с них информацию о событиях, максимально автоматизировав и упростив этот процесс [12].

В случае, когда речь идет о технологическом сегменте предприятий, где необходим круглосуточный контроль исправности промышленных систем, помимо вышеуказанного функционала, данные решения могут стать одним из компонентов, используемых в «комплексном ситуационного центре». В его рамках формируется единая точка отслеживания как технических показателей систем и контроль процессов, так и мониторинг; управление информационной безопасностью предприятия.

Сканер уязвимостей – это компьютерная программа, предназначенная для оценки компьютеров, сетевой инфраструктуры или приложений на наличие известных уязвимостей. Они используются для выявления и обнаружения уязвимостей, возникающих из-за неправильной конфигурации или ошибок в программном коде сетевых устройств и программ, таких как МЭ, маршрутизатор, веб-сервер, сервер приложений и т.д. [23]. Современные сканеры уязвимостей позволяют выполнять сканирование как с аутентификацией, так и при ее отсутствии. Большинство сканеров уязвимостей имеют возможность формировать отчеты об уязвимостях, а также об установленном ПО, открытых портах, сертификатах и другую информацию об устройстве, которую можно запросить во время сканирования [16].

Использование сканеров уязвимостей в сетях АСУ ТП позволяет автоматизировать процесс поиска недочетов (недостатков) конфигурации используемого оборудования. Однако необходимо учитывать тот факт, что подобный класс решений также осуществляет нагрузку на промышленный трафик и оборудование. Вследствие этого может нарушаться непрерывный процесс управления технологическими системами.

Средства моделирования угроз. *Моделирование угроз* – это процесс, с помощью которого потенциальные угрозы, такие как структурные уязвимости, могут быть идентифицированы, перечислены и распределены по приоритетам на самом раннем этапе проектирования – с точки зрения гипотетического злоумышленника. Целью моделирования угроз является предоставление специалистам по защите информации систематического анализа профиля

вероятного злоумышленника, наиболее вероятных векторов атаки и активов организации, подверженных более вероятному нападению [20].

В отличие от сканеров уязвимостей средства моделирования угроз не нуждаются во взаимодействии с устройствами для анализа текущих уязвимостей. Поэтому в средствах моделирования угроз исключены такие недостатки сканеров уязвимостей, как влияние на промышленный трафик. Тем самым данный класс решений позволяет безопасно определить уязвимости оборудования АСУ ТП, однако в отличие от сканеров уязвимостей этап исследования инфраструктуры происходит не в автоматическом режиме. Также при помощи данного типа средств можно проводить анализ и осуществлять управление рисками использования АСУ ТП [10].

Как правило, процессы моделирования угроз, связанные с ИТ, начинаются с создания визуального представления анализируемого приложения или инфраструктуры сети. Они разбиваются на отдельные элементы, чтобы провести максимально подробный анализ всей системы в целом. После завершения анализа визуальное представление используется для перечисления потенциальных угроз. Дальнейший анализ модели в отношении рисков, связанных с выявленными угрозами, расстановкой приоритетов угроз и перечислением соответствующих «смягчающих угрозы» мер управления, зависит от методологической основы используемого процесса построения модели угроз [20]. При использовании средств моделирования угроз для управления рисками вместо угроз можно рассматривать также неблагоприятные события [4].

Моделирование угроз желательно выполнять на ранних этапах цикла проектирования АСУ ТП. При этом потенциальные проблемы могут быть выявлены на ранней стадии и устранены, что позволит избежать более дорогостоящих решений проблемы в будущем. Использование моделирования угроз для анализа требований безопасности может привести к использованию проактивных архитектурных решений, которые помогут уменьшить угрозы с самого начала эксплуатации системы.

Сравнение достоинств и недостатков рассмотренных классов решений. Для выбора наиболее безопасного решения, направленного на обеспечение ИБ АСУ ТП необходимо сформировать перечень критериев для сравнения рассмотренных классов. В качестве критериев будем использовать следующие характеристики:

- влияние на промышленный трафик;
- работа на всех уровнях АСУ ТП;
- изменение настроек используемого оборудования;
- использование рассматриваемого класса решений в проектируемом АСУ ТП.

На основании перечисленных критериев было проведено сравнение рассматриваемых классов решений в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнения актуальных классов решений обеспечения ИБ АСУ ТП

	Влияние на промышленный трафик	Работа на всех уровнях АСУ ТП	Изменение настроек используемого оборудования	Использование в проектируемом АСУ ТП
Средства МЭ	Влияет	Работает	Не изменяет	Неприменимо
Диод данных	Влияет	Работает	Не изменяет	Неприменимо
СОВ	Влияет	Работает	Изменяет	Неприменимо
Зеркалирование трафика	Не влияет	Работает	Изменяет	Неприменимо
SIEM-система	Влияет	Не работает	Изменяет	Неприменимо
Сканеры уязвимостей	Влияет	Не работает	Изменяет	Неприменимо
Средства моделирования угроз	Не влияет	Работает	Не изменяет	Применимо

В результате сравнения актуальных классов решения задач обеспечения ИБ АСУ ТП (табл. 1) можно видеть, что только два класса (зеркалирование трафика и средства моделирования угроз) при применении в АСУ ТП в случае их некорректной работы или получения доступа злоумышленником к данным средствам не повлияют на технологический процесс. Также, согласно приказу ФСТЭК России от 14.03.2014 № 31, установка и настройка средств защиты информации осуществляется в случаях, если такие средства необходимы для нейтрализации угроз безопасности информации, которые невозможно исключить настройкой АСУ ТП. Поэтому в первую очередь необходимо использовать встроенный функционал АСУ для повышения безопасности, в том числе для устранения уязвимостей текущей инфраструктуры.

Исходя из результатов, представленных в таблице 1, только три класса решений (МЭ, диод данных и средства моделирования угроз) не требуют никаких манипуляций с работающей системой: настройка сетевого оборудования и внедрение дополнительных программных или программно-аппаратных решений в промышленную сеть. Помимо этого, следует отметить, что только средства моделирования угроз позволяют эффективно спроектировать еще не существующую промышленную сеть, на ранних этапах устраняя потенциально возможные угрозы. Такой класс решений – наиболее безопасный инструмент для повышения уровня ИБ АСУ ТП ГДП [15].

К наиболее популярным и поддерживаемым на сегодняшний день относятся следующие решения в области моделирования угроз:

- **Attack-Defense Tree Tool (ADTool)** является компонентом обучающей платформы CybatiWorks, разработанным в университете Люксембурга в рамках проекта ATREES по созданию инструментария для составления дерева атак и планирования защитных мер [22]. ADTool позволяет пользователям моделировать и анализировать сценарии защиты от атак при помощи визуального создания «деревьев атак» и предполагаемых мер по их нейтрализации. Этот инструмент работает только с заранее подготовленными разработчиками моделями угроз, что очень сильно ограничивает возможности (объемы) его использования;

- **Microsoft Threat Modeling Tool 2016** – бесплатное решение для моделирования угроз от компании Microsoft, ориентированное на разработчиков ПО. Этот продукт допускает интегрирование в системы, используемые при отслеживании ошибок и других проблем в ПО. Несмотря на все преимущества этого инструмента, его применение для анализа угроз ИБ АСУ ТП ГДП нецелесообразно. Основная причина – в первую очередь это решение рассчитано на инвентаризацию угроз внутри или между приложениями. В то же время подавляющая часть программных продуктов, применяемых в АСУ ТП, является проприетарной, то есть к их исходным кодам имеют доступ только разработчики;

- **OWASP Threat Dragon** представляет собой веб-приложение для моделирования угроз в режиме онлайн. Предназначено для моделирования угроз на ранних этапах жизненного цикла разработки приложений. Главным недостатком этого решения (как и предыдущего) является направленность только на уязвимости и угрозы в приложениях. У данного программного средства отсутствует возможность моделирования угроз для сетевого оборудования или ОС – это делает его неприменимым при использовании в распределенной инфраструктуре;

- **R-Vision Security GRC Platform** – комплексный продукт от российской компании R-Vision. Одной из его частей является модуль по оценке рисков, поддерживающий функцию моделирования угроз. Данный инструмент помимо встроенных угроз поддерживает полную интеграцию с базой данных угроз (БДУ) ФСТЭК. Тем самым он обеспечивает возможность оценивания рисков ИБ в соответствии с текущими требованиями законодательства. Решение от R-Vision позволяет интегрировать его с различными системами защиты информации для дальнейшего моделирования угроз. Однако в случае отсутствия таких систем в промышленной сети в автоматическом режиме нельзя определить актуальные уязвимости в информационных активах организаций;

- **ThreatModeler** – автоматизированное решение от компании MyAppSecurity для моделирования угроз. Оно обеспечивает выявление, прогнозирование и определение угроз на протяжении всего жизненного цикла разработки приложений, а также возможность моделировать угрозы для облачных решений и IoT-устройств. В данном продукте отсутствует возможность дополнять базу угроз и уязвимостей. Поэтому моделирование угроз для нестандартного оборудования не представляется возможным. В свою очередь это ограничивает использование решения.

Учитывая специфические особенности обеспечения ИБ АСУ ТП [24], целесообразно определить основные критерии для сравнения рассмотренных средств моделирования угроз для ГДП:

- визуальное представление инфраструктуры промышленной сети;
- количественная оценка угроз и рисков;
- моделирование угроз для оборудования и ОС;
- пополняемость базы данных актуальными и собственными уязвимостями и угрозами.

На основании перечисленных критериев был проведен анализ на соответствие им у рассматриваемых средств моделирования угроз (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты оценки соответствия средств моделирования угроз рассматриваемым критериям

	ADTool	Threat Modeling Tool 2016	Threat Dragon	Security GRC Platform	ThreatModeler
Визуальное представление сети	Да	Нет	Нет	Да	Нет
Количественная оценка угроз и рисков	Нет	Да	Нет	Нет	Да
Моделирование угроз для оборудования и ОС	Да	Нет	Нет	Да	Да
Полнота базы данных	Нет	Нет	Да	Да	Нет

Как следует из этой таблицы, многие из рассматриваемых решений ориентированы исключительно на уровень разработки ПО, и они не предназначены для корректного моделирования угроз промышленных сетей. Также многие из продуктов не позволяют моделировать угрозы с параметрами, которых не существуют в их базе. В связи с этим актуальной задачей является разработка средства моделирования угроз АСУ ТП для оценки рисков в ГДП.

Описание разработанного программного комплекса. Программный комплекс управления информационными рисками АСУ ТП ГДП «Risk Identification and Management Security Host-based Appliance» (R.I.M.S.H.A.) основан на методе количественной оценки рисков ИБ [21]. Он предназначен для идентификации существующих уязвимостей, моделирования угроз и оценки рисков ИБ в автоматизированных системах. Описываемый программный комплекс позволяет построить топологию АСУ ТП ГДП, связав все компоненты (АРМ-операторов и инженеров, сервера ввода-вывода информации, сетевое оборудование, ПЛК и др.) между собой, а также с газодобывающими установками. На основе построенной топологии рассчитывается потенциальный ущерб при реализации угроз для каждого из компонентов. На основе полученных данных оценивается риск для каждой из существующих в системе угроз. Программный комплекс также позволяет рассчитывать информационные риски для проектируемых промышленных систем [13].

В качестве используемой среды разработки ПО применялась Microsoft Visual Studio 2017. Используемый язык программирования – C#. В качестве базы данных использовалась SQLite.

На рисунке 12 представлен интерфейс главного окна программного комплекса R.I.M.S.H.A. с произвольно заданной топологией АСУ ТП.

Охарактеризуем назначение панелей.

«Панель для проектирования топологии» (область 1 на рис. 12) предназначена для построения топологии АСУ ТП путем перемещения иконок оборудования из панели «Список оборудования» (область 4 на рис. 12) на рабочее поле.

Панель «Тип оборудования» (область 3 на рис. 12) отображает список объектов множества компонентов. При выборе одного из элементов панели меняется список панели «Вид оборудования», находящейся в той же области. Панель «Вид оборудования» содержит различные виды определенного компонента. Например, у сетевых устройств такими «видами» могут являться маршрутизаторы, коммутаторы, межсетевые экраны и т.д.

На панели «Список оборудования» (область 4 на рис. 12) находится оборудование, при помощи которого создается проект топологии АСУ ТП газодобывающего предприятия.

В зависимости от выделенного объекта в панели «Свойства» (область 2 на рис. 12) отображаются его характеристики.

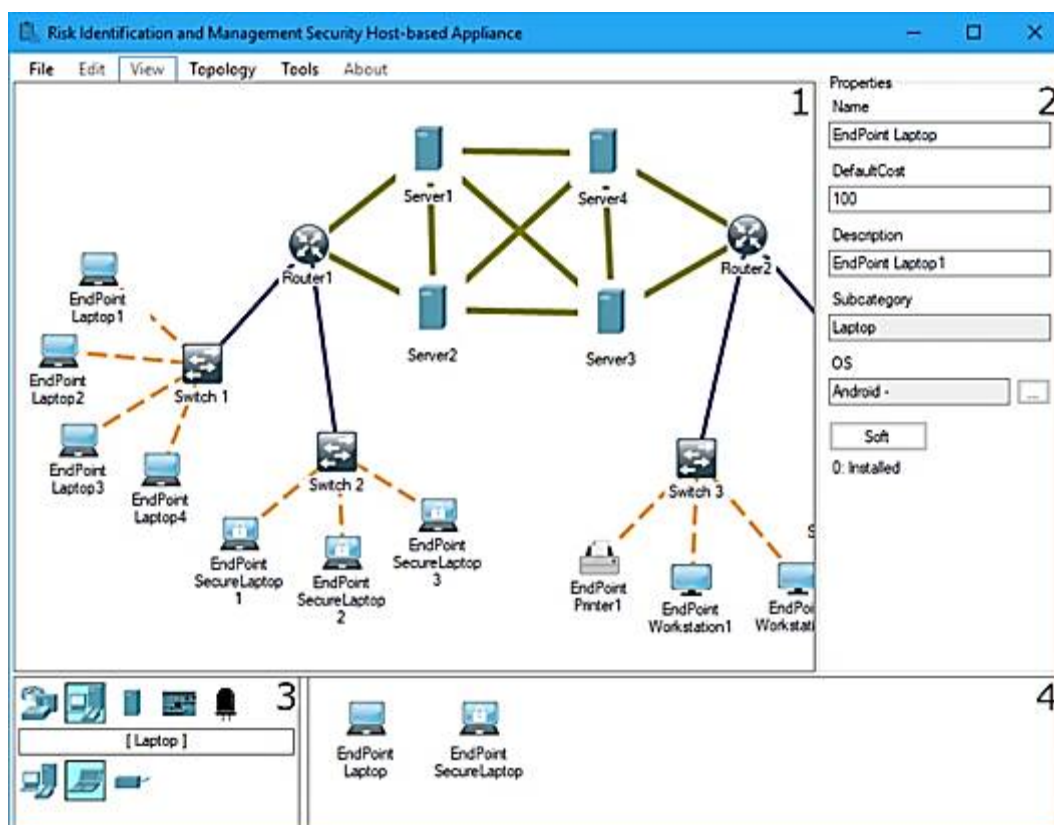


Рисунок 12 – Пример интерфейса главного окна программного комплекса

Источником выбора уязвимостей и угроз является база данных угроз ФСТЭК России. На рисунке 13 представлен интерфейс окна с отображением актуальных уязвимостей для указанной топологии.

The screenshot shows the 'Vulnerabilities' window for 'EndPoint Laptop1'. It displays a table of 369 total vulnerabilities. The table has columns for Identifier, Name, and Linked Threats. The vulnerabilities are listed with their BDU identifiers and descriptions in Russian.

Identifier	Name	Linked Threats
BDU:2017-01750	Уязвимость обработчиков скриптов браузера Microsoft Edge операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01751	Уязвимость обработчиков скриптов браузера Internet Explorer операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01752	Уязвимость обработчиков скриптов браузера Microsoft Edge операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01753	Уязвимость обработчиков JavaScript браузера Microsoft Edge операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01754	Уязвимость обработчиков JavaScript браузера Microsoft Edge операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01755	Уязвимость обработчиков JavaScript браузеров Microsoft Edge и Internet Explorer операционно...	0
BDU:2017-01756	Уязвимость обработчиков JavaScript браузеров Microsoft Edge и Internet Explorer операционно...	0
BDU:2017-01757	Уязвимость обработчиков JavaScript браузеров Microsoft Edge и Internet Explorer операционно...	0
BDU:2017-01758	Уязвимость обработчиков JavaScript браузера Microsoft Edge операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01759	Уязвимость обработчиков JavaScript браузера Microsoft Edge операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01760	Уязвимость обработчиков JavaScript браузера Microsoft Edge операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01761	Уязвимость обработчиков JavaScript браузера Microsoft Edge операционной системы Windows...	0
BDU:2017-01763	Уязвимость текстового редактора WordPad операционной системы Windows, позволяющая...	0
BDU:2017-01764	Уязвимость компонента операционной системы Windows, позволяющая нарушителю выпол...	0
BDU:2017-01765	Уязвимость интерпретатора команд PowerShell операционной системы Windows, позволя...	0
BDU:2017-01766	Уязвимость интерпретатора команд PowerShell операционной системы Windows, позволя...	0
BDU:2017-02254	Уязвимость браузера Microsoft Edge, связанная с некорректной обработкой объектов в пам...	0
BDU:2017-02255	Уязвимость PDF-библиотеки Microsoft Windows PDF Library операционных систем Windows, п...	0
BDU:2017-02256	Уязвимость браузера Microsoft Edge, связанная с некорректной обработкой объектов в пам...	0
BDU:2017-02273	Уязвимость компонента Microsoft Windows Search операционных систем Windows, позволя...	0
BDU:2017-02275	Уязвимость браузера Microsoft Edge, связанная с некорректной обработкой объектов в пам...	0
BDU:2017-02277	Уязвимость PDF-библиотеки Microsoft Windows PDF Library операционных систем Windows, п...	0
BDU:2017-02279	Уязвимость графического компонента Win32k операционной системы Windows, позволяющ...	0
BDU:2017-02280	Уязвимость компонента Windows Shell операционной системы Windows, позволяющая нару...	0
BDU:2017-02281	Уязвимость библиотеки шрифтов операционной системы Windows, позволяющая нарушител...	0
BDU:2017-02303	Уязвимость библиотеки шрифтов операционной системы Windows, позволяющая нарушител...	0

Рисунок 13 – Пример интерфейса окна с актуальными уязвимостями

Из выявленных уязвимостей при помощи «чекбоксов» можно создать выборку, которую можно либо добавить к существующей угрозе, либо создать новую. Также можно применять фильтры для поиска определенных уязвимостей.

На рисунке 14 представлен интерфейс окна программного комплекса с примером создания новой угрозы.

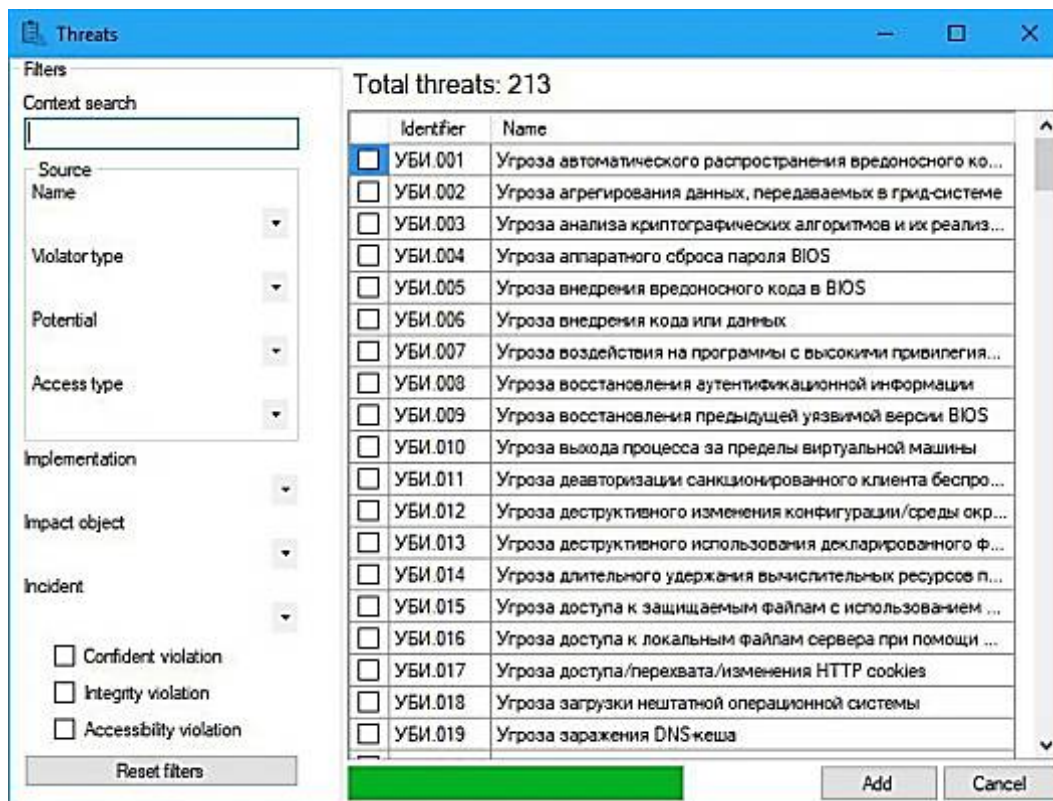


Рисунок 14 – Интерфейс окна с созданием новой угрозы

Программный комплекс R.I.M.S.H.A. автоматизирует процесс моделирования угроз и оценки рисков и позволяет делать следующее:

- спроектировать топологию АСУ ТП ГДП;
- рассчитать оценки угроз, ущерба и риска для каждого компонента;
- вести учет текущих уязвимостей, угроз и рисков для конкретной АСУ ТП.

Помимо этого, отличительной особенностью описываемого программного комплекса по сравнению с аналогами является возможность добавлять собственные уязвимости при помощи параметров CVSS с последующим объединением их в угрозы и автоматической оценкой риска. Таким образом, использование различных комбинаций произвольных уязвимостей позволяет подбирать наиболее эффективные стратегии защиты для АСУ ТП ГДП, не влияя на технологический процесс.

Заключение. В данной работе формально описан процесс работы типовых АСУ ТП и иерархическая структура ГДП. Рассмотрены основные типы нарушений ИБ в АСУ ТП и приведены примерные сценарии подобных нарушений. Выделены стадии атаки на АСУ ТП на основе рассматриваемых типов нарушений.

Проанализированы достоинства и недостатки актуальных классов решений для задач обеспечения ИБ АСУ ТП ГДП. Исходя из результатов сравнения, «средства моделирования угроз» были определены как наиболее эффективные и безопасные с точки зрения возможностей потенциальных воздействий на технологический процесс.

Учитывая, что из предлагаемых на рынке наиболее популярных решений ни одно в полной мере не подходит для моделирования угроз АСУ ТП, авторы статьи использовали разработанный ранее метод моделирования угроз и оценки рисков [21] для создания собственного программного комплекса управления информационными рисками АСУ ТП ГДП.

Предложенный (разработанный) программный комплекс позволяет проводить анализ защищенности АСУ ТП ГДП с целью дальнейшего устранения диагностированных (выявленных) уязвимостей. Также комплекс предоставляет возможность смоделировать потенциальные уязвимости еще до начала внедрения какого-либо оборудования или ПО на предприятиях.

Библиографический список

1. Аникин И. В. Обеспечение информационной безопасности корпоративных информационных сетей через оценку и управление рисками / И. В. Аникин, Л. Ю. Емалетдинова, А. П. Кирпичников // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 7. – С. 247–250
2. Аннушкин С. Л. О достижениях, сложностях и перспективах импортозамещения компонентной базы для отечественных промышленных автоматизированных систем управления (АСУ) / С. Л. Аннушкин // Информационные ресурсы России. – 2015. – № 6. – С. 15–19.
3. Блинков Ю. В. Основы автоматизации управления процессами и объектами : учебное пособие / Ю. В. Блинков. – Пенза : ПГУАС, 2009. – 172 с.
4. Брумштейн Ю. М. Анализ некоторых моделей группового управления рисками / Ю. М. Брумштейн, О. Н. Выборнова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 64–72.
5. Дабагов А. Р. О проблемах безопасности в контексте открытой системной архитектуры / А. Р. Дабагов, С. А. Соколов // Радиолокация и радиосвязь : III Всероссийская конференция. – 2009. – С. 696–702.
6. Домуховский Н. Архитектура и основные компоненты АСУ ТП с точки зрения информационной безопасности. – Режим доступа: <https://www.uscc.ru/events/zapisi-vebinarov/seriya-vebinarov-ib-asu-tp-non-stop/seriya-1-arkhitektura-i-osnovnye-komponenty-asu-tp-s-tochki-zreniya-informatsionnoy-bezopasnosti/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 26.08.2019).
7. Захаров А. А. Анализ информационной безопасности автоматизированных систем управления техническими процессами газодобывающего предприятия / А. А. Захаров, А. С. Римша, А. М. Харченко, И. Р. Зулькарнеев // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2017. – № 3 (25). – С. 24–33.
8. Мальнев А. Защита АСУ ТП: от теории к практике. – Режим доступа: <http://itsec.ru/articles2/Oborandteh/zaschita-asu-tp-ot-teorii-k-praktike>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 26.08.2019).
9. Римша А. С. Об одном подходе к формированию перечня мер по защите информации в беспроводных сенсорных сетях газодобывающего предприятия / А. С. Римша, А. Н. Югансон, К. С. Римша // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2018. – № 2 (28). – С. 60–70.
10. 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. Ажмухаедов, О. М. Князева, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 2. – С. 82–97.
11. Финогеев А. Г. Анализ и классификация атак через беспроводные сенсорные сети в SCADA системах / А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, Е. А. Финогеев, В. Т. Куанг, П. В. Ботвинкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1. – С. 12–23.
12. Aguirre I. Improving the automation of security information management: A collaborative approach / I. Aguirre, S. Alonso // IEEE Security & Privacy. – 2011. – № 10 (1). – P. 55–59.
13. Colombo A. W. Towards the next generation of industrial cyber-physical systems / A. W. Colombo, K. Stamatis, B. Thomas // Industrial cloud-based cyber-physical systems. – Springer, Cham., 2014. – P. 1–22.
14. Coppolino L. Enhancing SIEM technology to protect critical infrastructures / L. Coppolino, S. D'Antonio, V. Formicola, L. Romano // Critical Information Infrastructures Security. – Berlin : Springer, 2013. – P. 10–21.
15. Myagmar S. Threat modeling as a basis for security requirements / S. Myagmar, A. J. Lee, W. Yurcik // Symposium on requirements engineering for information security (SREIS). – 2005. – P. 1–8.
16. Nilsson J. Vulnerability scanners / J. Nilsson, V. Virta // Master of Science Thesis at Department of Computer and Systems Sciences, Royal Institute of Technology. – Kista, Sweden, 2006. – P. 1–70.
17. Okhravi H. Data Diodes in Support of Trustworthy Cyber Infrastructure and Net-Centric Cyber Decision Support / H. Okhravi, F.T. Sheldon, J. Haines // Optimization and Security Challenges in Smart Power Grids. – 2013. – P. 203–216.
18. Oman P. Intrusion detection and event monitoring in SCADA networks / P. Oman, M. Phillips // International Conference on Critical Infrastructure Protection. – Boston : Springer, 2007. – P. 161–173.
19. Parry J. A network forensics tool for precise data packet capture and replay in cyber-physical systems / J. Parry, D. Hunter, K. Radke, C. Fidge // Proceedings of the Australasian Computer Science Week Multiconference. – 2016. – № 22. – P. 1–10.
20. Paté-Cornell M. E. Cyber Risk management for critical infrastructure: a risk analysis model and three case studies / M. E. Paté-Cornell, M. Kuypers, M. Smith, P. Keller // Risk Analysis. – 2017. – Vol. 38, № 2. – P. 226–241.
21. Rimsha A. S. Method for Risk Assessment of Industrial Networks' Information Security of Gas Producing Enterprise / A. S. Rimsha, A. A. Zakharov // 2018 Global Smart Industry Conference (GloSIC). – Chelyabinsk, 2018. – P. 1–5.

22. Saini V. Threat modeling using attack trees / V. Saini, Q. Duan, V. Paruchuri // *Journal of Computing Sciences in Colleges*. – 2008. – Vol. 23, № 4. – P. 124–131.
23. Samtani S. Identifying SCADA vulnerabilities using passive and active vulnerability assessment techniques / S. Samtani, S. Yu, H. Zhu, M. Patton, H. Chen // *IEEE Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI)*. – 2016. – P. 25–30.
24. Yang Y. On lightweight security enforcement in cyber-physical systems / Y. Yang, J. Lu, K. K. R. Choo, J. K. Liu // *Lightweight Cryptography for Security and Privacy*. – Springer, Cham., 2015. – P. 97–112.
25. Zegzhda D. P. Approach to APCS protection from cyber threats / D. P. Zegzhda, T. V. Stepanova // *Automatic Control and Computer Sciences*. – 2015. – № 49 (8). – P. 659–664.

References

1. Anikin I. V., Emaletdinova L. Yu., Kirpichnikov A. P. Obespechenie informatsionnoy bezopasnosti korporativnykh informatsionnykh setey cherez otsenku i upravlenie riskami [Ensuring information security of corporate information networks through risk assessment and management]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Issues of University of Technology], 2015, vol. 18, no. 7, pp. 247–250.
2. Annushkin S. L. O dostizheniyakh, slozhnostyakh i perspektivakh importozameshcheniya komponent-noy bazy dlya otechestvennykh promyshlennykh avtomatizirovannykh sistem upravleniya (ASU) [About achievements, difficulties and perspectives of import substitution in the field of the component base for Russian industrial automatic control systems (ACS)]. *Informatsionnye resursy Rossii* [Information resources of Russia], 2015, no. 6, pp. 15–19.
3. Blinkov Yu. V. *Osnovy avtomatizatsii upravleniya protsessami i obektami* [Fundamentals of automa-tion of process and object management]. Penza, 2009, 172 p.
4. Brumshteyn Yu. M., Vybornova O. N. Analiz nekotorykh modeley gruppovogo upravleniya riskami [Analysis of some models for group risk management]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 64–72.
5. Dabagov A. R., Sokolov S. A. O problemakh bezopasnosti v kontekste otkrytoy sistemnoy arkhitektury [About security issues in the context of an open system architecture]. *Radiolokatsiya i radiosvyaz : III Vse-rossiyskaya konferentsiya* [Radiolocation and Radio Communication : The Third All-Russian Conference], 2009, pp. 696–702.
6. Domukhovskiy N. Arkhitektura i osnovnye komponenty ASU TP s tochki zreniya informatsionnoy bezopasnosti [Architecture and main components of industrial control system in terms of information security]. Available at: <https://www.usse.ru/events/zapisi-vebinarov/seriya-vebinarov-ib-asu-tp-non-stop/seriya-1-arkhitektura-i-osnovnye-komponenty-asu-tp-s-tochki-zreniya-informatsionnoy-bezopasnosti/> (accessed 26.08.2019).
7. Zakharov A. A., Rimsha A. S., Kharchenko A. M., Zulkarneev I. R. Analiz informatsionnoy bezopas-nosti avtomatizirovannykh sistem upravleniya tekhnicheskimi protsessami gazodobyvayushchego predpriyatiya [Analysis of Information Security of Automated Control Systems for Technical Processes of a Gas Producing Enterprise]. *Vestnik UrFO. Bezopasnost v informatsionnoy sfere* [Bulletin of the Ural Federal District. Infor-mation Security], 2017, no. 3 (25), pp. 24–33.
8. Malnev A. Zashchita ASU TP: ot teorii k praktike [Protection of industrial control systems: from theo-ry to practice]. Available at: <http://itsec.ru/articles2/Oborandteh/zashchita-asu-tp-ot-teorii-k-praktike> (accessed 26.08.2019).
9. Rimsha A. S., Yuganson A. N., Rimsha K. S. Ob odnom podkhode k formirovaniyu perechnya mer po zashchite informatsii v besprovodnykh sensorykh setyakh gazodobyvayushchego predpriyatiya [On One Ap-proach to the Formation of a List of Measures to Protect Information in Wireless Sensor Networks of a Gas Pro-ducing Enterprise]. *Vestnik UrFO. Bezopasnost v informatsionnoy sfere* [Bulletin of the Ural Federal District. Information Security], 2018, no. 2 (28), pp. 60–70.
10. Uchaev D. Yu., Brumshteyn Yu. M., Azhmukhamedov I. M., Knyazeva O. M., Dyudikov I. A. Analiz i upravlenie riskami, svyazannymi s informatsionnym obespecheniem cheloveko-mashinnykh ASU tekhnolog-icheskimi protsessami v realnom vremeni [Analysis and management of risks, concerned with information sup-port of human-machine automated control systems, operating in real time]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 2, pp. 82–97.
11. Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev Y. A., Kuang V. T., Botvinkin P. V. Analiz i klassifikatsiya atak cherez besprovodnye sensorynye seti v SCADA sistemakh [Analysis and classification of attacks via wireless sensor networks in SCADA systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 1, pp. 12–23.
12. Aguirre I., Alonso S. Improving the automation of security information management: A collaborative approach. *IEEE Security & Privacy*, 2011, no. 10 (1), pp. 55–59.
13. Colombo A. W., Stamatis K., Thomas B. Towards the next generation of industrial cyber-physical sys-tems. *Industrial cloud-based cyber-physical systems*. Springer, Cham, 2014, pp. 1–22.
14. Coppolino L., D'Antonio S., Formicola V., Romano L. Enhancing SIEM technology to protect critical infrastructures. *Critical Information Infrastructures Security*. Berlin, Springer, 2013, pp. 10–21.
15. Myagmar S., Lee A. J., Yurcik W. Threat modeling as a basis for security requirements. *Symposium on requirements engineering for information security (SREIS)*, 2005, pp. 1–8.
16. Nilsson J., Virta V. Vulnerability scanners. *Master of Science Thesis at Department of Computer and Systems Sciences, Royal Institute of Technology*. Kista, Sweden, 2006, pp. 1–70.

17. Okhravi H., Sheldon F. T., Haines J. Data Diodes in Support of Trustworthy Cyber Infrastructure and Net-Centric Cyber Decision Support. *Optimization and Security Challenges in Smart Power Grids*, 2013, pp. 203–216.
18. Oman P., Phillips M. Intrusion detection and event monitoring in SCADA networks. *International Conference on Critical Infrastructure Protection*. Boston, Springer, 2007, pp. 161–173.
19. Parry J., Hunter D., Radke K., Fidge C. A network forensics tool for precise data packet capture and replay in cyber-physical systems. *Proceedings of the Australasian Computer Science Week Multiconference*, 2016, no. 22, pp. 1–10.
20. Paté-Cornell M. E., Kuypers M., Smith M., Keller P. Cyber Risk management for critical infrastructure: a risk analysis model and three case studies. *Risk Analysis*, 2017, vol. 38, no. 2, pp. 226–241.
21. Rimsha A. S., Zakharov A. A. Method for Risk Assessment of Industrial Networks' Information Security of Gas Producing Enterprise. *Global Smart Industry Conference (GloSIC)*. Chelyabinsk, 2018, pp. 1–5.
22. Saini V., Duan Q., Paruchuri V. Threat modeling using attack trees. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 2008, vol. 23, no. 4, pp. 124–131.
23. Samtani S., Yu S., Zhu H., Patton M., Chen H. Identifying SCADA vulnerabilities using passive and active vulnerability assessment techniques. *IEEE Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI)*, 2016, pp. 25–30.
24. Yang Y., Lu J., Choo K. K. R., Liu J. K. On lightweight security enforcement in cyber-physical systems. *Lightweight Cryptography for Security and Privacy*, Springer, Cham, 2015, pp. 97–112.
25. Zegzhda D. P., Stepanova T. V. Approach to APCS protection from cyber threats. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2015, no. 49 (8), pp. 659–664.

УДК 004.056.53

КОНЦЕПЦИЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В ОТКРЫТОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ МАССОВЫХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ DigitalPsyTools.ru¹

Статья поступила в редакцию 30.08.2019, в окончательном варианте – 02.09.2019.

Пушкин Павел Юрьевич, МИРЭА – Российский технологический университет, 119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, 78, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и моделирование систем», e-mail: is-irk@mail.ru

Никульчев Евгений Витальевич, МИРЭА – Российский технологический университет, 119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, 78, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и моделирование систем», <http://orcid.org/0000-0003-1254-9132>, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=396636, e-mail: nikulchev@mail.ru

Малых Сергей Борисович, Психологический институт Российской академии образования, 125009, Российская Федерация, г. Москва, ул. Моховая, 9, стр. 4,

академик РАО, доктор психологических наук, профессор, заведующий лабораторией возрастной психогенетики, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=71885, e-mail: malykhsb@mail.ru

Обеспечение защиты прав и свобод граждан при обработке их персональных и обезличенных данных в цифровых платформах и информационных системах при организации и проведении массовых психологических исследований является важнейшей задачей организаторов проведения таких исследований. Проведение массовых психологических исследований имеет свои специфические особенности, которые определяются их целями и задачами. В статье сформирован концептуальный подход к проблеме защиты персональных и обезличенных данных при проведении массовых психологических исследований с использованием психологической платформы, разработаны основные положения определяющие политику оператора психологической платформы в отношении обработки персональных и обезличенных данных, определены совместные меры по обеспечению безопасности обрабатываемых данных для участвующих в организации и проведении психологических исследований сторон.

Ключевые слова: цифровая платформа, психологическая платформа, массовые психологические исследования, персональные данные, обезличенные данные, защита информации

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект 25.13253.2018/12.1 «Разработка технологической концепции Дата-центра междисциплинарных исследований в образовании».

DATA PROTECTION CONCEPT IN OPEN DIGITAL PLATFORM FOR MASS PSYCHOLOGICAL RESEARCH DigitalPsyTools.ru

The article was received by editorial board on 30.08.2019, in the final version – 02.09.2019.

Pushkin Pavel U., MIREA – Russian Technological University, 78 Vernadskiy Ave., Moscow, Russian Federation, 119454,

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

Nikulchev Evgeny V., MIREA – Russian Technological University, 78 Vernadskiy Ave., Moscow, Russian Federation, 119454,

Doct. Sci. (Engineering), 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,

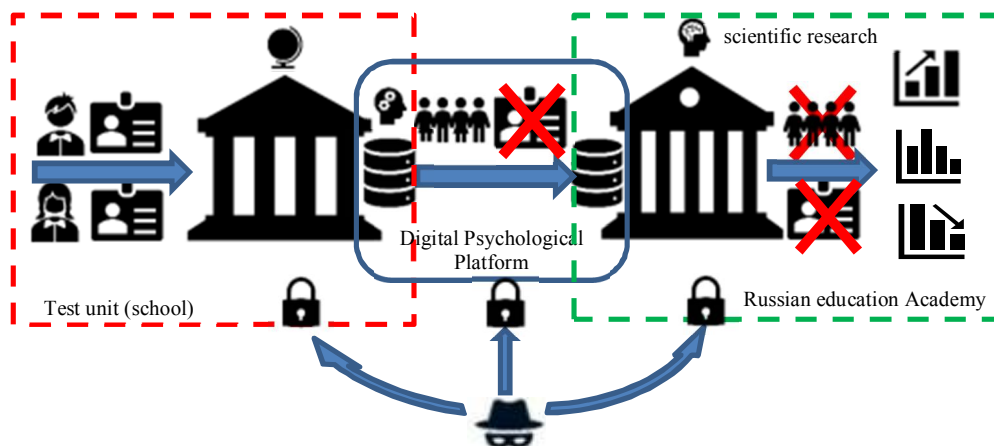
Malykh Serhey B., Psychological Institute of the Russian Academy of Education, 9-4 Mokhovaya St., Moscow, Russian Federation, 125009,

Academician of the Russian Academy of Education, Doct. Sci. (Psychology), Professor, Head of the Laboratory of Age-related Psychogenetics, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=71885, malykhsb@mail.ru

Protecting the rights and freedoms of individuals in the processing their personal and anonymized data in digital platforms and information systems when organizing and conducting mass psychological research is the major priority of such studies organizers. Mass psychological research has its own specific features, which are determined by their aims and tasks. The article forms a conceptual approach to the problem of protecting personal and impersonal data during mass psychological research using a psychological platform, develops the main provisions that determine the policy of the operator of the psychological platform regarding the processing of personal and impersonal data, defines joint measures to ensure the security of processed data for those participating in the organization and conducting psychological research on the parties.

Keywords: digital platform, psychological platform, mass psychological research, personal data, anonymized data, information protection

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. С повышением уровня цифровизации общества доступность проведения массовых, в том числе психологических, исследований позволяет оперативно получать и обрабатывать большие объемы информации, открывая новые возможности для получения научных результатов [10, 11]. Вместе с тем новые возможности не должны нарушать права и свободы граждан, установленные законодательством Российской Федерации. Обеспечение защиты прав и свобод граждан при обработке их персональных и обезличенных данных в цифровых платформах и информационных системах при организации и проведении массовых психологических исследований является важнейшей задачей организаторов проведения таких исследований [1]. При этом задачи обеспечения конфиденциальности и безопасности такой информации должны ставиться и решаться одновременно с задачами проведения тестирования, так как обработка информации ограниченного доступа возможна только после реализации установленных законодательством мер по ее защите.

Проведение массовых психологических исследований имеет свои специфические особенности, связанные с обеспечением конфиденциальности, целостности и доступности сведе-

ний о респондентах и результатах таких исследований. К таким особенностям можно отнести широкий охват различных категорий респондентов и организаций, необходимость выстраивания между ними необходимых коммуникаций и каналов связи, использование обезличенных статистических данных и необходимость выстраивания индивидуальных траекторий результатов исследований, определение необходимых и достаточных категорий и объемов данных исследований, не противоречащих требованиям законодательства.

Для проведения психологических исследований широко используется ряд платформ и сервисов зарубежных разработчиков, например, PsychoPy, OpenSesame, PEBL (Psychology Experiment Building Language). Особенности их использования и применения описаны соответственно в [12, 13, 16]. Однако в указанных источниках и на официальных сайтах платформ не описаны вопросы обеспечения безопасности респондентов и полученных данных при подготовке и проведении исследований, тем более отвечающие нормам российского законодательства в указанной сфере. В настоящий момент времени в Российской академии образования создается единая платформа, обеспечивающая возможность проведения психологических исследований в России, отвечающая в том числе требованиям безопасности информации. Вопросы создания открытой цифровой платформы массовых психологических исследований (DigitalPsyTools.ru) (далее – психологическая платформа) подробно описаны в работах [14, 15].

В данной статье предложен концептуальный подход к организации защиты персональных и обезличенных данных при проведении массовых психологических исследований учащихся образовательных учреждений на основе психологической платформы, обеспечивающий выполнение требований законодательства Российской Федерации в области защиты персональных данных.

Постановка задачи. Цифровая психологическая платформа, разработанная Российской академией образования, сконструирована как постоянно развивающаяся информационная среда с набором инструментов для осуществления психологических исследований всех уровней [14, 15]. Для проведения пилотного тестирования психологической платформы предполагается использовать данные респондентов – несовершеннолетних, обучающихся в средних образовательных учреждениях. Результаты тестирования должны быть детализированы до уровня учебного подразделения (класса, учебной группы) с перспективой полной идентификации субъекта персональных данных. Использование сертифицированных средств криптографической защиты информации для организации каналов связи между программным интерфейсом пользователя – респондента и серверной частью психологической платформы не предполагается. Тестирование происходит в помещениях учебного заведения. Идентификаторы и пароли для доступа к тестированию в психологической платформе генерируются оператором психологической платформы.

Определение условий и принципов обработки персональных данных при организации психологических исследований. Обработка персональных данных должна осуществляться только в строго определенных Федеральным законом от 27.07.2006 № 152 «О персональных данных» (далее – Федеральный закон) случаях. Одним из основополагающих принципов обработки персональных данных является наличие согласия субъекта на такую обработку [1]. Ввиду наличия среди возможных респондентов несовершеннолетних граждан, такое согласие должен дать за них законный представитель [7], полномочия которого должны быть проверены оператором психологической платформы, что при организации удаленного автоматизированного тестирования выполнить затруднительно.

Вместе с тем в соответствии с пп. 9 п. 1 ст. 6 Федерального закона обработка персональных данных допускается в статистических или иных исследовательских целях при условии обязательного обезличивания персональных данных, наличие обязательного согласия в таком случае не требуется.

Таким образом, для обеспечения законности обработки данных в психологической платформе решено использовать обезличенные данные респондентов, при этом обрабатывать эти данные исключительно в статистических и исследовательских целях, что соответствует заявленным целям создания психологической платформы [14, 15].

При составлении тестов в психологической платформе также не используются вопросы, касающиеся расовой, национальной принадлежности, политических взглядов, религиозных или философских убеждений, состояния здоровья, интимной жизни.

Определение объема и содержания персональных и обезличенных данных. При организации и проведении тестирования оператор психологической платформы и учебное заведение совместно осуществляют сбор и обработку следующих персональных данных респондентов:

- фамилия, имя, отчество;
- присвоенный идентификатор физического лица и соответствующий ему пароль;
- дата рождения;
- регион проживания;
- номер (идентификатор/реквизиты) образовательного учреждения;
- номер класса/учебной группы;
- результаты исследований.

Такой объем персональных данных не отвечает требованиям к анонимности обучающихся, проходящих тестирование. Вместе с тем для проведения психологических исследований важно соотносить результаты проведенных исследований с результатами последующих исследований. Для решения этой задачи предлагается использовать совместное хранение сведений о респонденте, одновременно исключающее возможное деобезличивание персональных данных и результатов исследования при реализации угроз безопасности в отношении одной из сторон, участвующих в организации и проведении тестирования (табл.).

Таблица – Организация совместного хранения данных о респондентах

Персональные данные	Хранение данных	
	Образовательное учреждение	Оператор психологической платформы
Фамилия, имя, отчество	+	–
Присвоенный идентификатор физического лица и соответствующий ему пароль	+	+
Дата рождения	+	+
Регион проживания	+	+
Номер (идентификатор/реквизиты) образовательного учреждения	+	+
Номер класса/учебной группы	+	+
Результаты исследований	–	+

Особенности обезличивания и совместной обработки персональных данных в психологической платформе. Использование раздельного хранения сведений о респонденте позволяет выполнить требования к их обезличиванию. Обезличивание персональных данных осуществляется с использованием метода введения идентификаторов в соответствии с Требованиями и методами по обезличиванию персональных данных, обрабатываемых в информационных системах персональных данных, в том числе созданных и функционирующих в рамках реализации федеральных целевых программ, утвержденными приказом Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций от 5 сентября 2013 № 996 [4] и соответствующими методическими рекомендациями [6]. Используемый метод обезличивания персональных данных обеспечивает достаточный уровень анонимности физических лиц при условии исполнения всеми сторонами, участвующими в организации и проведении тестирования, требований законодательства Российской Федерации. Стойкость применяемого метода обезличивания к атакам на идентификацию субъекта персональных данных обеспечивается, в том числе, организацией раздельного хранения сведений о соответствии идентификаторов физическим лицам и обезличенных данных. Эффективность метода обезличивания данных с использованием идентификаторов подтверждается в исследованиях [9].

Перед организацией тестирования между учебными заведениями (их учредителями) и оператором психологической платформы заключается соответствующее соглашение, определяющее цели, порядок взаимодействия, права и обязанности сторон, в том числе по защите персональных и обезличенных данных и их использованию.

Организационную структуру ввода данных в психологическую (цифровую) платформу массовых психологических исследований можно представить в следующем виде (рис.).

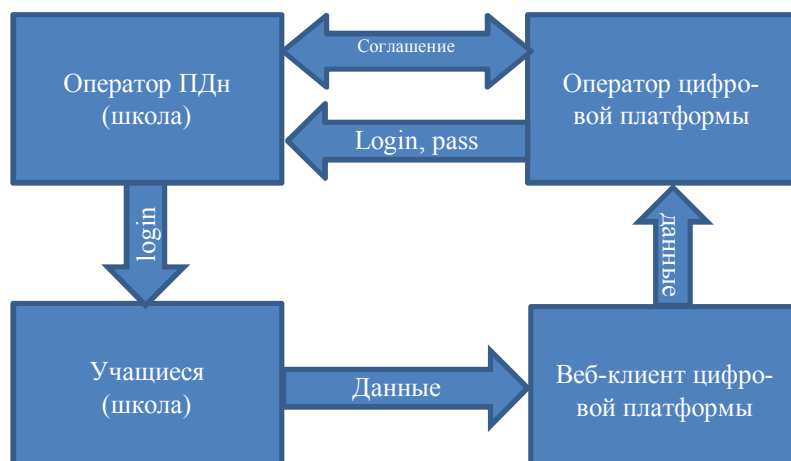


Рисунок — Организационная структура ввода данных в психологическую платформу

Процесс введения и обработки данных в психологической платформе разделен на два этапа: этап присвоения и передачи идентификаторов и паролей субъектам исследования и этап ввода и обработки данных. Разделение процесса введения и обработки данных в цифровой платформе на два этапа исключает передачу оператору психологической платформы персональных данных учащихся в объеме, позволяющем однозначно идентифицировать субъекта персональных данных.

Идентификаторы и пароли для доступа в психологическую платформу формируются оператором и передаются в учебное заведение, в котором организуется проведение тестирования обучающихся. Должностные лица учебного заведения организуют выдачу идентификаторов и паролей обучающимся для проведения тестирования, разъясняют необходимость соблюдения конфиденциальности полученных идентификаторов и паролей для доступа к психологической платформе. Сведения о выданных идентификаторах и паролях, об их соответствии физическим лицам хранятся в соответствии с принятыми в учебном заведении правилами обработки и защиты персональных данных. Данные сведения не передаются оператору цифровой платформы. Обучающиеся обязаны соблюдать конфиденциальность идентификаторов и паролей для доступа в цифровую платформу.

Результаты тестирования конкретных физических лиц не передаются в учебное заведение за исключением случаев, предусмотренных законодательством.

Доступ к обезличенным данным, обрабатываемым в психологической платформе, имеют работники оператора, перечень должностей которых определяется оператором. Доступ третьих лиц к обезличенным данным, обрабатываемым в психологической платформе, осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Обработка персональных и обезличенных данных при организации психологических исследований. Обработка персональных и обезличенных данных обучающихся ограничивается достижением конкретных, заранее определенных и законных целей исследования, установленных в подписанных сторонами соглашениях об организации и проведении тестирования.

Обработка персональных данных в психологической платформе осуществляется в статистических и исследовательских целях только в обезличенной форме. Оператором психологической платформы, иными операторами, участвующими в организации и проведении тестирования, не допускается объединение баз данных, содержащих персональные и обезличенные данные физических лиц, обработка которых осуществляется в целях, несовместимых между собой, а также объединение таких баз данных с таблицами соответствия идентификаторов исходным данным физических лиц.

Содержание и объем обрабатываемых персональных и обезличенных данных обучающихся должен соответствовать заявленным целям обработки.

Хранение и обработка обезличенных данных в психологической платформе обеспечивается с использованием баз данных, находящихся на территории Российской Федерации, что обеспечивает установленные законодательством требования.

Доступ к психологической платформе для проведения тестирования осуществляется через веб-сервис (программный интерфейс), запускаемый через интернет-браузер на компьютере учебного заведения. Тестирование проходит в онлайн- или оффлайн-режиме. Передача результатов тестирования с введенными физическим лицом данными в цифровую платформу осуществляется с использованием защищенного протокола передачи данных (ssl-протокола). Ввиду обработки только обезличенных данных применение сертифицированных средств криптографической информации для организации защищенных каналов связи между программными интерфейсами и серверной частью психологической платформы не является обязательным.

В психологической платформе для проведения пилотного тестирования реализован следующий технологический процесс обработки данных: «Введение пользователем присвоенного идентификатора и пароля, даты рождения, региона проживания, номера учебного заведения и класса / Прохождение тестирования / Передача результатов тестирования с введенными пользователем данными в информационную систему с использованием защищенного протокола / Обработка данных в цифровой платформе / Представление данных / Хранение данных».

В связи с обработкой оператором психологической платформы обезличенных данных, отсутствием сведений о сопоставлении идентификационной информации и физического лица (обучающегося), право субъекта персональных данных (его законного представителя) на доступ к его персональным данным, в соответствии со статьей 14 Федерального закона, реализации в полном объеме не подлежит. Сведения, указанные в части 7 статьи 14 Федерального закона, частично представлены в документах оператора психологической платформы, подлежащих обязательному опубликованию или размещению в соответствии с законодательством Российской Федерации. Обращения и запросы физических лиц (их законных представителей) на получение сведений, указанных в части 7 статьи 14 Федерального закона, направленные и оформленные в соответствии с частью 3 указанной статьи, оператором цифровой платформы не принимаются, ответы не направляются. Полученные запросы уничтожаются.

Передача персональных данных тестируемого, сведений о присвоенных ему идентификаторах и паролях, хранящихся в образовательных учреждениях, третьей стороне возможна только с письменного согласия физического лица или его законного представителя, а также в случаях, установленных законодательством Российской Федерации. Трансграничная передача персональных данных физического лица, сведений о присвоенных ему идентификаторах и паролях не осуществляется. Вместе с тем трансграничная передача результатов статистической обработки и исследований обезличенных данных осуществляется без ограничений, если такая передача (предоставление, распространение) информации не ограничена законодательством Российской Федерации.

Защита персональных и обезличенных данных. Защита персональных и обезличенных данных обучающихся от их неправомерного использования или утраты обеспечивается согласованными правовыми, организационными и техническими мерами, реализуемыми оператором психологической платформы и образовательными учреждениями, участвующими в проведении тестирования своих обучающихся. При этом образовательные учреждения обеспечивают конфиденциальность персональных данных, идентификационной и парольной информации своих обучающихся. Оператор психологической платформы обеспечивает требуемый уровень защищенности цифровой платформы, обрабатывающей обезличенные персональные данные, а также соблюдение законодательства Российской Федерации по распространению и предоставлению таких данных.

Защите подлежат:

- обезличенные данные физических лиц, содержащиеся в базах данных психологической платформы оператора;
- материальные носители, содержащие обезличенные данные физических лиц;
- технические средства цифровой платформы, размещенные в помещениях оператора;
- каналы передачи данных;
- помещения, в которых размещаются элементы психологической платформы оператора;
- идентификационная и парольная информация, а также сведения об их соответствии данным физических лиц (таблица идентификаторов).

Защита обрабатываемых в психологической платформе данных осуществляется в рамках созданной оператором системы защиты персональных данных.

Хранение конфиденциальной информации об идентификаторах и паролях, их соответствии физическим лицам осуществляется образовательными учреждениями, участвующими в проведении тестирования, в соответствии с законодательством о персональных данных и архивном деле, не дольше, чем это требуют цели ее обработки. Сроки хранения указанной в настоящем пункте конфиденциальной информации не могут превышать сроки обучения физического лица в учебном заведении. По истечении сроков хранения указанной выше конфиденциальной информации данные сведения передаются в архив, что позволит обеспечить при необходимости деобезличивание данных.

При передаче конфиденциальной идентификационной, парольной, иной информации образовательному учреждению либо за пределы установленной контролируемой зоны психологической платформы используется безопасный канал передачи. Допускается передача указанной конфиденциальной информации почтовыми, курьерскими службами с соблюдением условия конфиденциальности передаваемой информации в рамках действующего законодательства. Факт передачи конфиденциальной информации должен быть задокументирован.

В связи с организацией взаимной обработки персональных и обезличенных данных о всех выявленных инцидентах безопасности оператор психологической платформы и образовательные учреждения сообщают друг другу в максимально короткий срок через установленных контактных лиц уведомление для разработки совместных мер по нейтрализации возможных угроз безопасности информации.

Оператор психологической платформы не запрашивает идентификационную и парольную информацию у физических лиц и образовательных учреждений.

Организация обеспечения безопасности обезличенных данных в цифровой платформе должна соответствовать требованиям законодательства в сфере персональных данных. Этот подход находит поддержку и в других работах, посвященных вопросам обезличивания персональных данных, например в [8].

Основные мероприятия по защите персональных и обезличенных данных в психологической платформе определяются в соответствии с требованиями [1, 2, 3, 5]:

- определение уровня защищенности психологической платформы;
- назначение должностных лиц, ответственных за обеспечение безопасности обезличенных данных в психологической платформе;
- установление границ контролируемой зоны на объектах оператора, в которых размещены элементы психологической платформы;
- определение актуальных угроз безопасности информации при ее обработке в психологической платформе;
- применение организационных и технических мер по обеспечению безопасности обрабатываемой в психологической платформе информации, необходимых для выполнения установленных требований к защите обезличенных данных;
- применение прошедших в установленном порядке процедуру оценки соответствия средств защиты информации в случаях, когда применение таких средств необходимо для нейтрализации актуальных угроз безопасности информации;
- оценка эффективности принимаемых мер по обеспечению безопасности обрабатываемых в психологической платформе данных;
- учет съемных носителей информации, использующихся в психологической платформе;
- обнаружение фактов несанкционированного доступа к обезличенным данным и принятие соответствующих мер;
- восстановление обезличенных данных, модифицированных или уничтоженных вследствие несанкционированного доступа к ним;
- установление правил доступа к информации, обрабатываемой в психологической платформе;
- организация регистрации и учета всех действий, совершаемых с обезличенными данными в психологической платформе;
- контроль за принимаемыми мерами по обеспечению безопасности обезличенных данных и уровня защищенности психологической платформы.

Права и обязанности оператора психологической платформы и учащихся образовательных учреждений при организации исследований. Ввиду особенностей обрабатываемых данных, в том числе их обезличивания, выполнение обязанностей оператора и реализация прав субъектов персональных данных, предусмотренных Федеральным законом, не могут быть

реализованы в полном объеме. Учитывая вышеизложенное, оператор психологической платформы обязан:

- принимать необходимые и достаточные меры по защите персональных и обезличенных данных физических лиц, необходимых для достижения установленных целей обработки данных;
- использовать полученные данные только в целях и на условиях определенными целями исследования;
- информировать физических лиц о целях и условиях обработки предоставляемых ими данных, о месте нахождения оператора и баз данных психологической платформы, об используемом методе обезличивания персональных данных, о сроках обработки персональных и обезличенных данных, об осуществленной или предполагаемой трансграничной передаче персональных и обезличенных данных путем размещения указанной информации в программном интерфейсе психологической платформы и на официальном сайте оператора.

С учетом целей исследования, обрабатываемых данных, оператор психологической платформы вправе:

- не вносить в обезличенные данные физических лиц изменения, не уничтожать и не блокировать обезличенные данные по запросам физических лиц (их законных представителей), в том числе в случае ошибочных действий при проведении тестирования, если такие действия не противоречат установленным целям обработки и не влияют на результат исследований;
- требовать от образовательных учреждений соблюдения конфиденциальности передаваемой им идентификационной и парольной информации.

Учащиеся образовательных учреждений в целях обеспечения достоверности и защиты вводимых в психологическую платформу данных обязаны:

- не разглашать персональную идентификационную и парольную информацию;
- вносить достоверные сведения при прохождении тестирования;
- выполнять требования и рекомендации должностных лиц образовательного учреждения при подготовке и проведении тестирования.

Учащийся имеет право на:

- получение сведений о целях и условиях обработки предоставляемых им данных, о месте нахождения оператора и баз данных психологической платформы, об используемом методе обезличивания персональных данных, о сроках обработки персональных и обезличенных данных, об осуществленной или предполагаемой трансграничной передаче персональных и обезличенных данных;
- отказ от прохождения тестирования в психологической платформе;
- защиту своих прав и законных интересов, если они будут нарушены при организации и проведении тестирования для достижения установленных целей исследования.

Лица, виновные в нарушении норм и положений, установленных действующим законодательством, оператором психологической платформы и образовательными учреждениями, регулирующих получение, обработку и защиту персональных и обезличенных данных физических лиц, несут дисциплинарную, административную, гражданскую, уголовную или иную ответственность в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

Заключение. Таким образом, в статье сформирован концептуальный подход к проблеме защиты персональных и обезличенных данных при проведении массовых психологических исследований с использованием психологической платформы, разработаны основные положения, определяющие политику оператора психологической платформы в отношении обработки персональных и обезличенных данных с учетом требований Федерального закона, определены совместные меры по обеспечению безопасности обрабатываемых данных для участвующих в организации и проведении психологических исследований сторон.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных». – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody&nd=102108261>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.09.2019).
2. Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных». – Режим доступа: https://minjust.ru/sites/default/files/post_pravitelstva_ot_01.11.2012_no_1119_0.docx, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.09.2019).
3. Постановление Правительства РФ от 21.03.2012 № 211 (ред. от 15.04.2019) «Об утверждении перечня мер, направленных на обеспечение выполнения обязанностей, предусмотренных Федеральным

законом «О персональных данных» и принятыми в соответствии с ним нормативными правовыми актами, операторами, являющимися государственными или муниципальными органами». – Режим доступа: https://minjust.ru/sites/default/files/post.pravitelstva_ot_21.03.2012_no_211_0.docx, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.09.2019).

4. Приказ Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций от 05.09.2013 № 996 «Об утверждении требований и методов по обезличиванию персональных данных». – Режим доступа: https://minjust.ru/sites/default/files/prikaz_roskomnadzora_ot_05.09.2013_no_996_0.docx, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.09.2019).

5. Приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных». – Режим доступа: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/691>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.09.2019).

6. Методические рекомендации по применению приказа Роскомнадзора от 05.09.2013 № 996 «Об утверждении требований и методов по обезличиванию персональных данных», утверждены 13.12.2013 руководителем службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420281168>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.09.2019).

7. Федеральный закон «О персональных данных»: научно-практический комментарий / под редакцией заместителя руководителя Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций А. А. Приезжевой. – Москва : Редакция «Российской газеты», 2015. – Вып. 11. – 176 с.

8. Антошечкин А. В. Анализ возможностей применения биометрических технологий для реализации процедур обезличивания персональных данных / А. В. Антошечкин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 1. – С. 27–36.

9. Мищенко Е. Ю. Количественный анализ процедуры обезличивания персональных данных. Метод введения идентификаторов / Е. Ю. Мищенко, А. Н. Соколов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2015. – № 15. – С. 18–25.

10. Нестик Т. А. Развитие цифровых технологий и будущее психологии / Т. А. Нестик // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Психологические науки. – 2017. – № 3. – С. 6–15.

11. Юревич А. В. Цифровая революция и будущее психологии: к прогнозу развития психологической науки и практики / А. В. Юревич, А. Л. Журавлёв, Т. А. Нестик // Фундаментальные и прикладные исследования современной психологии: результаты и перспективы развития. – Москва : Институт психологии РАН, 2017. – С. 2091–2100.

12. Mathôt S. OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences / S. Mathôt, D. Schreij, J. Theeuwes // Behavior research methods. – 2012. – Vol. 44, № 2. – P. 314–324.

13. Mueller S. T. The psychology experiment building language (PEBL) and PEBL test battery / S. T. Mueller, B. J. Piper // Journal of neuroscience methods. – 2014. – Vol. 222. – P. 250–259.

14. Nikulchev E. Development of a Common Format of Questionnaire Tests for a Web-based Platform of Population and Experimental Psychological Research / E. Nikulchev, D. Ilin, P. Kolyasnikov, V. Ismatullina, I. Zakharov // ITM Web of Conferences. – 2018. – Vol. 18. – P. 04004.

15. Nikulchev E. Programming technologies for the development of web-based platform for digital psychological tools / E. Nikulchev, D. Ilin, P. Kolyasnikov, V. Belov, I. Zakharov, S. Malykh // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2018. – Vol. 9, № 8. – P. 34–45.

16. Peirce J. Building Experiments in PsychoPy / J. Peirce, M. MacAskill. – SAGE, 2018.

References

1. *Federalnyy zakon ot 27.07.2006 № 152-FZ “O personalnykh dannykh”* [Federal Law of 27.07.2006 No. 152-FZ “On Personal Data”]. Available at: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody&nd=102108261> (accessed 01.09.2019).

2. *Postanovlenie Pravitelstva RF ot 01.11.2012 № 1119 “Ob utverzhdenii trebovaniy k zashchite personalnykh dannykh pri ikh obrabotke v informatsionnykh sistemakh personalnykh dannykh”* [Decree of the Government of the Russian Federation 01.11.2012 No. 1119 “On approval of the requirements for the protection of personal data during their processing in personal data information systems”]. Available at: https://minjust.ru/sites/default/files/post.pravitelstva_ot_01.11.2012_no_1119_0.docx (accessed 01.09.2019).

3. *Postanovlenie Pravitelstva RF ot 21.03.2012 № 211 (red. ot 15.04.2019) “Ob utverzhdenii perechnykh mer, napravlennykh na obespechenie vypolneniya obyazannostey, predusmotrennykh Federal'nykh zakonov “O personal'nykh dannykh” i prinyatymi v sootvetstvii s nim normativnymi pravovymi aktami, operatorami, yavlyayushchimisya gosudarstvennymi ili municipalnymi organami”* [Decree of the Government of the Russian Federation of 21.03.2012 No. 211 (eds 15.04.2019) “On approval of the list of measures aimed at ensuring the fulfillment of obligations stipulated by the Federal Law “On Personal Data” and regulatory legal acts adopted in accordance with it, operators that are state or municipal authorities”]. Available at: https://minjust.ru/sites/default/files/post.pravitelstva_ot_21.03.2012_no_211_0.docx (accessed 01.09.2019).

4. *Prikaz Federalnoy sluzhby po nadzoru v sfere svyazi, informatsionnykh tekhnologiy i massovykh kommunikatsiy ot 05.09.2013 № 996 "Ob utverzhdenii trebovaniy i metodov po obezlichivaniyu personal'nykh dannykh"* [Order of the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications 05.09.2013 No. 996 "On the Approval of Requirements and Methods for Personalizing Personal Data"]. Available at: https://minjust.ru/sites/default/files/prikaz_roskomnadzora_ot_05.09.2013_no_996_0.docx (accessed 01.09.2019).
5. *Prikaz FSTEK Rossii ot 18.02.2013 № 21 "Ob utverzhdenii sostava i sodержaniya organizatsionnykh i tekhnicheskikh mer po obespecheniyu bezopasnosti personalnykh dannykh pri ikh obrabotke v informatsionnykh sistemakh personalnykh dannykh"* [Order of the FSTEC of Russia 18.02.2013 No. 21 "On the approval of the composition and content of organizational and technical measures to ensure the security of personal data during their processing in personal data information systems"]. Available at: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/691> (accessed 01.09.2019).
6. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu prikaza Roskomnadzora ot 05.09.2013 № 996 "Ob utverzhdenii trebovaniy i metodov po obezlichivaniyu personalnykh dannykh"* [Methodological recommendations on the application of the order of Roskomnadzor 05.09.2013 No. 996 "On approval of requirements and methods for the depersonalization of personal data"]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420281168> (accessed 01.09.2019).
7. *Federalnyy zakon "O personalnykh dannykh": nauchno-prakticheskiy kommentariy* [Federal Law "On Personal Data": Scientific and Practical Commentary], ed. by A. A. Priezzheva. Moscow, 2015, iss. 11.
8. Antoshechkin A. V. Analiz vozmozhnostey primeneniya biometricheskikh tekhnologiy dlya realizatsii protsedur obezlichivaniya personalnykh dannykh [Analysis of the possibilities of using biometric technologies to implement the depersonalization of personal data]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, computing and informatics], 2018, no. 1, pp. 27–36.
9. Mishchenko, E. Yu., Sokolov A. N. Kolichestvennyy analiz protsedury obezlichivaniya personalnykh dannykh. Metod vvedeniya identifikatorov [Quantitative analysis of the depersonalization of personal data. The method of introducing identifiers]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: kompyuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, electronics], 2015, no. 15, pp. 18–25.
10. Nestik T. A. Razvitie tsifrovyykh tekhnologiy i budushchee psikhologii [The development of digital technologies and the future of psychology]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Psihologicheskie nauki* [Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Psychological Sciences], 2017, no. 3, pp. 6–15.
11. Yurevich A. V., Zhuravlyov A. L., Nestik T. A. Tsifrovaya revolyutsiya i budushchee psikhologii: k prognozu razvitiya psikhologicheskoy nauki i praktiki [The Digital Revolution and the Future of Psychology: Toward a Forecast of the Development of Psychological Science and Practice]. *Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya sovremennoy psikhologii: rezul'taty i perspektivy razvitiya* [Fundamental and applied research of modern psychology: results and development prospects]. Moscow, Institute of Psychology RAS Publ., 2017, pp. 2091–2100.
12. Mathôt S., Schreij D., Theeuwes J. OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior research methods*, 2012, vol. 44, no. 2, pp. 314–324.
13. Mueller S. T., Piper B. J. The psychology experiment building language (PEBL) and PEBL test battery. *Journal of neuroscience methods*, 2014, vol. 222, pp. 250–259.
14. Nikulchev E., Ilin D., Kolyasnikov P., Ismatullina V., Zakharov I. Development of a common format of questionnaire tests for a web-based platform of population and experimental psychological research. *ITM Web of Conferences*, 2018, vol. 18, p. 04004.
15. Nikulchev E., Ilin D., Kolyasnikov P., Belov V., Zakharov I., Malykh S. Programming technologies for the development of web-based platform for digital psychological tools. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2018, vol. 9, no. 8, pp. 34–45.
16. Peirce J., MacAskill M. *Building Experiments in PsychoPy*. SAGE, 2018.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.896:621.865

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Статья поступила в редакцию 10.07.2019, в окончательном варианте – 25.08.2019.

Ястребова Ирина Владимировна, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105007, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2 Бауманская, 5, магистрант, e-mail: iyast37@gmail.com

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

Калиниченко Сергей Владимирович, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105007, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2 Бауманская, д. 5, кандидат технических наук, e-mail: kln-sv777@yandex.ru

Статья посвящена разработке системы управления шагающим роботом вертикального перемещения. Описана кинематическая схема шагающего робота вертикального перемещения и представлена его математическая модель. Предложен алгоритм управления автономным перемещением шагающего робота вертикального перемещения (в частично недетерминированной среде на основе принципов нечеткой логики). Разработана модель движения робота в среде «MATLAB Simulink» с использованием инструмента «Fuzzy Logic Toolbox». Проведено компьютерное моделирование движения робота по вертикальным поверхностям и поверхностям, расположенным под произвольным углом друг к другу, с использованием алгоритмов сетей Петри. Приведены результаты моделирования, выполнен их содержательный анализ.

Ключевые слова: мобильный робот, обследование стен, дефектоскопия, кинематическая модель, нечеткая логика, алгоритм Мамдани, полуавтоматический режим, математическое моделирование, шагающий робот, вакуумный захват, вертикальное перемещение

CONTROL SYSTEM OF THE WALKING WALL CLIMBING ROBOT

The article was received by the editorial board on 10.07.2019, in the final version – 25.08.2019.

Iastrebova Irina V., Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105007, Russian Federation, undergraduate student, e-mail: iyast37@gmail.com

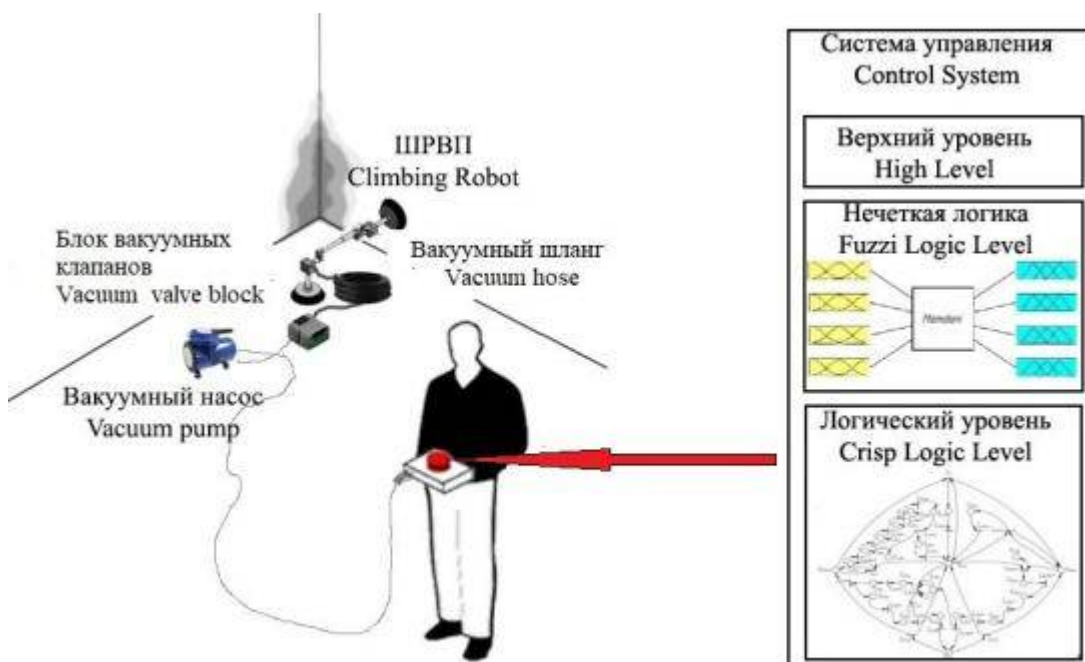
Vorotnikov Sergey A., Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105007, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), e-mail: vorotn@bmstu.ru

Kalinichenko Sergey V., Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105007, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), e-mail: kln-sv777@yandex.ru

The article is devoted to the development of a control system of a vertical-movement robot (Wall Climbing Robot). The kinematic scheme of Wall Climbing Robot is described and its mathematical model is presented. An algorithm for autonomous movement of Wall Climbing Robot in a partially non-deterministic environment based on the principles of fuzzy logic is proposed. A model of robot movement in the MATLAB Simulink program using the Fuzzy Logic Toolbox has been developed. A computer simulation of the robot movement on surfaces located at an angle to each other, using Petri nets algorithms, has been carried out. The results of the simulation are presented, their informative analysis is performed.

Keywords: mobile robot, wall flaw detection, kinematic model, fuzzy logic, Mamdani algorithm, semi-automatic mode, mathematical simulation, climbing robot, vacuum gripper, vertical movement

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. В настоящее время роботы вертикального перемещения (англ. *Wall Climbing Robots* – дословно «роботы, карабкающиеся по стенам») составляют отдельный класс робототехнических систем. Они предназначены для выполнения различных технологических операций на вертикальных и наклонных поверхностях зданий и сооружений, корпусов кораблей, резервуаров и т.п., включая их осмотр и проведение некоторых ремонтных операций. В литературе [4, 13, 15] описаны различные кинематические схемы таких роботов и разные способы их удержания на поверхностях. На сегодняшний день кинематические схемы таких роботов чаще всего представляют собой шагающие механизмы, а для закрепления на поверхности обычно применяют различные типы управляемых вакуумных захватов [8]. Перемещение по стенам здания осуществляется подачей соответствующих синхронизированных управляющих сигналов на конечности и вакуумные захваты транспортного модуля робота.

Заметим, что в большинстве случаев управление таким роботом, имеющим комплексную сенсорную систему [3], осуществляется дистанционно, в ручном режиме с помощью пульта оператора [2]. На него поступает телеметрическая информация о состоянии узлов управляемой системы и окружающей среды. Такое управление требует от оператора высокой квалификации, так как даже небольшая его ошибка может привести к падению робота и его выходу из строя. Поэтому при выполнении производственных задач, например, дефектоскопии стен [9], робот обычно снабжается страховкой в виде троса, спущенного с крыши здания.

В данной статье рассмотрено построение комплекса аппаратно-программных средств, позволяющих *шагающему роботу вертикального перемещения* (ШРВП) двигаться по произвольно ориентированным плоским поверхностям с заранее неизвестными фрикционными свойствами в автономном режиме. В формальной постановке ШРВП такого типа можно считать адаптивным, а окружающую среду – частично недетерминированной. Предполагаемой задачей для такого робота считаем осмотр внутренних стен зданий (т.е. работу в режиме «in-door») с помощью телевизионных камер на борту. Поскольку рассматриваются задачи перемещения внутри помещений, то в данной статье не будут учитываться ветровые и прочие динамические воздействия на робота.

Кинематическая схема ШРВП. Рассмотрим конструкцию двухопорного ШРВП с вакуумными захватами в каждой из опор, перемещающегося по сопряженным произвольно ориентированным плоским поверхностям с неизвестными коэффициентами трения (рис. 1а). Носимое (навесное) оборудование, в число которого входит дефектоскоп, телевизионная камера и т.п., здесь и далее не рассматривается. На рис. 1б приведена конструктивная схема макета такого ШРВП, разработанного в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

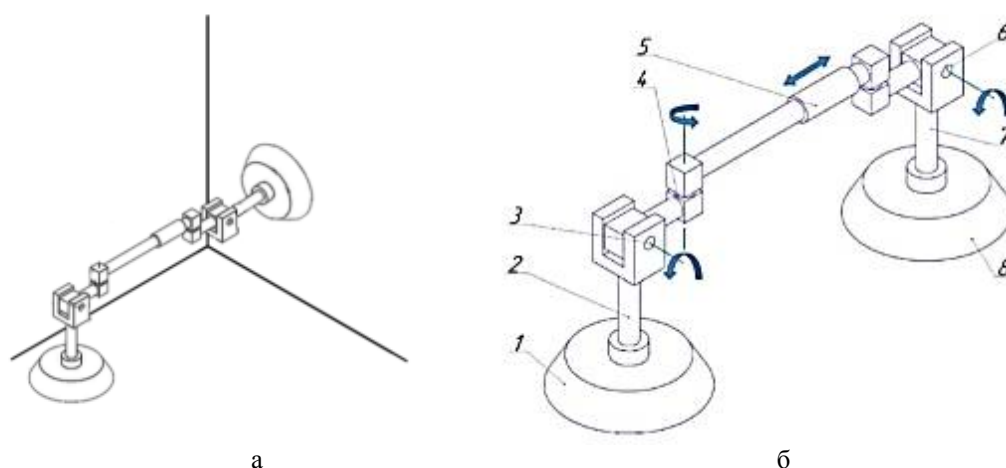


Рисунок 1 – Макет двухопорного ШРВП: а – принцип перехода на сопряженную поверхность; б – конструктивная схема

Рассматриваемый ШРВП имеет две опоры (левую и правую), выполненные в виде стоек (2, 7) с вакуумными захватами (1, 8); содержит по одному приводу вращения (3, 6) каждой опоры и один привод линейного перемещения (5), расположенный между ними. Также для изменения направления движения ШРВП снабжен шарниром (4), ось вращения которого лежит в плоскости, перпендикулярной плоскостям осей вращения шарниров (3 и 6).

Отметим, что такое количество опор (две) является минимальным, при котором обеспечивается необходимая маневренность ШРВП, позволяющая ему обойти всю площадь исследуемой поверхности.

Для разработки системы управления предложенной конструкцией необходимо составить кинематическую схему ШРВП и построить систему координат с параметрами Денавита – Хартенберга. Такой подход позволяет провести расчет прямой и обратной задач кинематики [1]. При этом введем два допущения. Во-первых, учтем, что при движении принципиально важно позиционировать опоры параллельно поверхности перемещения. Поэтому ограничимся построением кинематического управления по положению. Во-вторых, ограничимся плоской кинематической схемой ШРВП (рис. 2), допускающей шагание «прямо» и переход со стены на стену. Для этих режимов привод поворота (4) «замораживается».

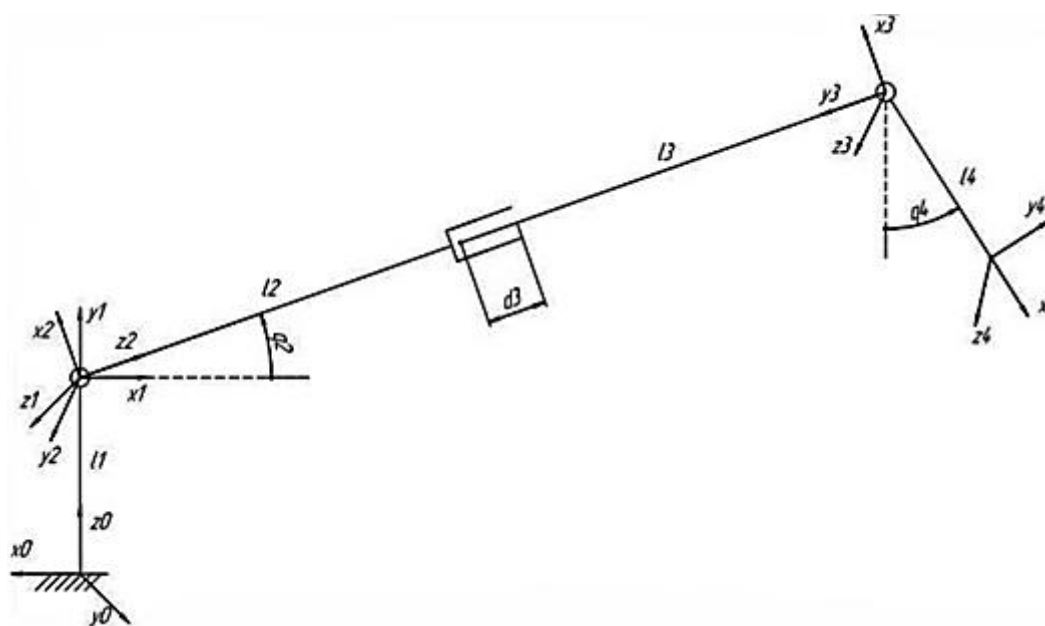


Рисунок 2 – Кинематическая схема ШРВП

Примечание. Пропорции схемы соответствуют размерам макета, где $l1 = l4 = 0,085$ м, $l2 = l3 = 0,185$ м.

Тогда параметры Денавита – Хартенберга [5] можно представить в виде таблицы.

Таблица – Параметры Денавита – Хартенберга

	Q	A	A	D
1	Π	$\pi/2$	0	$l1$
2	$\pi/2+q2$	$\pi/2$	0	0
3	0	$-\pi/2$	0	$l2+d3$
4	$-\pi+q4$	0	$l4$	0

Решение прямой задачи кинематики о положении для данной схемы выглядит следующим образом:

$$x = -0,085sq_2cq_4 - 0,085cq_2sq_4 - (0,185 + d_3)cq_2;$$

$$y = 0;$$

$$z = -0,085cq_2cq_4 + 0,085sq_2sq_4 + (0,185 + d_3)sq_2,$$

где $cq_i = \cos(q_i)$; $sq_i = \sin(q_i)$; $x = x_4$; $y = y_4$; $z = z_4$; q_2, d_3, q_4 – обобщенные координаты.

Приведем решение обратной задачи о положении:

$$q_2 = \frac{\sqrt{23,5z - 138,4z^2}}{0,23 - 0,085x - 0,46\sqrt{23,5z - z^2}};$$

$$d_3 = -x - 0,185 - 0,085\sqrt{23,5z - z^2};$$

$$q_4 = \arccos\left(1 - \frac{z}{0,085}\right).$$

Данные выражения позволяют найти положение опор ШРВП в любой момент времени и при известной длине опоры определить максимально допустимые размеры препятствий движению ШРВП по стене. В кинематической схеме максимальное значение шага робота выбрано равным 250 мм, что с учётом длин его звеньев позволит преодолевать препятствия (выступы и разрывы поверхности) размером до 450 мм.

Структура системы управления ШРВП. Система управления ШРВП представлена в виде схемы, показанной на рисунке 3.

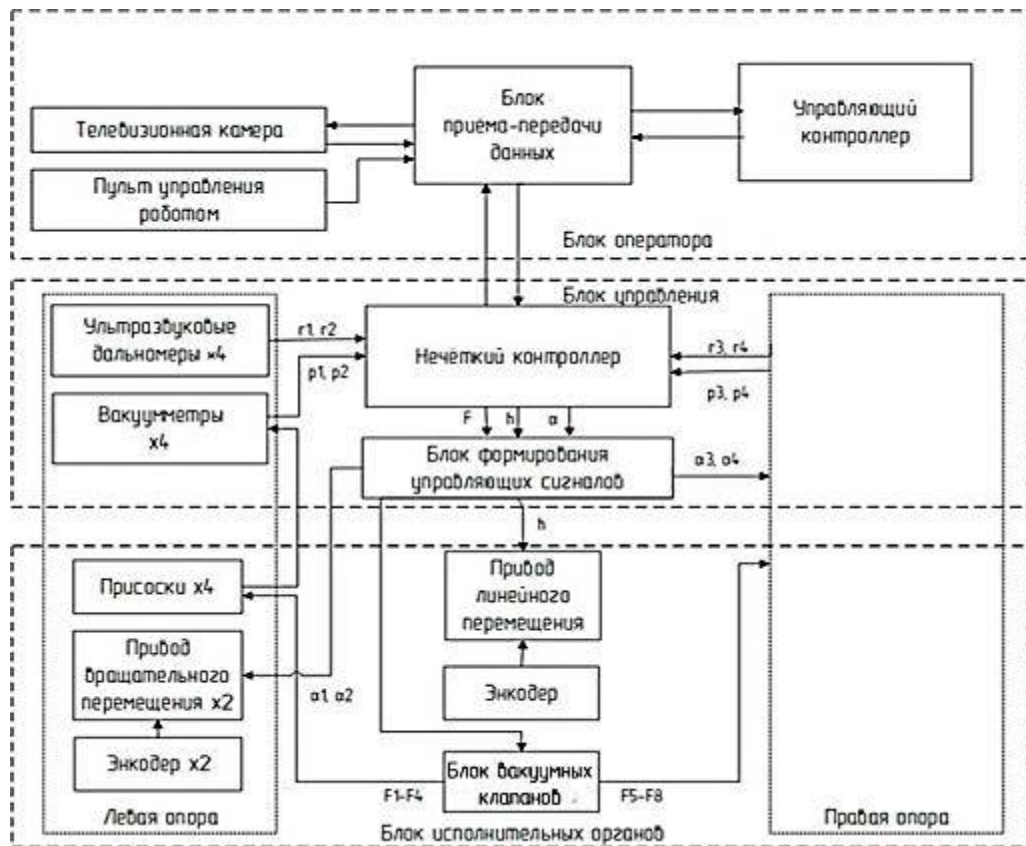


Рисунок 3 – Структура системы управления ШРВП

На схеме приведены основные элементы системы управления роботом в виде блоков, взаимодействующих между собой и имеющих следующие функции: блок оператора, блок управления, блок исполнительных органов.

Блок оператора обеспечивает удаленное управление роботом с помощью пульта управления, в состав которого входит основной управляющий контроллер. На этот блок поступают данные телеметрии от телевизионной камеры.

Блок управления расположен на роботе; он получает команды оператора и формирует сигналы управления на блок исполнительных устройств. Контроллер управляющих сигналов, представляющий собой нечеткий контроллер, анализирует данные от датчиков вакуумметрического давления (вакуумметров) и ультразвуковых дальномеров, определяя тем самым надежность зацепления и дальность до препятствий. Учитывая, что разрежение в каждой опоре ШРВП индивидуально и зависит от свойств контактной поверхности, при построении контроллера использовались принципы нечеткой логики [10]. Входными переменными являются текущее разрежение в опоре p и дальность до препятствия r , а выходными – необходимая сила прижатия опоры F , шаг привода линейного перемещения h и угол поворота α привода горизонтального вращения опоры робота.

Блок исполнительных органов включает в себя следующие приводы, обеспечивающие вращательное и линейное движение опор робота, вакуумный насос и блок вакуумных клапанов, регулирующий разрежение в соответствующей опоре. Это устройство построено по схеме «1 вход – 8 выходов»; вход подключен к вакуумному насосу, выходы – к соответствующим присоскам. Уровень разрежения в каждой присоске регулируется с помощью пропорционального клапана.

Собственно *вакуумное захватное устройство* ШРВП является частью блока исполнительных органов. Оно представляет собой две группы независимых присосок, по четыре на каждую опору, установленных на ее внутренней поверхности (подошве) с угловым шагом 90° (поз. 2 на рис. 4а). Вакуумный насос и блок вакуумных клапанов размещены в зоне расположения оператора на поверхности земли.

Дальномеры, в качестве которых используются ультразвуковые датчики *Microsonic nano-15/CI* (рис. 4б) [7], также размещены вдоль обода опоры, но ориентированы по осям X и Y соответственно и соединены попарно (поз. 1 на рис. 4а). Такое расположение датчиков позволяет отслеживать параллельность плоскости опоры к рабочей поверхности.

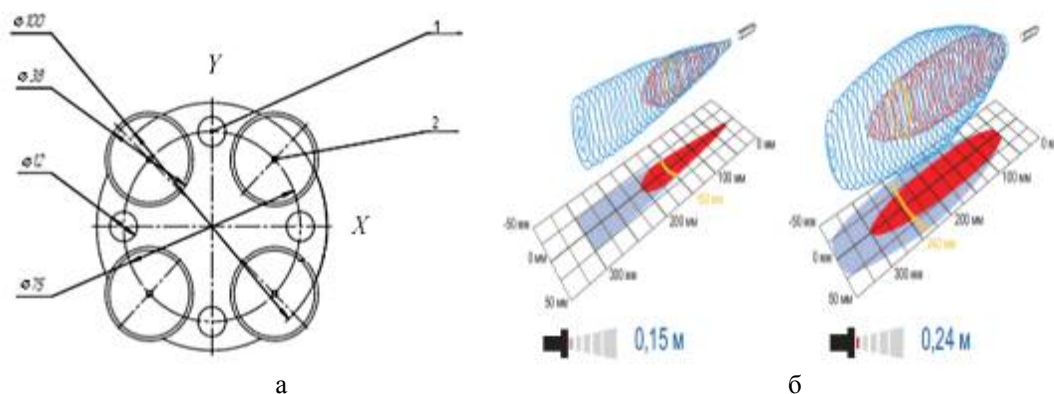


Рисунок 4 – а – схема расположения дальномеров (1) и присосок (2) на внутренней стороне (подошве) опоры ШРВП; б – диаграммы направленности дальномера для двух режимов

Выбор комплектующих вакуумного захватного устройства определялся массогабаритными параметрами ШРВП и, как следствие, значением необходимого разрежения в присосках каждой опоры. Исходя из этих расчетов, в опорах применены малогабаритные круглые флюорокаучуковые присоски Schmalz PFYN 35 FPM-65 G1/8-AG с допустимой силой прижатия 44 Н [14].

В качестве примера рассчитаем среднее значение силы прижатия, а также разрежение в присоске, необходимое для прикрепления опоры ШРВП к вертикальной плоскости.

1. Сила прижатия F , действующая на одну из четырех присосок, должна быть больше сил, воздействующих на опору с присосками: силы тяжести, трения и инерции. Назовем эти силы силами отрыва присоски $F_{отр}$. Для оценочных расчетов можно использовать следующее выражение:

$$F_{отр} = \frac{mgSK}{4\mu} = 93,75 \text{ Н},$$

где $m = 5$ кг – желаемая масса робота с полезной нагрузкой; g – ускорение свободного падения; $S = 1,5$ – коэффициент безопасности; $\mu = 0,3$ – коэффициент трения по относительно шероховатой поверхности; $K = 1,5$ – коэффициент запаса, учитывающий силы инерции и падение давления в шлангах, соединяющих присоски в опорах корпуса робота с вакуумным насосом.

2. Для выбранной присоски сила прижатия в соответствии с паспортными данными и с учетом коэффициента безопасности равна:

$$F_{пасп} = F_{пс} S = 44 \cdot 1,5 = 66 \text{ Н},$$

где $F_{пс}$ – сила прижатия, взятая из паспортных данных.

Для компенсации действующих на присоску сил отрыва окончательно примем для дальнейших расчетов силу прижатия $F = \max(F_{отр}; F_{пасп}) = \max(66 \text{ Н}; 93,75 \text{ Н}) = 93,75 \text{ Н}$.

Среднее требуемое разрежение в присоске составит:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \Delta p \cdot S \Rightarrow \Delta p = \frac{F}{0,375\pi \cdot d^2} \approx 65 \text{ кПа},$$

где $d = 0,035$ м – диаметр выбранной присоски.

3. Также определим возможную максимальную силу прижатия F для максимального разрежения. (Минимальная сила прижатия $F_{min} = 0$ при $\Delta p_{min} = 0$ соответствует случаю, когда присоска совсем не прикрепилась к поверхности.)

Максимальное разрежение достигается при полном прикреплении присоски к поверхности и определяется выражением:

$$\Delta p_{max} = 1,5\Delta p = 97,5 \approx 100 \text{ кПа}.$$

Тогда

$$F_{max} = 0,375\pi \cdot d^2 \cdot \Delta p_{max} = 0,375 \cdot 3,14 \cdot 0,035^2 \cdot 100000 = 144 \text{ Н}.$$

В соответствии с приведенными расчетами был выбран датчик вакуумметрического давления *Freescale MPX2202* [10] с пределами измерений до 100 кПа.

Проведенные расчеты показывают, что данные присоски позволяют надежно фиксировать на вертикальной поверхности ШРВП с грузом в тех случаях, когда их общая масса не превышает 5 кг.

Выбор и программирование нечеткого регулятора. В рассматриваемом решении ШРВП представляет собой мобильное средство транспортировки полезной нагрузки в пространстве путем передвижения по вертикальным и наклонным поверхностям. Среда перемещения робота является недетерминированной – априори неизвестны коэффициенты трения рабочих поверхностей, наличие на них трещин и дефектов, влажность поверхностей и пр. Также не известны в полной мере и их геометрические параметры, условия перехода робота с одной поверхности на другую и т.п. Решение такой задачи методами классической теории управления весьма затруднительно. Это и привело в конечном итоге к тому, что для роботов рассматриваемого типа обычно используют дистанционное ручное управление. В данной статье предлагается рассмотреть реализацию режима полуавтоматического управления, при котором ряд транспортных операций в отношении корпуса и опор робота может быть автоматизирован. Для этого предлагается при реализации *контроллера блока управления* использовать принципы нечеткой логики.

Для конкретности рассмотрения ограничимся решением задачи перехода ШРВП на сопряженную поверхность. Для этого необходимо:

1) выполнить поворот опоры робота так, чтобы обеспечить перпендикулярность стойки его опоры и поверхности стены независимо от их исходного взаимного положения;

2) регулировать силу прижатия присосок в зависимости от уровня вакуума в них, в том числе в случаях непредсказуемого изменения давления (например, при попадании присоски на трещину в стене или значительную по высоте выпуклость).

При построении контроллера блока управления использовался алгоритм Мамдани [12]. Рассмотрим решение этих задач с помощью описываемого ниже алгоритма.

Для решения *первой задачи* – поворота опоры робота на заранее неизвестный угол – сформируем две группы лингвистических переменных: входные (рис. 5а) и выходные (рис. 5б).

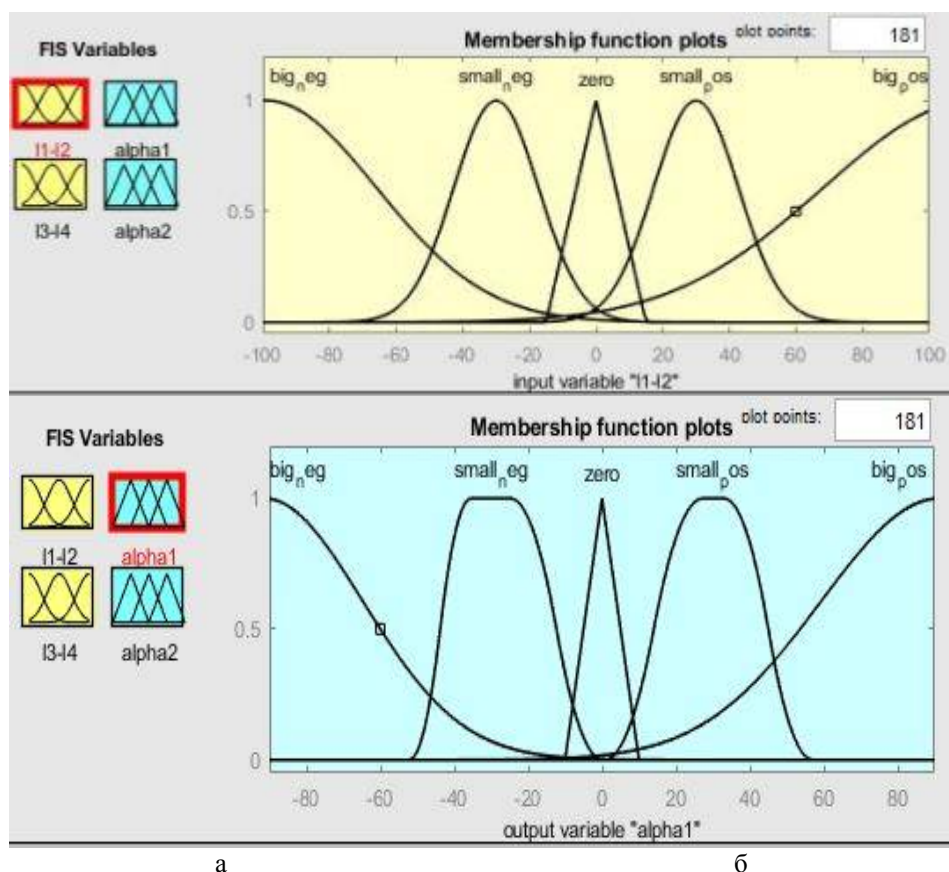


Рисунок 5 – Функции принадлежности лингвистических переменных в первой задаче: а – входных, б – выходных

Входными назначим значения разностей расстояний, измеренных дальномерами, расположенными на противоположных сторонах обода опоры – таким образом, будет определяться угол наклона подошвы опоры относительно рабочей поверхности. Проведем фаззификацию – зададим этим переменным следующие значения: «положительное большое», «положительное малое», «около нуля», «отрицательное малое», «отрицательное большое». Такие же значения зададим и выходным лингвистическим переменным: углам поворота приводов обеих осей в опоре ШРВП.

Диапазоны численных значений выберем, исходя из логики работы и используемых дальномеров ШРВП: для детектирования рабочей поверхности достаточно знать о ее наличии за 100 мм, углы поворота приводов могут изменяться в диапазоне $\pm 90^\circ$. Выбор формы графиков функций принадлежности лингвистических переменных обусловлен стремлением получить в результате моделирования по возможности гладкую функцию зависимости входных параметров от выходных.

Определим нечеткие правила:

1. Если (I1–I2) «около нуля», то alpha1 «около нуля».
2. Если (I1–I2) «большое положительное», то alpha1 «большое положительное».
3. Если (I1–I2) «малое положительное», то alpha1 «малое положительное».
4. Если (I1–I2) «малое отрицательное», то alpha1 «малое отрицательное».
5. Если (I1–I2) «большое отрицательное», то alpha1 «большое отрицательное».
6. Если (I3–I4) «около нуля», то alpha2 «около нуля».
7. Если (I3–I4) «большое положительное», то alpha2 «большое положительное».
8. Если (I3–I4) «малое положительное», то alpha2 «малое положительное».
9. Если (I3–I4) «малое отрицательное», то alpha2 «малое отрицательное».
10. Если (I3–I4) «большое отрицательное», то alpha2 «большое отрицательное».

При дефаззификации анализируем центры масс получившихся фигур. Результатом моделирования нечеткого вывода является трехмерная функция (поверхность), сформированная входными лингвистическими переменными и каждой из выходных (см. пример на рис. 6).

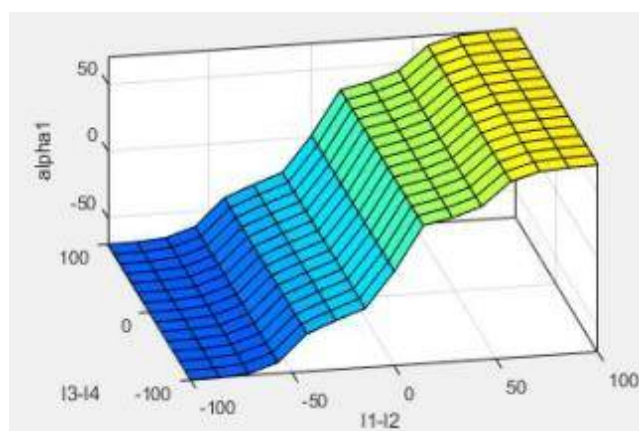


Рисунок 6 – Пример результата нечеткого вывода

Видно, что получившаяся функция достаточно гладкая, она не имеет экстремумов и разрывов, что соответствует логике работы ШРВП.

Например, в случае, когда оба дальномера показывают с некоторой погрешностью величину в 100 мм, требуемый угол поворота привода будет равен 0° , поскольку равенство показаний соответствующих дальнометров означает параллельность подошвы опоры рабочей поверхности.

Для решения *второй задачи* (регулирования силы прижатия опоры) входными переменными назначим показания, полученные с вакуумметров, которым также присвоим значения «большое», «среднее» и «малое». Выходными лингвистическими переменными назначим значения требуемой силы прижатия для каждой из опор.

Численные значения границ диапазонов были выбраны, исходя из вышеприведенных расчетов. Функции принадлежности лингвистических переменных приведены на рисунке 7.

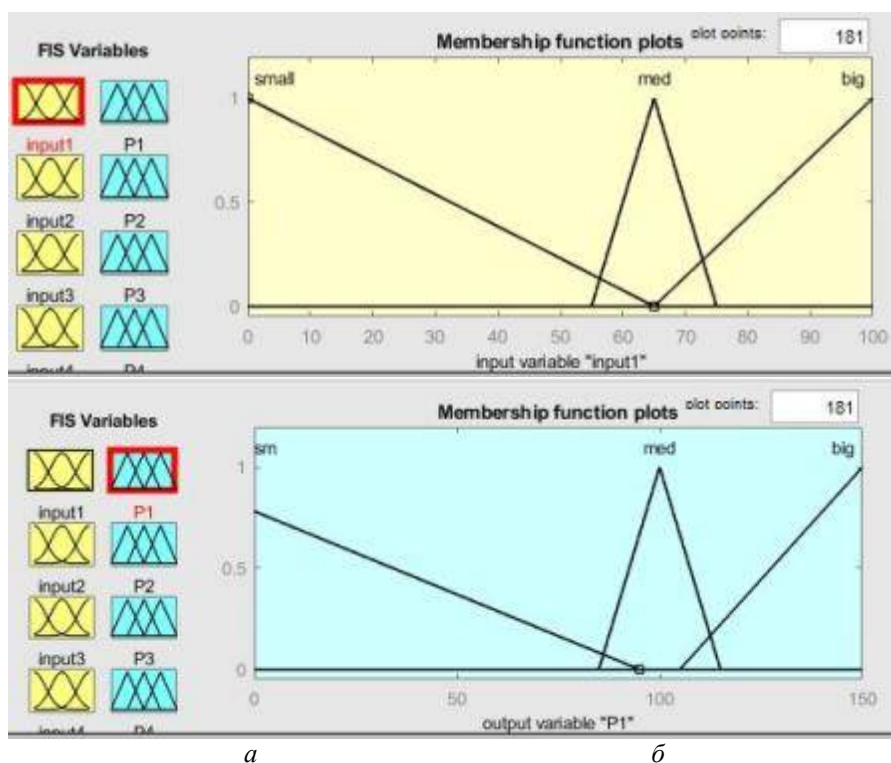


Рисунок 7 – Функции принадлежности лингвистических переменных во второй задаче: а – входных; б – выходных

Так же, как и ранее, определим нечеткие правила для этой задачи:

1. Если «вход1» «малое», то P1 «большое», P2 «среднее», P3 «среднее», P4 «среднее».
2. Если «вход2» «малое», то P2 «большое», P1 «среднее», P3 «среднее», P4 «среднее».
3. Если «вход3» «малое», то P3 «большое», P2 «среднее», P1 «среднее», P4 «среднее».
4. Если «вход4» «малое», то P4 «большое», P2 «среднее», P3 «среднее», P1 «среднее».
5. Если «вход1» «среднее» и «вход2» «среднее» и «вход3» «среднее» и «вход4» «среднее», то P1 «среднее», P2 «среднее», P3 «среднее», P4 «среднее».
6. Если «вход1» «малое» и «вход2» «малое», и «вход3» «малое», и «вход4» «малое», то P1 «большое», P2 «большое», P3 «большое», P4 «большое».
7. Если «вход1» «большое» и «вход2» «большое», и «вход3» «большое», и «вход4» «большое», то P1 «среднее», P2 «среднее», P3 «среднее», P4 «среднее».

Результаты нечеткого вывода приведены на рисунке 8, где слева показана зависимость силы прижатия присоски к поверхности от разрежения в ней же. Справа показано, что сила прижатия каждой присоски не зависит от разрежения в остальных.

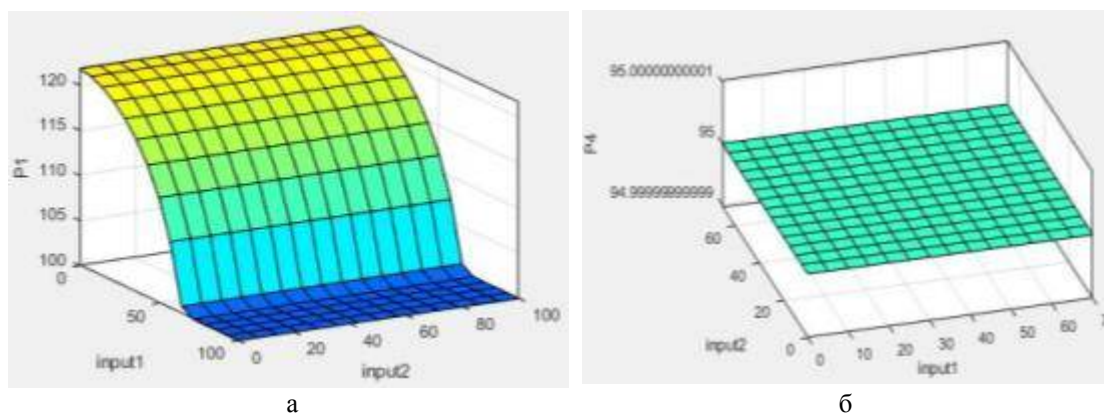


Рисунок 8 – Результаты нечеткого вывода. Зависимость силы прижатия присоски от разрежения: а – в ней же; б – в другой присоске

В качестве примера возьмем точку на полученной поверхности: в случае, когда разрежение (вакуумметрическое давление) в присоске составляет 50 кПа (на 15 кПа меньше требуемого), необходимая сила прижатия, полученная от контроллера, составляет приблизительно 110 Н при среднем значении в 93,75 Н.

Разработка алгоритма управления автономным движением ШРВП. Полученные выше результаты позволяют разработать алгоритм движения ШРВП в полуавтоматическом режиме.

Рассмотрим подробнее алгоритм обследования стен в замкнутом помещении. На рисунке 9 этот алгоритм показан в виде сети Петри [6]. Робот циклически обследует все стены помещения по периметру и после завершения цикла переходит на следующий уровень вверх или вниз по стене.



Рисунок 9 – Алгоритм обхода стен помещения в автоматическом режиме

Здесь состояниями являются состояния звеньев робота (движение, остановка), показания датчиков расстояния (далее «датчиков») и счетчики пройденных шагов, совершенных переходов на стену и пройденных периметров стены; переходами – включение датчиков и перемещение робота; фишками – текущая ситуация. Ниже представлен алфавит данной сети.

Состояния: Рд_вкл – датчик включается; Рд_изм – датчик проводит измерения; Рд_расст – датчик измеряет расстояние до стены; Рд_угол – датчик измеряет угол между опорой и стеной; Рр_движ – робот совершает движение; Рр_ост – робот останавливается; Рсч_пер – счетчик подсчитывает количество совершенных переходов на стену для отслеживания пройденного периметра стены; Рсч_сл – счетчик подсчитывает количество пройденных «слоев» стены для оценки текущего прогресса в обследовании данного помещения; Рсч_шаг – счетчик подсчитывает количество совершенных шагов ШРВП для оценки общего пройденного расстояния.

Переходы: Тд_вклнс – после включения датчика стена не найдена; Тд_вклс – после включения датчика найдена стена; Тд_нс – датчик не обнаружил стену; Тд_паралл – стена находится параллельно опоре робота; Тд_с – датчик обнаружил стену; Тр_выдвипл – робот выдвигает шарнир линейного перемещения; Тр_ожизм – робот ожидает измерения от датчика; Тр_повлн – робот поворачивает левую опору; Тр_повпн – робот поворачивает правую опору; Тр_сдвипл – робот сдвигает шарнир линейного перемещения.

Представленный в виде сети Петри алгоритм можно пояснить следующим образом: порядок движения ШРВП зависит от данных, поступающих с дальномеров. В случае, если перед роботом, движущимся по рабочей поверхности, обнаруживается смежная стена, он совершает переход на нее; иначе – делается шаг вперед. Когда пройдены все четыре стены, периметр замыкается и осуществляется переход на следующий уровень высоты стены.

Анализ алгоритма показывает, что без учета (использования) счетчиков данная сеть Петри: а – не является безопасной (число фишек в состоянии может превышать 1); б – не является консервативной (сумма фишек во всех состояниях не остается постоянной); в – является ограниченной (позиции не могут накапливать бесконечное число фишек); г – является активной. Данные свойства подтверждают ее логичность и возможность использования при управлении ШРВП.

Заключение. В статье представлена кинематическая модель ШРВП, разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана, и показана возможность его применения для транспортировки диагностического оборудования с целью обследования внутренних стен помещений в условиях нормального атмосферного давления. Приведен расчет кинематических параметров робота, в результате которого стало возможным определить положение его опор в любой момент времени. Определены элементы системы создания разрежения в вакуумных захватах и построен нечеткий регулятор, управляющий силой прижатия опор к поверхности стены. Для этой системы выбраны необходимые датчики и присоски, определено их расположение на опоре ШРВП.

Разработана система управления движением робота по частично недетерминированной поверхности в полуавтоматическом режиме за счет использования средств нечеткой логики. Также предложен алгоритм автоматического обхода внутренних поверхностей стен зданий, представленный сетью Петри. Проведен анализ полученных алгоритмов, показывающий их логичность и возможность реального применения в системе управления ШРВП.

Предложенный в статье подход к построению системы управления ШРВП позволяет упростить трудоемкий ручной процесс обследования стен помещений, доведя его до полуавтоматической процедуры, и повысить скорость его выполнения. При этом диагностические данные соотносятся с конкретным положением робота на стене и сохраняются в виде соответствующего документа (протокола обследования).

Робот имеет возможность движения по наклонным поверхностям, а также перехода между поверхностями. Полезная нагрузка на борт ШРВП может достигать 2 кг при сохранении устойчивости его движения.

Библиографический список

1. Антонов А. В. Система управления трехопорным колесно-шагающим роботом / А. В. Антонов, С. А. Воротников, Н. А. Выборнов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 2 (34). – С. 58–69.
2. Воротников С. А. Дистанционное управление адаптивными роботами / С. А. Воротников, Б. Б. Михайлов, А. С. Ющенко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12.
3. Воротников С. А. Информационные устройства робототехнических систем / С. А. Воротников. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 384 с.
4. Градецкий В. Г. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям / В. Г. Градецкий, В. Б. Вешников, С. В. Калинин, Л. Н. Кравчук. – Москва : Наука, 2001. – 369 с.
5. Зенкевич С. Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами : учеб. для вузов / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
6. Иванов В. А. Математические основы теории оптимального и логического управления : учебное пособие / В. А. Иванов, В. С. Медведев. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 600 с.
7. Компактные ультразвуковые датчики Microsonic серии nano. – Режим доступа: https://kipservis.ru/datchiki_microsonic/datchiki_nano.htm, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.06.2019).
8. Малыхин А. Ю. Имитационная модель системы удержания робота вертикального перемещения с вакуумными захватами / А. Ю. Малыхин, С. В. Калинин, А. А. Тачков, А. Г. Волков // Экстремальная робототехника. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 281–286.
9. НТЦ Эксперт – Методы неразрушающего контроля. – Режим доступа: <http://www.ntcexpert.ru/85-acenter/953-metody-nerazrushayushchegokontrolya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.06.2019).
10. Ющенко А. С. Методы нечеткой логики в управлении мобильным манипуляционным роботом / А. С. Ющенко // Инженерный журнал: наука и инновации. – № 6 (6). – С. 23.
11. Freescale MPX2202 Series. – Режим доступа: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX2202.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 01.06.2019).
12. Kaur A. Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System / A. Kaur // International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE). – May 2012. – Vol. 2, iss. 2.
13. Kolhalkar N. R. Wall Climbing Robots: A Review / N. R. Kolhalkar, S. M. Patil // Int. Journal of Engineering and Innovative Technology. – 2012. – Vol. 1, iss. 5. – P. 227–229.
14. Schmalz PFYN 35 FPM-65 G1/8-AG. – Режим доступа: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/vacuum-suction-cups/flat-suction-cups-round/flat-suction-cups-pfyn/10.01.01.00187>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 01.06.2019).
15. Schmidt D. Climbing robots for maintenance and inspections of vertical structures – A survey of design aspects and technologies / D. Schmidt, K. Berns // Robotics and Autonomous System. – 2013. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2013.09.002>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 05.04.2019).

References

1. Antonov A. V., Vorotnikov S. A., Vybornov N. A. Sistema upravleniya trekhopornym kolesno-shagayushchim robotom [Three-wheeled walking robot control system]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 2 (34), pp. 58–69.
2. Vorotnikov S. A., Mikhaylov B. B., Yushchenko A. S. Dstantsionnoye upravleniye adaptivnymi robotami [Adaptive robot remote control]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye* [Mechatronics, Automation and Control], 2005, no. 12.
3. Vorotnikov S. A. *Informatsionnye ustroystva robototekhnicheskikh sistem* [Robotic systems information tools]. Moscow, BMSTU Publ., 2004. 384 p.
4. Gradetsky V. G., Veshnikov V. B., Kalinichenko S. V., Kravchuk L. N. *Upravlyaemoe dvizhenie mobilnykh robotov po proizvolno orientirovannym v prostranstve poverkhnostyam* [Controlled unspecified oriented movement of mobile robots]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 369 p.
5. Zenkevitch S. L., Yushchenko A. S. *Upravleniye robotami. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami : uchebnik dlya vuzov* [Robot control. Basic principles of mobile robots control: college textbook]. Moscow, BMSTU Publ., 2004. 480 p.
6. Ivanov V. A., Medvedev V. S. *Matematicheskiye osnovy teorii optimalnogo i logicheskogo upravleniya* [Mathematic principles of optimized and logic control theory]. Moscow, BMSTU Publ., 2004. 480 p.
7. *Kompaktnye ultrazvukovye datchiki Microsonic serii nano* [Compacted ultrasonic sensors Microsonic nano-series]. Available at: https://kipervis.ru/datchiki_microsonic/datchiki_nano.htm (accessed 01.06.2019).
8. Malykhin A. Yu., Kalinichenko S. V., Tachkov A. A., Volkov A. G. Imitatsionnaya model sistemy uderzhaniya robota vertikalnogo peremeshcheniya s vakuumnymi zakhvatami [Simulation model of a vertical robot holding system with vacuum grips]. *Ekstremalnaya robototekhnika* [Extreme Robot Technics], 2016, vol. 1, no. 1, pp. 281–286.
9. *NTC Ekspert – Metody nerazrushayushchego kontrolya* [STC Expert – nondestructive testing]. Available at: <http://www.ntcexpert.ru/85-acenter/953-metody-nerazrushayushchego-kontrolya> (accessed 01.06.2019).
10. Yushchenko A. S. Metody nechetkoy logiki v upravlenii mobilnym manipulyatsionnym robotom [Fuzzy logic methods in control of mobile manipulative robot]. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovations], no. 6 (6), p. 23.
11. *Freescale MPX2202 Series*. Available at: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX2202.pdf> (accessed 01.06.2019).
12. Kaur A. Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, May 2012, vol. 2, iss. 2.
13. Kolhalkar N. R., Patil S. M. Wall Climbing Robots: A Review. *Int. Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2012, vol. 1, iss. 5, pp. 227–229.
14. *Schmalz PFYN 35 FPM-65 G1/8-AG*. Available at: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/vacuum-suction-cups/flat-suction-cups-round/flat-suction-cups-pfyn/10.01.01.00187> (accessed 01.06.2019).
15. Schmidt D., Berns K. Climbing robots for maintenance and inspections of vertical structures – A survey of design aspects and technologies. *Robotics and Autonomous Systems*, 2013. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2013.09.002> (accessed 05.04.2019).

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК [004.02+004.05]:62-5

МОДЕЛИ, МЕТОДЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮДЕЙ-ОПЕРАТОРОВ

Статья поступила в редакцию 15.04.2019, в окончательном варианте – 27.08.2019.

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

Молимонов Дмитрий Александрович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, студент, e-mail: dmolimonov@bk.ru

Исследованы возможные классификации сложных человеко-машинных систем; особенности различных видов сложных человеко-машинных систем в отношении их функциональности, организации управления, взаимодействия с внешней средой. Проанализированы причины и структура рисков при проектировании, практическом создании и проведении испытаний сложных человеко-машинных систем; возможные методы риск-менеджмента для этих этапов жизненного цикла сложных человеко-машинных систем. Для этапа эксплуатации сложных человеко-машинных систем предложены модели и практические методы статического и динамического распределения функций между аппаратно-программными средствами сложных человеко-машинных систем и людьми-операторами сложных человеко-машинных систем, учитывающие их психофизиологические характеристики. Охарактеризованы причины и виды ошибок для действий, автоматически выполняемых программно-аппаратными средствами сложных человеко-машинных систем, возможные подходы к управлению рисками таких действий. Изучены направления взаимодействия людей-операторов с контролируемыми/управляемыми ими сложными человеко-машинными системами, представлена структура рисков такого взаимодействия, приведены возможные меры риск-менеджмента. Исследованы подходы к информационному обеспечению людей-операторов, работающих в составе сложных человеко-машинных систем с учетом их психофизиологических особенностей; возможные типы управляющих действий людей-операторов; типичные причины и виды их ошибок; меры для уменьшения их количества и величин негативных последствий. Проанализирована роль индивидуальных психофизиологических параметров людей-операторов в обеспечении качества/надежности эксплуатации сложных человеко-машинных систем. Подробно рассмотрены вопросы, связанные с психофизиологическим тестированием людей-операторов; интерпретацией полученных значений показателей; использованием их при принятии и реализации решений. Предложена классификация тестового/тренажерного оборудования, учитывающая специфику работы людей-операторов в составе сложных человеко-машинных систем. Обоснованы возможности и ограничения профессионального тренинга людей-операторов на основе использования такого оборудования с целью снижения рисков эксплуатации сложных человеко-машинных систем. Приведены достоинства и недостатки использования для целей психофизиологического тестирования разных категорий тестового оборудования; возможности и ограничения его применения для тренинга психофизиологических показателей людей-операторов, повышения их устойчивости к мешающим/отвлекающим воздействиям.

Ключевые слова: сложные человеко-машинные системы, управление в реальном времени, риски проектирования, риски создания, риски эксплуатации, аппаратные средства, люди-операторы, информационное обеспечение решений, реализация решений, психофизиологические показатели, тестирование, тестовое оборудование, тренинг

Графическая аннотация (Graphical annotation)



**MODELS, METHODS, TECHNICAL MEANS OF RISK MANAGEMENT
OF DESIGN, CREATION AND OPERATION OF COMPLEX
HUMAN-MACHINE SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT
PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PEOPLE-OPERATORS**

The article was received by the editorial board on 15.04.2019, in the final version – 07.07.2019.

Brumshteyn Yury 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

Molimonov Dmitry A., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

student, e-mail: dmolimonov@mail.ru

The authors consider possible classifications of complex human-machine systems; features of different types of complex human-machine systems concerning their functionality, management organization, interaction with external environment. Causes and structure of risks, that are present during design, practical creation and complex human-machine systems tests conduction stages; possible methods of risk management for these stages of complex human-machine systems life cycle are analyzed. For operational stage of complex human-machine systems the authors suggest to use the models and practical methods of static and dynamic functions allocation between complex human-machine systems “hardware-software” and human-operators that take in account their psychophysiological characteristics. Causes and types of errors for actions that are automatically carried out by hardware-software means of complex human-machine systems, possible approaches to risk management of such actions are characterized. The directions of human-operators interaction with complex human-machine systems that are controlled/managed by them are studied, the structure of risks of such interaction is presented, possible measures of risk management are given. Authors are investigated approaches to information support of human-operators working in complex human-machine systems structure that take into account their psychophysiological features; possible types of human-operators control actions; typical causes and types of their errors; measures to reduce the amount of errors and negative effects values. The role of human-operators individual psychophysiological parameters in ensuring quality/reliability of complex human-machine systems operation is analyzed. The article elaborates on the issues related to human-operators psychophysiological tests; interpretation of the obtained indicators values; their use during decision making and decisions implementation. The classification is proposed for test/training equipment. This classification takes into account specificities of human-operators work as a part of complex human-machine systems. Opportunities and restrictions of human-operators professional training, based on the use of such equipment for the

purpose of risk reduction of complex human-machine systems operation, are substantiated. Authors are considered also merits and demerits for different categories of test equipment use for the purposes of psychophysiological testing; opportunities and limits of its application for human-operators psychophysiological indicators training, increase in their resistance to disturbing/distracting influences.

Keywords: complex human-machine systems, real time management, design-related risks, creation-related risks, operation-related risks, hardware, human-operators, information support of decisions, decisions implementation, psychophysiological indicators, testing, test equipment, training

Введение. Современный этап социально-экономического развития человеческого общества характеризуется возрастанием сложности используемых технологий производства высокотехнологичной продукции, контроля и управления различными системами и процессами, в том числе с применением сложных человеко-машинных систем (СЧМС) управления [6, 10, 21, 25]. В настоящее время управление СЧМС компьютеризировано, причем в ряде случаев программные средства (ПС) обладают возможностями искусственного интеллекта. Это обеспечивает повышение надежности эксплуатации систем управления; вероятностей своевременного принятия и реализации управляющих решений, в том числе в предаварийных и аварийных ситуациях. Однако и роль людей-операторов (ЛО) в управлении СЧМС во многих случаях также остается весьма значительной [1, 7, 9, 17]. При этом в ряде работ СЧМС трактуются как часть организационно-технических систем [18]. В существующей литературе вопросы анализа и управления рисками проектирования и эксплуатации СЧМС, обеспечения надежности [17] и качества работы ЛО в составе таких систем проанализированы недостаточно комплексно. Поэтому целью данной статьи является попытка устранения указанных недочетов исследований.

Сложные человеко-машинные системы: принципы классификации и типичные особенности. В соответствии с формулировкой термина СЧМС должны обладать следующими особенностями. 1. Быть сложными, т.е. включать в себя достаточно большое количество объектов, между которыми имеются развитые взаимосвязи различных типов, включая связи, относящиеся к передаче информации. 2. Содержать аппаратно-программные средства (АПС). 3. Включать в себя ЛО, задействованных в «контурах» (или «контурах») управления СЧМС. 4. Обеспечивать необходимые средства информационной поддержки деятельности ЛО, их взаимодействия с АПС СЧМС.

Возможные варианты категорирования СЧМС. 1. По сфере (области) использования: химико-технологические процессы; процессы пищевых производств; процессы металлургических производств – в том числе непрерывные; биомедицинские технологии, включая относящиеся к проведению сложных хирургических операций, обеспечению реанимации пациентов и пр.; добыча полезных ископаемых, включая нефть и газ; управление средствами транспорта; управление цепями поставок и логистикой на складах; военное дело и пр. 2. По количеству ЛО, используемых в составе «контуров управления» СЧМС: один человек-оператор (ЧО); два ЧО; три или большее количество ЛО, обычно взаимодействующих друг с другом. 3. По стоимости АПС, используемых в СЧМС. Оценки такой стоимости могут рассматриваться как интегральный показатель не только «масштаба СЧМС», но и объемов используемых в этих системах наукоемких решений. 4. По роли ЛО в управлении СЧМС: контроль работы средств автоматического управления и вмешательство только при необходимости; преимущественно контроль, но с периодическим использованием ручного управления СЧМС; преимущественно ручное управление СЧМС, но часть периодов времени управление осуществляется автоматическими системами управления (АСУ). Для этих вариантов формальная оценка роли ЛО может быть дана на основе долей времени за рабочую смену, в течение которых управление осуществляется в ручном режиме. Значимым показателем может быть также количество случаев, в которых ЛО вынуждены были брать управление СЧМС на себя. Однако возможен и вариант, когда параллельно осуществляется управления СЧМС со стороны и АСУ и ЧО – например, с разделением между ними объектов управления. При этом в ряде технологических процессов, требующих управления в реальном времени, использование АСУ является обязательным, так как ЛО просто не могут достаточно быстро реагировать на изменения (динамику развития) ситуации. 5. По степени функциональности (объемов потенциальных возможностей) в отношении управления СЧМС, в том числе возможностей управления для ЛО. 6. По особенностям организации управления СЧМС, в том числе профессионального отбора ЛО; порядков допуска ЛО к работе в сменах; длительностям смен работы ЛО; степеням детерминированности действий ЛО различными инструкциями, регламентами и пр.; по методам ретроспективного анализа действий ЛО, принятия решений по результатам такого анализа и пр. 7. По уровням внутренних угроз для управляемых СЧМС. В связи с этим используются понятия «опасное производство»,

«опасный технологический процесс» и пр. 8. По уровням внешних угроз (непреднамеренных и умышленных) для СЧМС, включая физические угрозы, угрозы информационной безопасности и пр. Это касается не только «военной сферы», но и гражданской.

Взаимодействие СЧМС (включая ЛО, включенных в «контуры управления») с внешней для них средой может заключаться в двустороннем или одностороннем обмене веществом (материальные потоки); энергией (в тех или иных формах); информацией (также в различных формах). Финансовые потоки (входящие и исходящие) в отношении СЧМС не типичны – они относятся в большей степени к тем организациям, в составе которых эксплуатируются СЧМС. Для СЧМС характерны еще и развитые внутренние потоки (информации, энергии и т.д.); использование развитых средств получения и накопления данных, их обработки, представления результатов в наглядной форме и пр.

При анализе рисков для СЧМС важно учитывать внешние и внутренние угрозы для их деятельности, планировать и использовать средства борьбы с такими угрозами. Возможные объекты, на которые могут быть направлены умышленные или непреднамеренные угрозы. 1. Аппаратные средства СЧМС, включая датчики, ЭВМ, исполнительные механизмы и пр. При этом реализация угроз может приводить к физическому повреждению СЧМС или их частей, утрате их функциональности и пр. 2. ПС СЧМС, включая базы данных (БД), базы знаний, управляющие программы и пр. 3. Каналы связи СЧМС с внешней средой, включая информационные. 4. Условия эксплуатации СЧМС, в том числе качество снабжения их электроэнергией, включая перерывы подачи энергии, кратковременные всплески напряжения, «блэкауты» и пр. 5. Непосредственно жизнь или здоровье ЛО. 6. Психофизиологическое состояние ЛО, степень их устойчивости к воздействиям на них, включая информационные. 7. Внешние условия деятельности ЛО, включая температуру и влажность воздуха, появление дыма, неприятных запахов, усиление вибраций [16] и пр.

Основным видом внутренних угроз для многих (если не большинства) видов СЧМС часто являются неправильные, неточные или несвоевременные действия ЛО. В случае если используются группы ЛО, то фактором риска могут быть также несогласованные (не скоординированные) действия отдельных операторов в условиях стрессовых воздействий.

Типичные внешние потенциальные угрозы для «гражданских» СЧМС: экстремальные гидрометеорологические факторы; возможность сейсмических воздействий с интенсивностью превышающей проектные значения; поступление для переработки некачественного сырья; утечки конфиденциальной информации и пр. Для СЧМС «военного назначения» дополнительно отметим следующее: возможности атак на защищаемые объекты с использованием снарядов, ракет, авиабомб – обычных и корректируемых, использование ударных беспилотных летательных аппаратов; применение средств радиоэлектронного воздействия на СЧМС, в том числе электромагнитных полей [15] и др.; блокирование каналов связи и управления распределенными в пространстве объектами СЧМС (например, в робототехнических системах) путем создания электромагнитных помех; использование «ложных целей» для маскирования реальных объектов, которые должна выявлять СЧМС (например, радиолокационный комплекс); угрозы перехвата и дешифровки конфиденциальных сообщений, связанных с работой СЧМС и пр.

Для СЧМС военного назначения (в том числе относящихся к производству боеприпасов) уровни непосредственных угроз для жизни и здоровья ЛО [19, 20] обычно значительно выше, чем в гражданской сфере. Поскольку для ЛО эти угрозы известны, то это может создавать для них «негативный эмоциональный фон»; при наличии рисков – тормозить принятие и реализацию объективно необходимых решений.

Структура рисков и основные направления риск-менеджмента при проектировании и испытаниях СЧМС. Проектирование СЧМС может носить как «типовой», так и «индивидуальный» характер – для конкретного заказчика, конкретного места размещения/эксплуатации и пр. Обычно при наличии типовых проектов СЧМС «привязка» их к конкретным условиям деятельности требует значительно меньших усилий, чем разработка с нуля.

Основные виды рисков при проектировании СЧМС. 1. Неправильное определение необходимой функциональности СЧМС, особенно при нечеткой информации о предполагаемых условиях ее эксплуатации. При этом недостаточная функциональность может в дальнейшем исключить возможность эксплуатации СЧМС при отсутствии возможностей модернизации. В то же время избыточная функциональность может не только увеличивать стоимость СЧМС, затруднять ее практическое использование, увеличивать количество недочетов в работе ЛО. 2. Ошибки в проектировании аппаратных средств СЧМС, особенно те, которые в дальнейшем нельзя устранить в порядке модернизации, замены отдельных блоков и пр. 3. Использование в проектах импортных комплектующих, изделий и пр. При этом возможны два подвида рисков:

а) наличие в таких изделиях «недокументированных возможностей», которые могут быть использованы злоумышленниками; б) потенциальная вероятность прекращения импорта изделий в силу санкций, ухудшения международных отношений и пр. Следствия по пункту б: невозможность выпуска СЧМС; отсутствие запчастей для замены вышедших из строя и, как следствие, прекращение эксплуатации оборудования. 4. Неполная или недостаточно качественно проведенная экспертиза «патентной чистоты» для разработанного проекта СЧМС, особенно если имеется потенциальная возможность его экспорта. 5. Ошибки или недочеты в проектировании и разработке ПС СЧМС, особенно в отношении архитектуры АСУ; систем автоматизированного управления (САУ) с участием ЧО; информационно-измерительных систем (ИИС); информационно-управляющих систем (ИУС) и пр. Однако во многих случаях ПС могут быть впоследствии модифицированы (при необходимости).

Использование в СЧМС зарубежных ПС (в том числе и с «открытым кодом») обычно повышает угрозы информационной безопасности, в том числе и для будущего периода времени. Основные причины: а) недостатки (в том числе и «недокументированные возможности») таких ПС могут выявляться уже в процессе их эксплуатации, а затем сведения о них быстро распространяются через интернет; б) ограниченные по времени сроки поддержки разработчиками созданных ими коммерческих ПС; в) использование при разработках зарубежных инструментальных средств может приводить к появлению «недокументированных возможностей» и в созданных ПС для СЧМС. 6. Ошибки в определении необходимых требований к количеству ЛО для СЧМС, их профессиональной квалификации, необходимых для нормальной эксплуатации СЧМС психофизиологических показателей [3, 4, 23] и пр. 7. Недостатки в принятых при проектировании СЧМС средствах представления информации для ЛО, а также получения от них управляющих команд с учетом их психофизиологических особенностей [11, 23]. 8. Недостаточно полный учет существующих рисков информационной безопасности для СЧМС; неправильная оценка тех рисков, которые могут появиться в будущем. 9. Недостаточные объемы проведения приемосдаточных испытаний СЧМС, что может приводить к неполноте выявления их недостатков. Однако объемы таких испытаний обычно ограничиваются: календарными сроками; располагаемыми трудовыми ресурсами; износом аппаратной части СЧМС – особенно при проведении испытаний в «нештатных» и форсированных режимах. 10. Неверное (неточное) определение длительностей жизненных циклов СЧМС, что может приводить к нерациональным проектным решениям.

Возможные меры риск-менеджмента (РМ) по направлениям, рассматриваемым в этом разделе. 1. Анализ информации об уже разработанных аналогичных СЧМС, принятых в них технических решениях, опыте их внедрения и эксплуатации, появлении аварийных и штатных ситуаций. Преимущества: а) возможность исключить повторное проектирование, так как может быть проще закупить готовую СЧМС или адаптировать уже существующий проект для конкретного применения; б) анализ сведений по уже используемым СЧМС (а также тем, разработка которых анонсирована) может позволить избежать проведения некоторых предпроектных исследований. 2. Анализ научной периодики и патентной документации по тематике, связанной с предстоящим проектированием СЧМС, в ряде случаев позволяет выявить перспективные, но еще не используемые технические решения. 3. Экспертиза технических заданий на проектирование СЧМС, а также уже разработанных проектов до начала их практической реализации. Однако возможности проведения квалифицированной экспертизы проектов СЧМС могут ограничиваться следующими факторами: а) необходимостью сохранения секретности разработок военного или двойного назначения; б) требованиями к конфиденциальности информации в отношении предполагаемых разработок гражданского назначения в силу рыночной конкуренции не только на всероссийском уровне, но и на международном. 4. Подбор квалифицированных проектировщиков СЧМС, объективная оценка их квалификации, адекватная оплата их труда с учетом его объема, сложности, качества, необходимых сроков завершения. 5. Использование при выполнении разработок ПС для автоматизированного проектирования, которые могут исключать некоторые технические ошибки проектировщиков. 6. Применение хорошо зарекомендовавших себя методологий концептуального, функционального и информационно-логического проектирования ПС для СЧМС. 7. Использование апробированных ПС и методологий «надежного программирования» для уменьшения вероятностей ошибок во вновь создаваемых ПС. 8. Организация необходимого контроля разработанной конструкторской, технологической и программной документации. 9. Патентование оригинальных технических решений, использованных в СЧМС, как средство защиты объектов интеллектуальной собственности от несанкционированного использования. 10. Обеспечение необходимых мер информационной безопасности в отношении выполняемых разработок СЧМС, в том числе и с учетом

потенциальных возможностей перехода специалистов-проектировщиков на работу в другие организации. 11. Использование методологий «управления проектами» при создании и практической реализации СЧМС, в том числе для рационального управления сроками, трудовыми и материальными ресурсами [24]. При этом может использоваться как приобретение коробочных версий ПС «управления проектами», так и их применение по модели (технологиям) SaaS [2].

Практически все вышеперечисленные методы РМ являются затратными, а зависимости положительных эффектов от величин затрат носят нелинейный характер. К отрицательным эффектам РМ можно отнести затраты, в ряде случаев – побочные негативные эффекты в отношении рисков. В простейшем случае оптимальное распределение затрат по направлениям уменьшения рисков в виде вектора $\{Z_i\}_{i=1...I}$ определяется максимумом функции

$$\Phi = \sum_{i=1}^I (\varphi_i(Z_i) - Z_i) \quad (1)$$

при наличии ограничений на суммарные затраты ($Z^{(\max)}$)

$$\left(\sum_{i=1}^I Z_i \right) \leq Z^{(\max)} \quad (2)$$

и, возможно, на отдельные виды затрат

$$\{Z_i^{(\min)} \leq Z_i \leq Z_i^{(\max)}\}_{i=1...I} \quad (3)$$

Модель, описываемая формулами (1)–(3), является простейшей, так как не учитывает влияния затрат по одним направлениям уменьшения рисков на величины рисков по другим направлениям.

Типичные варианты организации управления СЧМС с участием людей-операторов.

1. Ручной режим управления, возможно с блокировкой или корректировкой ошибочных действий ЛО. При этом могут использоваться специальные базы знаний в отношении недопустимых действий ЛО; в некоторых случаях – методы имитационного моделирования для получения прогноза развития ситуаций с учетом реализуемых действий и пр.

2. Управление СЧМС осуществляется в «директорском режиме» в реальном времени. При этом ЧО просто выполняет те действия, которые ему «указывает» САУ. Однако, если ЧО считает какие-то «указываемые» действия неправильными, то он может отказаться от их выполнения или частично скорректировать их. Такой режим приводит к высокой нагрузке на ЛО в отношении объемов воспринимаемой информации; необходимости высокой скорости реакций; часто – большой интенсивности выполняемых действий. Как следствие, утомление ЛО может приводить к повышению вероятностей возникновения ошибок в их действиях.

3. Основную работу по принятию и реализации решений в отношении управляемой СЧМС выполняет САУ. Оператор реализует только некоторую часть управленческих функций (действий), которые нецелесообразно передавать САУ. Это касается принятия и реализации решений в нечетких условиях, а также действий упреждающего характера, т.е. проактивных.

4. Люди-операторы осуществляют непрерывное наблюдение за управляемым объектом и действиями САУ. При необходимости они вмешиваются в ее действия путем перехода на ручной режим управления в течение какого-то периода. Затем управление возвращается САУ.

5. Часть управляющих действий реализует человек. Параллельно другую часть управляющих действий выполняет САУ. Потенциально при этом возможно возникновение «конфликтов по управлению». Например, известны случаи, когда для пассажирских самолетов одновременное использование ручного управления (с помощью «ручки управления») и работы САУ приводило к катастрофам. Однако при адекватном распределении функций между ЧО и САУ такие риски минимальны.

На практике необходимость переходов от одних вариантов управления СЧМС к другим чаще всего определяют сами ЛО. Однако возможны и ситуации, когда АПС выдают запросы ЧО на действия и переходят в режимы ожидания их действий.

Основные категории информации, используемой людьми-операторами. 1. Сведения, предназначенные только для информирования ЧО о состоянии СЧМС, происходящих в них процессах, тенденциях изменения параметров и пр. Сюда же можно отнести большинство предупреждающих сообщений. 2. Информация, требующая необязательной реакции ЧО. В таких случаях ЛО обычно сами принимают решения о выполнении действий или об отказе от них. 3. Сведения, требующие обязательной немедленной реакции от ЧО или бригады ЛО. При этом может использоваться выбор яркого (контрастного) цвета для сообщений [8], дополнительная визуальная сигнализация (включая мигающую) или звуковая сигнализация,

комбинация визуальной и звуковой сигнализации. Возможны три подхода к реализации дополнительной сигнализации: а) однократно на ограниченное время; б) сигнализация действует непрерывно, пока ЛО не выполнят нужные операции, однако это может их отвлекать от более срочных действий; в) сигнализация повторяется периодически, пока ЛО не выполнят нужные действия. Возможны также случаи, когда дополнительная сигнализация дается для привлечения внимания ЛО к двум или более необходимым действиям. Тогда ЛО должны сами определять приоритетность этих действий. При необходимости реализации различных действий одновременно в мозгу ЧО может происходить так называемая «сшибка» сигналов, и необходимые действия будут взаимно тормозиться. 4. Информация, требующая от ЧО отложенной по времени реакции, в том числе в определенные моменты будущего времени или при определенных условиях. При этом ЛО должны помнить о необходимости выполнения таких действий, сохранять в памяти моменты и/или условия их выполнения. При этом увеличивается «умственная» нагрузка на человека, включая необходимость «распределения внимания» между различными выполняемыми задачами – текущими и отложенными.

На практике к ЛО одновременно могут поступать сообщения разных категорий важности/срочности, при этом операторы должны самостоятельно определять их принадлежность к категориям. Для особо важной информации можно давать какие-то графические пометки на дисплеях для операторов, например с помощью красного восклицательного знака.

Принципы обеспечения ЛО необходимой информацией и использования для этой цели различных сенсорных каналов. Основными сенсорными каналами, по которым к ЧО может поступать информация: зрение; слух; восприятие тепла – в том числе контактное и в виде инфракрасного излучения; «вибрационный канал»; восприятие ускорений; осязание; запаховый канал; вкусовой канал. Для всех этих каналов возможно проведение тестирований (в том числе с использованием инструментальных средств) и тренинга. Отметим потенциальную возможность иллюзий для слуха и зрения (включая восприятие тех объектов, которых на самом деле нет), а также «наложение» в памяти ЧО информации, поступившей в разное время.

Возможные варианты представления информации ЛО. 1. Полностью в автоматическом режиме на основе алгоритмов, обрабатываемых САУ, АСУ и пр. При этом возможно динамическое управление объемами и содержанием информации, включая вывод только информации, необходимой для принятия ЛО решений. Не отображаемая на дисплеях информация может накапливаться в БД, использоваться для ретроспективного анализа, оценки действий ЛО и пр. Для представления на дисплеях большого объема графической информации возможно использование мозаики изображений (например, в системах охранного видеонаблюдения); показ только тех объектов (например, частей территории), для которых происходит изменение изображений при движении объектов. 2. Управление получением необходимой информации осуществляется ЛО в ручном режиме. Варианты: по запросам ЛО с клавиатуры к САУ или ИУС в текстовой или текстово-числовой форме; нажатие ЧО кнопок; использование им переключателей или регуляторов; касание пальцами необходимых зон сенсорных дисплеев в экранном меню; отбор ЧО проб расходных материалов для визуального контроля их качества (например, моторных и смазочных масел); отбор ЧО проб пищевой продукции и сырья для органолептического контроля; инструментальный контроль ЧО отобранных проб и пр. В варианте 2 на ЛО ложится дополнительная интеллектуальная нагрузка по принятию и реализации решений, связанных с получением информации. Поэтому решение задач непосредственного управления СЧМС может быть осложнено. 3. Смешанный режим управления получением информации: часть времени по варианту 1, а часть – по варианту 2. 4. Параллельный режим получения информации – часть информации отображается для ЛО на дисплеях автоматически (по пункту 1), а часть – в режиме ручного управления по пункту 2.

При больших потоках поступающей информации единственный ЧО может не успевать ее воспринимать в полном объеме и, как следствие, пропускать важные сообщения. В связи с этим возможны такие группы мер РМ. 1. Работа непосредственно с ЛО: а) отбор на должности ЛО лиц, обладающих достаточными скоростями восприятия и обработки информации, в том числе с помощью психофизиологического тестирования; б) оперативный контроль физиологического состояния ЛО перед началом смен и, возможно, в течение смен. 2. Управление отображением информации для ЛО: а) сохранение критически важной информации на экране до изменения ситуации; б) повторение отображения наиболее важной информации, если ЧО своевременно не предпринял необходимых действий; в) ограничение объемов информации теми пределами, которые способен воспринимать ЧО. Эти пределы могут

быть определены экспериментально и различаться для разных ЛО; г) использование группы ЛО с разделением между ними видов информации и, возможно, функций управления; д) разделение отображаемой информации на две группы: 1) Информация, важная для всех или большинства ЛО, показывается им всем одновременно; 2) Специфическая информация, необходимая отдельным ЛО, демонстрируется только им в индивидуальном порядке. Например, сочетание 1 и 2 используется в центрах управления полетами космических станций и иных объектов: на большом экране показывается информация общего характера, и дополнительно каждый из ЛО работает с отдельной ПЭВМ (терминалом); е) разделение информации между членами группы (бригады) ЛО по ее пространственной принадлежности. Например, в системах управления движением воздушных судов конкретные самолеты по мере их перемещения в пространстве могут «передаваться» от одного диспетчера к другому.

Для уменьшения нагрузки на зрительную систему ЧО в СЧМС может использоваться передача части информации с помощью звукового канала. При этом учитывается, что «зрительный» и «звуковой» анализаторы находятся в разных областях мозга человека. Однако для принятия решений поступающая информация должна ЧО дополнительно сопоставляться.

Характеристика основных показателей для каналов восприятия информации, используемых людьми-операторами. Показатели, связанные со зрением. 1. Острота зрения определяется по специальным таблицам. Необходимая острота зрения ЛО может быть во многих случаях обеспечена использованием очков, контактных линз и пр. Для профессиональной деятельности ЛО острота зрения может оцениваться не только при нормальной освещенности, но и при условиях, имитирующих особенности их работы: при пониженной и повышенной освещенности; при белом свете с разной цветовой температурой; при цветном освещении и т.д. 2. На скорость восприятия и распознавания предъявляемых на экранах объектов влияние может оказывать сложность изображений, их цвет [4, 8], скорость аккомодации глаз для объектов, расположенных на разных расстояниях и пр. Отметим возможности современных ПС по «размытию» заднего фона изображений (т.н. эффект Боке), что позволяет уменьшить «отвлечение внимания» ЛО. Скорости восприятия могут значительно отличаться для графических объектов, числовой информации, текстовой, смешанной. В последних трех случаях важны размеры шрифтов, их начертания, наличия стилизованных представлений цифр на сегментных дисплеях. 3. Для зрительного внимания в литературе (например, [11]) принято выделять такие характеристики: концентрированность, объем, селективность, переключаемость, распределяемость и устойчивость. Показатели зрительной памяти (например, [11]): объем и оперативность. 4. Пороги различения яркостей объектов по отношению к фону. 5. Качество различения цветов (оттенков) по отношению к фону, в том числе при различных уровнях освещения [4, 5, 8, 13]. 6. Качество распознавания различных объектов на фоне визуальных помех, включая преднамеренно созданные – например, путем использования маскировочных сетей, объектов-имитаторов и пр. 7. Длительность периода времени, за который у ЧО появляется утомление при восприятии информации по визуальному каналу. Этот период также зависит от интенсивности поступления информации, в том числе наличия пиковых нагрузок. 8. Скорости действий ЛО в ответ на поступающую зрительную информацию. При этом термин «скорости психомоторных реакций» [22] относится в основном к информации, не требующей осмысления для выполнения действий. Эти скорости при утомлении ЛО изменяются – обычно увеличиваются.

Показатели, связанные со слухом. 1. Минимальная громкость восприятия звуков, не являющихся содержательной речью – например, в виде амплитудно-частотной характеристики для нижнего порога слышимости. 2. Минимальная относительная (по сравнению со звуковым фоном) громкость восприятия содержательной речи. 3. Разборчивость воспринимаемой речи зависит от ее громкости; наличия звуковых помех; языка, на котором произносятся фразы; качества работы слухового анализатора в мозгу человека (может нарушаться при некоторых заболеваниях, ухудшении самочувствия и пр.); скорости речи, особенно при большом количестве слов/фраз и пр. Разборчивость речи может оцениваться по процентам правильно воспринятых ЧО на слух цифр (чисел, слов). При этом распознавание слов во фразах может быть более легким, чем слов по отдельности, в силу использования контекстов фраз, иногда и последовательностей фраз. 4. Возможности различения ЛО звуков разной частоты и интенсивности. Это важно в отношении появления не характерных звуков в технологических процессах; при работе различных моторов, редукторов; не типичных шумов в биотехнических системах и пр. 5. Минимальные длительности уверенного восприятия звуков при однократной, двукратной и тройной звуковой сигнализации с целью привлечения внимания ЛО. Эти

длительности зависят также от громкости и тональности звуков, общего физического и/или психофизиологического утомления ЛО.

Толчки и вибрации. Возможные направления оценки для ЧО. 1. Минимально воспринимаемые ускорения при однократных толчках (ударах) – они зависят также от их продолжительностей. 2. Точности оценки ЧО величин ускорений при толчках. 3. Минимальные пороги (амплитуды) восприятия вибраций на одной частоте или для совокупности частот (исследования обычно выполняются на серийно выпускаемых вибротестерах только для кончиков пальцев рук). Однако для практики важны также оценки и чувствительности ЧО к вибрациям тела в целом [16], причем отдельно для положений стоя и сидя. В отношении вибраций могут ставиться задачи оценки сил их влияния на качество восприятия информации ЛО по визуальному каналу, скорости психомоторных реакций [22] ЛО, быстроту утомления ЛО и пр.

Для ЛО, работающих на самолетах и судах, важно исследование (оценки) влияния воздействий перемещений объектов в пространстве на их вестибулярный аппарат в отношении качества восприятия зрительной и звуковой информации. Такие исследования в лабораторных условиях требуют сложного оборудования, обеспечивающего вращения тела ЧО, иногда в сочетании с линейными перемещениями. Поэтому они нередко проводятся в натуральных условиях, что обходится достаточно дорого.

К качеству осязания ЛО обычно требования не предъявляются. Однако нередко ЛО работают с органами управления «на ощупь», чтобы не отвлекать зрительное внимание. Поэтому при проектировании пультов управления СЧМС может быть целесообразным использование индивидуальных форм для различных кнопок, переключателей, регуляторов.

По восприятию запахов требования к ЛО предъявляются в таких случаях. 1. Появление запаха свидетельствует о нарушениях технологического процесса, возникновении предаварийных и аварийных ситуаций (включая аварийные выбросы в воздух), утечках из трубопроводов. Индивидуальная чувствительность к запахам и качеству их дифференциации у ЛО может сильно различаться. Поэтому невосприятие запаха может быть фактором риска как для самих ЛО, так и для управляемых ими техпроцессов в СЧМС. Отметим следующее: а) время привыкания ЧО к запаху (после которого он уже не воспринимается) у ЛО может быть достаточно коротким, а время восстановления чувствительности (после исчезновения запаха) – более длительным; б) пахнут не все вещества, включая газы. Например, ЛО не ощущают запах метана, если в него не подмешан меркаптан. Однако инструментальные средства для анализа состава газов сейчас хорошо разработаны, выпускаются серийно. 2. У ЛО могут быть аллергические реакции на запахи, сопровождающие некоторые технологические процессы. При этом сами запахи могут ЛО не ощущаться, а аллергические реакции приводить к значительному ухудшению качества работы ЛО, скоростей и точностей его реакций. 3. Качество дифференциации запахов объектов может быть важно при использовании ЛО для отбора и органолептической оценки проб сырья и/или пищевой продукции. При этом инструментальные средства для анализа запахов (обычно трактруемые в литературе как «электронный нос») используют биосенсоры и пока носят в основном экспериментальный характер.

По качеству восприятия вкуса объектов требования к ЛО предъявляются преимущественно лишь в сфере изготовления пищевой продукции, контролируемой органолептическими методами (для оценки тонких вкусовых различий инструментальные методы контроля иногда могут быть малоэффективны). Диагностика вкусовых ощущений ЛО может быть также частью некоторых видов медицинских исследований для выявления заболеваний.

Качество движений людей-операторов: номенклатура показателей и подходы к оценкам. В большинстве случаев воздействия на СЧМС со стороны ЛО осуществляются без корректировки их управляющих движений, поэтому важны показатели качества этих движений. Для одного ЧО качество движений может оцениваться по таким параметрам: точность движений, в том числе в отношении установки линейных и угловых положений регуляторов и пр.; адекватность усилий, прикладываемых ЛО для перемещения органов регулирования (управления); плавность движений, т.е. отсутствие резких рывков, которые могут негативно отразиться на управляемых объектах; степень скоординированности движений двух верхних конечностей, а в ряде случаев и отдельных пальцев (например, последовательное нажатие двух кнопок разными пальцами с некоторым запаздыванием); скоординированность движений верхних и нижних конечностей ЧО – пространственная и по времени выполнения.

Для исследований и тренинга качества движений отдельных ЛО могут использоваться различные подходы и методы, в том числе с выполнением им действий на макетах пультов

(устройств) управления; с имитацией реакций управляемых систем на отдельные действия ЧО и их совокупности. Преимущество проведения исследований на специальных тренажерах – возможность отработки действий при нештатных (и аварийных!) ситуациях без какого-либо вреда для СЧМС. Возможные причины низкого качества движений ЧО. 1. Недостаточно точная пространственная моторика верхних или нижних конечностей, в том числе при наличии непостоянного сопротивления перемещениям у органов управления. Возможные причины: некоторые нервные заболевания ЧО, усталость мышц, плохое самочувствие и пр. Однако визуальный контроль производимых ЧО действий (и их результатов) во многих случаях позволяет проблему неточности движений снять. 2. Непроизвольный тремор конечностей (особенно верхних) может встречаться у ЛО при различного рода нервных заболеваниях, значительных эмоциональных нагрузках, при миопатии, при мышечной усталости. Наличие тремора может удлинять психомоторные реакции ЛО на поступающую информацию, снижать точность реализации движений, их координацию. Методы функциональной диагностики тремора верхних конечностей, в том числе при функциональных нагрузках, достаточно хорошо отработаны.

Варианты программно-аппаратной корректировки движений ЧО: а) масштабирование его движений с помощью АПС. При этом большим амплитудам движений рук оператора будут соответствовать значительно меньшие перемещения исполнительных механизмов. Например, такое масштабирование с визуальным контролем перемещений осуществляется в роботохирургических комплексах DaVinci; б) сглаживание чрезмерно резких движений ЧО; в) ограничение амплитуд движений ЧО пределами, допустимыми с точки зрения прочностей оборудования; появления воздействий на ЧО неблагоприятных факторов (например, чрезмерных ускорений тела у летчиков).

Дополнительные показатели оценивания «качества действий» для группы ЛО. 1. Скоординированность по времени действий различных ЛО, управляющих разными объектами (системами, процессами и пр.) в СЧМС. Термин «скоординированность» в данном контексте не обязательно означает синхронность, возможны и ситуации, когда необходимы асинхронные действия. 2. Скоординированность по величинам (объемам) воздействий различных ЛО на управляемые объекты, а также в отношении точек приложения таких воздействий. Возможные средства обеспечения скоординированности действий ЛО: за счет взаимного визуального наблюдения действий, выполняемых ЛО; путем голосового оповещения ЛО друг друга о составе выполняемых или предполагаемых к выполнению действий; руководство действиями нескольких ЛО со стороны начальника бригады (подразделения); проведение совместных тренировок ЛО на тренажерах для отработки согласованности действий (отработка автоматизма движений, а также «слаженности» выполняемых операций).

Оценка «степени нескоординированности» действий ЛО возможна по совокупности фактов (показателей): отклонений действий отдельных ЛО по времени от оптимальных характеристик (в простейшем случае – несинхронность действий); по отклонениям точек (мест) приложения ими воздействий оптимальных значений и пр. При конструировании формул для интегральных оценок «нескоординированности» действий величины весовых коэффициентов для «отклонений», относящихся к разным видам действий могут оцениваться экспертно.

Модели и методы распределения функций между аппаратно-программными средствами СЧМС и людьми-операторами. В общем случае распределение функций (в отношении решений и действий) по управлению СЧМС между АПС и ЛО может носить как статический, так и динамический (изменяющийся во времени) характер. Последний вариант – более гибкий, причем обычно распределением функций занимаются именно ЛО, а не АПС.

Для представления модели статического распределения функций примем следующие допущения. 1. Суммарный объем полномочий АПС ($d_{\text{АПС}}$) и ЛО ($d_{\text{ЛО}}$) остается неизменным, перераспределяются только их доли. Поэтому $d_{\text{АПС}} = 1 - d_{\text{ЛО}}$. 2. Величины (по модулю) положительных и отрицательных эффектов для СЧМС «за смену» при таком распределении полномочий описываются функциями $E_{\text{ЛО}}^+ = f_{11}(d_{\text{ЛО}})$ и $E_{\text{ЛО}}^- = f_{12}(d_{\text{ЛО}})$. 3. Соответственно для АПС положительные и отрицательные эффекты (по модулю) описываются функциями $E_{\text{АПС}}^+ = f_{13}(d_{\text{АПС}})$ и $E_{\text{АПС}}^- = f_{14}(d_{\text{АПС}})$. Будем учитывать также ограничения на $d_{\text{ЛГ}}$ типа

$$d_{\text{ЛО}}^{(\min)} \leq d_{\text{ЛО}} \leq d_{\text{ЛО}}^{(\max)}. \quad (4)$$

Тогда оптимальным решением, при соблюдении (4), будет максимум

$$E^{(\text{sum})} = f_{11}(d_{\text{ЛО}}) - f_{12}(d_{\text{ЛО}}) + f_{13}(1 - d_{\text{ЛО}}) - f_{14}(1 - d_{\text{ЛО}}). \quad (5)$$

Для задачи динамического распределения полномочий (функций) будем считать, что $d_{\text{ло}} = d_{\text{ло}}(t)$. В простейшем случае ограничение типа (4) можно считать сохраняющимся, т.е.

$$d_{\text{ло}}^{(\min)} \leq d_{\text{ло}}(t) \leq d_{\text{ло}}^{(\max)}, \quad (6)$$

и использовать среднее значение для $d_{\text{ло}}(t)$ за смену продолжительностью « T »

$$\bar{d}_{\text{ло}} = \left(\int_0^T d_{\text{ло}}(t) dt \right) / T. \quad (7)$$

Тогда аналогом модели, описываемой формулами (4)–(5), будет

$$E^{(\text{sum})} = f_{11}(\bar{d}_{\text{ло}}) - f_{12}(\bar{d}_{\text{ло}}) + f_{13}(1 - \bar{d}_{\text{ло}}) - f_{14}(1 - \bar{d}_{\text{ло}}). \quad (8)$$

Возможны, конечно, и более сложные модели, в которых берутся интегралы по времени от функций, описывающих зависимости положительных и отрицательных эффектов от $d_{\text{ло}}(t)$.

Кроме того, может быть целесообразным ограничивать объемы (количества) действий ЛО с учетом их физической утомляемости. Примем, что зависимость объемов действий ЛО ($A_{\text{ло}}$) от долей их функций ($d_{\text{ло}}$) нелинейная

$$A_{\text{ло}} = F(d_{\text{ло}}). \quad (9)$$

Тогда ограничение по объемам действий

$$A_{\text{ло}} \leq A_{\text{ло}}^{(\max)}. \quad (10)$$

В практическом отношении могут быть более важными ограничения типа (10) за некоторые локальные промежутки времени, суммарная продолжительность которых значительно меньше T . Это обычно периоды максимально напряженной работы операторов, причем их действия в эти периоды могут носить как плановый, так внеплановый (вынужденный) характер.

В случае группы операторов обобщением модели, описываемой формулами (4)–(5) будет распределение полномочий (функций) между АПС и каждым из ЛО. Примем, что количество ЛО равно 3» и каждый ЧО имеет разные функции (объемы полномочий) в виде набора $d_{\text{ло}}^{(1)}, d_{\text{ло}}^{(2)}, d_{\text{ло}}^{(3)}$, причем

$$d_{\text{ло}}^{(1)} + d_{\text{ло}}^{(2)} + d_{\text{ло}}^{(3)} + d_{\text{АПС}} = 1. \quad (11)$$

Допустим, что для каждого из ЛОО есть разные функции для положительных и отрицательных эффектов в зависимости от объемов полномочий (функций). Для 1-го ЧО это $E_{\text{ло}}^{+(1)} = f_{11}^{(1)}(d_{\text{ло}}^{(1)})$ и $E_{\text{ло}}^{-(1)} = f_{12}^{(1)}(d_{\text{ло}}^{(1)})$. Для 2-го ЧО: $E_{\text{ло}}^{+(2)} = f_{11}^{(2)}(d_{\text{ло}}^{(2)})$ и $E_{\text{ло}}^{-(2)} = f_{12}^{(2)}(d_{\text{ло}}^{(2)})$. Для 3-го ЧО: $E_{\text{ло}}^{+(3)} = f_{11}^{(3)}(d_{\text{ло}}^{(3)})$ и $E_{\text{ло}}^{-(3)} = f_{12}^{(3)}(d_{\text{ло}}^{(3)})$.

Тогда аналогом модели по формулам (4)–(5) в случае 3-х ЛО будет

$$E_{3-\text{ло}}^{(\text{sum})} = f_{11}^{(1)}(d_{\text{ло}}^{(1)}) - f_{12}^{(1)}(d_{\text{ло}}^{(1)}) + f_{11}^{(2)}(d_{\text{ло}}^{(2)}) - f_{12}^{(2)}(d_{\text{ло}}^{(2)}) + f_{11}^{(3)}(d_{\text{ло}}^{(3)}) - f_{12}^{(3)}(d_{\text{ло}}^{(3)}) + f_{13}(d_{\text{АПС}}) - f_{14}(d_{\text{АПС}}). \quad (12)$$

При этом ограничения на объемы полномочий (функций) ЛО могут быть различны

$$d_{\text{ло}-1}^{(\min)} \leq d_{\text{ло}-1} \leq d_{\text{ло}-1}^{(\max)}; \quad d_{\text{ло}-2}^{(\min)} \leq d_{\text{ло}-2} \leq d_{\text{ло}-2}^{(\max)}; \quad d_{\text{ло}-3}^{(\min)} \leq d_{\text{ло}-3} \leq d_{\text{ло}-3}^{(\max)}. \quad (13)$$

В модели, описываемой формулами (11)–(13), обеспечивается оптимизация нагрузки за счет распределения объема полномочий между отдельными ЛО и АПС.

На практике при работе ЛО в составе бригад (групп) они обычно могут при необходимости брать на себя функции других операторов – полностью или частично. Это обеспечивает следующее: перераспределение (выравнивание) объемов работы между ЛО – в случае необходимости; повышение надежности работы бригад ЛО, в том числе за счет изначально предусмотренного дублирования функций. Так, например, многоместными пассажирскими самолетами управляют два пилота, несмотря на наличие весьма развитых АСУ полетом и посадкой. На ряде моделей тяжелых бомбардировщиков помимо двух пилотов предусматривается еще и по два штурмана (также для снижения рисков, связанных с деятельностью ЛО).

Методы риск-менеджмента в отношении работы АПС в СЧМС. Основными причинами ошибочных, неточных, неоптимальных или нерациональных действий, выполняемых АПС в автоматическом режиме, а также отсутствия их необходимых действий на этапе эксплуатации СЧМС, могут быть следующие. 1. Отказы АПС из-за неработоспособности отдельных элементов или блоков. Средство РМ: использование в конструкциях СЧМС резервных блоков, подключаемых при отказах автоматически или под управлением ЛО. Такие блоки могут представлять собой «горячий резерв» (т.е. подключаться сразу) или «холодный

резерв» – после перевода их в рабочие режимы (обычно разогрева или иных операций). Целесообразно различать «неремонтопригодные» блоки АПС и «ремонтопригодные», работоспособность которых может быть восстановлена. 2. Ошибки или неточности работы сенсорных систем АПС; средств обработки изображений в рамках «систем технического зрения» (СТЗ), систем автоматической выработки управляющих воздействий и пр. Средства РМ: использование в проектах СЧМС апробированных технических решений; совершенствование алгоритмов распознавания изображений и построенных на их основе ПС, в том числе путем имитационного компьютерного моделирования; использование искусственных нейронных сетей и настройка их на распознавание изображений определенных типов; совершенствование алгоритмов и ПС для автоматической выработки и реализации решений, в том числе корректировка баз знаний ПС; в допустимых по продолжительностям реакций случаях – подключение ЧО к принятию (выбору) решений. 3. Механические повреждения в процессе эксплуатации узлов или блоков СЧМС; сенсорных систем, с которых поступает информация. Меры РМ: использование защитных оболочек, амортизаторов и пр. для узлов и блоков; применение резервных сенсоров. 4. Повреждения узлов и блоков СЧМС при воздействиях на них электромагнитных излучений, в том числе за счет преднамеренных воздействий мощными электромагнитными импульсами. Меры РМ: выполнение заземлений с небольшими сопротивлениями растекания; использование металлических или «мелкосетчатых» оболочек блоков, экранирующих электромагнитное излучение. 5. Утечки информации по электромагнитному каналу из СЧМС. Меры РМ – в основном аналогично пункту 4. 6. Попадание в АСУ или САУ т.н. «промышленных вирусов», которые могут незаметно для ЛО корректировать режимы управления технологическими процессами. Меры РМ: контроль операционных систем и ПС СЧМС в отношении наличия таких вирусов; исключение подключения АСУ СЧМС к интернету или (хотя бы) подключение через аппаратно-программные файерволы. Отметим, что сведений о выявлении «промышленных вирусов» в интернете немного, так как сами факты их выявления наносят «репутационный ущерб» пострадавшим организациям.

Как возможный пример ошибок АПС, работающих в автоматическом режиме, приведем ложное срабатывание системы активной защиты (САЗ) танка в отношении летящего мимо него (а не в него) снаряда. Возможные причины: недочеты в системах определения положений целей, включая групповые; неточности в прогнозах траекторий целей. Специально отметим необходимость защиты от «дуплетных» боеприпасов, первый из которых специально предназначен для срабатывания у танка системы пассивной защиты или САЗ, а второй (основной) – для его поражения. Решение аналогичных задач осуществляется и при использовании САЗ надводных кораблей – с той разницей, что их могут одновременно атаковать несколько маневрирующих ракет с разных направлений. На практике роль ЧО в управлении такого рода САЗ обычно сводится только к их включению и выключению, так как люди не обладают достаточной скоростью реакции на происходящие события.

Анализ и управление рисками, связанными с организацией взаимодействия людей-операторов с СЧМС. Возможные направления взаимодействия ЛО с АПС СЧМС. 1. Ввод в начале смены отдельными ЛО идентифицирующей их информации, позволяющей предоставить им необходимые права на просмотр информации, ее корректировку, выполнение управляющих действий и пр. При этом у разных ЛО могут отличаться: права использования конкретных рабочих мест; полномочия в отношении просмотра информации и составы действий. Возможные технические решения для аутентификации ЛО: ввод ими индивидуальных логинов-паролей – обычно рекомендуется, чтобы они периодически менялись; вставка ЛО в АПС СЧМС магнитных карточек с идентифицирующей их информацией; использование ЛО карточек с информацией, видимой СТЗ при ультрафиолетовой подсветке; считывание отпечатков пальцев ЛО специальными сканерами; распознавание ЛО по изображениям их лиц СТЗ; распознавание ЛО по произносимым ключевым фразам и пр. Последние три варианта облегчаются тем, что количество ЛО, которых необходимо идентифицировать, является достаточно ограниченным.

Для контроля доступа ЛО в «залы управления» могут применяться все варианты кроме первого, а также механические или электромеханические кодовые замки на дверях. Применение контроля на входах в «залы управления» позволяет переместить «контур защиты» в отношении угроз физической и информационной безопасности для СЧМС от пультов управления ими к дверям помещений. Это может быть полезно и для снижения вероятности утечек информации, отображаемой в залах на пультах управления СЧМС, демонстрационных

панелях и пр. Однако при этом задачи идентификации ЧО с привязкой к конкретным рабочим местам приходится решать независимо от контроля допуска ЛО в «залы управления».

2. Получение ЛО информации от СЧМС, включая следующее: сведения о параметрах функционирования управляемых систем и подсистем; возможно – о прогнозах изменения параметров (они могут опираться на аналитические зависимости, на имитационные компьютерные модели и пр.); сведения о действиях, фактически реализованных АПС в автоматическом режиме; сведения о действиях, предполагаемых АПС к реализации (чтобы ЛО могли при необходимости отменить или скорректировать эти действия до их фактического выполнения); рекомендации АПС о возможных (необязательных) действиях ЛО; требования к ЛО по выполнению обязательных действий, в том числе предлагаемых АПС «на выбор» в виде меню.

Основные виды рисков, связанных с получением ЛО информации от АПС. а) Пропуск значимой информации. Возможные причины: чрезмерно большие потоки информации, представляемые конкретным ЛО; недостаточная концентрация внимания ЧО; отвлечение его в ходе смены от выполнения производственных функций; ухудшение самочувствия ЛО по ходу смены; утомление ЛО из-за больших объемов действий в течение смены, из-за появления стрессовых воздействий на ЛО, связанных с аварийными и предаварийными ситуациями, конфликтными ситуациями с другими ЛО и пр.; неудачные эргономические решения по представлению информации для ЛО, в том числе на экранах дисплеев, демонстрационных табло и пр.; дефекты зрения ЛО, которые могут быть важны для восприятия мелких деталей изображений; дефекты слуха ЛО, которые могут приводить к неполному или неточному распознаванию речевых команд, воспроизводимых ПС; обращений со стороны других ЛО и т.д.

3. Получение АПС СЧМС запросов от ЛО на представление информации; на изменение способов отображения информации, предназначенной для ЛО; на изменение параметров отправки (передачи) информации в БД информационно-аналитической системы СЧМС для архивного хранения и, возможно, последующего ретроспективного анализа. Поступившие запросы от ЛО обрабатываются АПС и по ним выполняются необходимые ответные действия.

Виды рисков: неправильная интерпретация АПС запросов, в том числе из-за плохой дикции при «голосовом вводе»; орфографические и иные ошибки при вводе запросов с клавиатуры. Меры РМ: повышение «интеллектуальности» систем распознавания голоса и вводимого текста; выдача ЛО запросов на подтверждение команд в необходимых случаях.

4. Возможные варианты получения АПС от ЛО управляющих команд: с помощью воздействий на органы управления в виде кнопок, переключателей, регуляторов и пр.; путем ввода с клавиатуры текстовых, числовых или текстово-числовых строк (команд); за счет выбора ЛО необходимых элементов экранного меню на сенсорных дисплеях и пр.; голосовое управление. Для выполнения необходимых действий ЧО может использовать верхние конечности (пальцы рук); нижние конечности (в основном – для нажатий на педали); голосовые (речевые) команды. Для распознавания этих команд целесообразно использовать только локальные вычислительные сети, так как применение для этой цели интернет-ресурсов потенциально может приводить к утечкам конфиденциальной информации, связанной с управлением СЧМС.

5. Контроль со стороны АПС введенных ЛО команд управления: формальный контроль текстовой, числовой или текстово-числовой информации на наличие орфографических и синтаксических ошибок; содержательный контроль задаваемых ЛО управляющих действий в отношении их безопасности для оборудования, технологических процессов и пр. В частности, это может касаться выявления задаваемых параметров управления, которые могут быть недопустимы в контексте текущей ситуации; несогласованных команд (действий) нескольких ЛО, работающих в составе бригад.

При выявлении явно неправильных действий ЛО возможны следующие виды реакций со стороны ПС, входящих в состав САУ СЧМС: а) действия блокируются, а ЛО выдается об этом сообщения – визуальные, звуковые и пр.; б) действия ЛО корректируются – также, как правило, с выдачей предупреждений. Например, при задании пилотом самолета действий, которые могут привести к недопустимым механическим нагрузкам (ускорениям, углам атаки и пр.) эти действия могут быть исправлены так, чтобы критические значения параметров не были превышены.

В случаях сомнительных или опасных действий возможные реакции АПС следующие. 1. Для ЧО выдается запрос на подтверждение таких действий. При получении подтверждения в течение определенного времени действия выполняются. Подчеркнем, что «запрос на подтверждение» может выдаваться не только самому ЧО, запросившему действие, но и руководителю бригады ЛО, руководителю смены и пр. Использование для контроля действий другого физического лица может быть полезно с точки зрения повышения надежности

решений. Однако другой человек не всегда может сразу сориентироваться в возникшей ситуации. 2. Опасное действие сразу же выполняется, но при этом ЛО выдается соответствующее визуальное оповещение, звуковой сигнал или их сочетание.

Для передачи «предупреждающей» информации ЛО по визуальному каналу могут использоваться не только дисплеи, но и светодиоды, в том числе для подсветки объектов в мнемосхемах, размещенных на стенах залов управления. Для привлечения внимания ЛО могут применяться мигающие тексты на дисплеях и мигающие светодиоды, но с ограничением длительности режимов мигания по времени.

Информация о блокированных или скорректированных действиях ЛО (а также о предупреждениях) должна быть сохранена в БД, в том числе для ретроспективного анализа качества действий ЛО.

6. Выработка АПС на основе введенной ЛО управляющей информации «команд непосредственного управления» для исполнительных устройств (механизмов), применяемых в СЧМС. Дополнительно в необходимые моменты могут выполняться и действия, включенные в БД, содержащую операции, предусмотренные регламентами технологических процессов.

Возможные риски: а) ввод ЛО неточных параметров команд управления; б) неправильное понимание АПС управляющих команд, введенных ЛО (только при возможности неоднозначной интерпретации таких команд) – см. выше; в) ввод ЛО команд, которые по отдельности правильные, но плохо сочетаются друг с другом или с действиями, предусмотренными регламентами технологических процессов – см. начало абзаца; г) не скоординированный по времени или по содержанию ввод (использование) управляющих команд/действий различными ЛО; д) ошибки в БД «правил» СЧМС, которая обеспечивает интерпретацию и исполнение команд, введенных ЛО.

Основные меры РМ по пункту «б»: тщательное проведение приемо-сдаточных испытаний СЧМС, в том числе контроль интерпретации вводимых команд; своевременное изменение содержания БД, содержащей правила преобразования «команды ЛО -> действия АПС» при изменениях конструкций установок, регламентов техпроцессов и пр.; периодический контроль целостности этой БД, ее доступности.

7. Выдача для ЛО подтверждений со стороны АПС о том, что их команды управления были приняты АПС и фактически исполнены. Это увеличивает информационную нагрузку на ЛО, но снижает риски ошибок их взаимодействия с АПС; вероятности того, что ЛО не заметят свои ошибочные (или не оптимальные) действия. На практике могут использоваться компромиссные решения по подтверждению действий – например, информирование ЛО только о наиболее важных выполненных действиях.

В типичных ситуациях характерно выполнение АПС действий, заданных ЛО, сразу же после принятия решений – по принципу «чем быстрее, тем лучше». Это касается, в частности, управления транспортными средствами при возникновении предаварийных ситуаций. Однако иногда требуется отложенная по времени реализация принятых решений со следующими подвариантами: в конкретный момент времени; в определенный промежуток времени; после окончания определенного этапа эксплуатации СЧМС или этапа техпроцесса; в периоды времени, когда нужные действия допускает регламент технологического процесса. Например, устранение неисправностей летательных аппаратов обычно производится лишь после совершения ими посадки, а технологических установок – когда они выключены.

Анализ целей и возможных вариантов тестирования/тренинга людей-операторов с использованием программно-аппаратных средств. Тестирование и тренинг ЛО могут относиться к следующему: профессиональным знаниям; профессиональным навыкам действий (умениям); психологическим и психофизиологическим характеристикам. В данном разделе мы делаем определенный акцент на последнем направлении.

В общем случае затраты на тестирование и тренинг ЛО оправдываются за счет снижения рисков эксплуатации СЧМС. Эти риски могут быть связаны со следующими факторами. 1. Недостаточная, неполная или несвоевременная оценка профессиональных знаний, умений, психофизиологических показателей ЛО [5, 22], привлекаемых (или предполагаемых для привлечения) к управлению СЧМС. Следствием ошибок таких оценок является повышенная вероятность возникновения опасных или предаварийных ситуаций, аварий. 2. Неправильные (необъективные, необоснованные, несвоевременные) оценки ЛО последствий своих действий, особенно в случае редко встречающихся ситуаций. 3. Несвоевременные, неточные или просто ошибочные действия отдельных ЛО в процессе управления СЧМС. Эти действия могут быть активного характера (в ответ на сложившуюся ситуацию) или проактивного (упреждающего)

характера. 4. Недостаточная отработанность практических навыков взаимодействия ЛО с АПС в рамках управления СЧМС. 5. Отсутствие достаточной слаженности действий ЛО в рамках бригад, управляющих СЧМС.

Возможные моменты проведения тестирования/тренинга ЛО. 1. Вне смен – периодический контроль физиологического состояния и навыков, тренинг и пр. 2. Непосредственно перед началом смены – для оперативной оценки самочувствия, психофизиологических показателей ЛО, скоростей и координации их движений [22]. Могут использоваться следующие подходы: устный опрос ЛО, в том числе оценки скорости и точности их реакций на задаваемые вопросы; физиологические измерения (давление, частота пульса и пр.); оценки степени управления положением тела (стабилография) для стоящего человека и ЧО сидящего в кресле [14]; оценки зрачковых реакций (пупиллография); тесты скоростей психомоторных реакций; тесты концентрации (устойчивости) внимания и пр. 3. В процессе смены. Возможны подходы на основе использования стабилографических кресел [14], анализа движений зрачков сидящих ЛО с помощью видеокамер и пр. При этом должны соблюдаться ограничения на «объемы» отвлечения внимания ЛО от выполнения ими производственных функций. 4. После окончания смены (или завершения выполнения какой-то серии действий) – для оценки степени усталости; ухудшения концентрации внимания, скоростей психомоторных реакций.

Группы возможных вариантов для технических решений по тестированию/тренингу.

1. Использование автономных настольных ПЭВМ стандартной конфигурации. Достоинства: на одних и тех же ПЭВМ можно запускать различные ПС для тестирования и тренинга; хорошие возможности обеспечения конфиденциальности содержания тестирующих ПС; частот их использования; состава лиц проходивших тестирование/тренинг; результатов тестирования/тренинга. В принципе ПЭВМ позволяют обеспечивать и динамическую смену изображений – например, имитировать развертку на экране кругового обзора радиолокационной станции, включая отображение помех и целей. Недостатки: сложность имитации профессиональной среды работы ЛО, особенно если их пульта управления значительно отличаются от набора «стандартная клавиатура ПЭВМ + манипулятор типа мышь»; невозможность выполнения тестовых заданий (ТЗ), связанных с перемещениями/поворотами ПЭВМ в процессе работы. Дополнительные возможности: а) подключение к ПЭВМ второго монитора, настроенного на отображение иной информации, чем на основном. Однако может быть проще использовать крупноформатный монитор с большим отношением «ширина/длина»; б) применение сменных накладок на стандартные клавиатуры, которые дают доступ только к наборам клавиш, примерно соответствующих реальным пультам управления ЛО. Таким образом, автономные ПЭВМ все же больше подходят для психофизиологического тестирования ЛО, в том числе в отношении показателей внимания и памяти. 2. Использование ПЭВМ, подключенных к локальной компьютерной сети. Достоинства: может использоваться единственная ПС и общая БД, установленная на сервере, что снижает трудоемкость обслуживания ПЭВМ; возможность организации совместного тестирования/тренинга групп ЛО, в том числе с разделением функций, а также в «игровых режимах». Недостатки – в основном те же, что и для пункта 1.

Подключение сервера локальной сети к интернету увеличивает риски информационной безопасности, в том числе утечек конфиденциальной информации. С другой стороны, использование готовых интернет-ресурсов расширяет возможности тестирования/тренинга. Более дешевая альтернатива по сравнению с комбинацией «ПЭВМ + Сервер» – применение терминальных станций в сочетании с центральной ЭВМ. Однако этот вариант не подходит для работы с большими объемами графики. 3. Использование для расширения функциональности устройств на основе ПЭВМ панорамных дисплеев (включая изогнутые); джойстиков – в том числе изготовленных по индивидуальным заказам; специальных аудиосистем, обеспечивающих объемное звучание и пр. В целом это может позволить «приблизить» условия тестирования/тренинга к реальным условиям работы ЛО. 4. В некоторых случаях может быть также полезно использование стереоскопического воспроизведения изображений. При этом возможны такие решения: разделение экрана дисплея для демонстрации изображений, предназначенных для левого и правого глаз с помощью ширмы; использование экранов смартфонов для раздельной демонстрации изображений, предназначенных для двух глаз + специальная картонная ширма, в которую вставляется дисплей; применение настольных дисплеев, дающих поляризованное излучение, + очков с поляризационными фильтрами; использование жидкокристаллических очков с электрооптическими затворами + поочередная демонстрация на настольном дисплее изображений для левого и правого глаза; применение

шлемов виртуальной реальности с индивидуальными дисплеями для левого и правого глаз – однако долго в таких шлемах работать нельзя из-за накопления усталости глаз. **5.** Применение для психофизиологического тестирования/тренинга ЛО смартфонов и компьютерных планшетов. Недостатки: а) меньшие размеры экранов, чем на ПЭВМ. Хотя сейчас в продаже есть «оптические увеличители экранов» для смартфонов, но они требуют неподвижного расположения последних. Кроме того, для некоторых смартфонов есть «докинг-станции», позволяющие удобно осуществлять вывод изображений на крупноформатные демонстрационные экраны, в том числе сенсорные; б) необходимость использования интернет-ресурсов для скачивания ПС или работы в онлайн-режимах; в) ограниченная точность при определении мест нажатий пальцами на сенсорные экраны, особенно на смартфонах; г) невозможность или затрудненность подключения дополнительных устройств. Достоинства: могут использоваться при тестировании в комнатах, имитирующих реальные условия работы ЛО и на производственных объектах; допускают перемещения/повороты при проведении тестирования. **6.** Игровые приставки с собственными процессорами, в ряде случаев – со специальными джойстиками, видеокамерами и пр. Могут использоваться также специальные пульты (в том числе изготовленные по индивидуальным заказам), имитирующие условия работы ЛО. Отметим, что приставки типа Microsoft Kinect с двумя видеокамерами позволяют распознавать (с некоторыми ограничениями) положение тела человека в пространстве и выполняемые им движения; генерировать ответные действия «виртуальных противников» в игровых режимах и пр. Поскольку жестовое управление для СЧМС пока не характерно, то тренинг движений, который могут обеспечить такие игровые приставки, пока практически не востребован в практике подготовки ЛО для СЧМС. **7.** Применение автономных программно-аппаратных комплексов (ПАК) с собственными устройствами отображения информации и ввода данных, средств задания помех [12], звуковой сигнализации, воспроизведения речевых команд, датчиками-акселерометрами, иными датчиками и пр. Возможные варианты таких ПАК: а) общего назначения, например, для тренировки концентрации внимания, отработки скоростей моторных реакций и пр.; б) частично специализированные; в) узкоспециализированные. Достоинства для варианта а: относительная простота; возможность использования специально сконструированных пультов управления (в том числе сменных), средств задания помех и пр.; допускаются перемещения/повороты при тестировании. Недостатки: возможна только частичная имитация условий работы ЛО. Для расширения функциональных возможностей ПАК может применяться их подключение к ПЭВМ. Однако при проводном подключении мобильность ПАК резко снижается, а при беспроводном – ограничивается. Достоинства для варианта в: потенциальные возможности полноценной имитации условий действий ЛО, управляющих СЧМС – в том числе и операторов в составе бригад; действий ЛО в нештатных (опасных) ситуациях. Недостатки: высокая сложность специализированных тренажерных комплексов, полноценно имитирующих взаимодействие ЛО с управляемыми СЧМС – как следствие, высокие стоимости их создания и использования; необходимость индивидуальной разработки ПС для таких систем; часто – небольшой контингент ЛО, который будет пользоваться ПАК и пр. Вариант 7б – промежуточный между 7а и 7в. Достоинство: позволяет охватить большее (в отношении функциональности выполняемых действий) количество ЛО по сравнению с 7в. Недостаток: качество имитации условий работы ЛО ниже по сравнению с 6в.

8. Комбинации, рассмотренных выше вариантов, включая следующие. а) Сочетание «автономный ПАК + смартфон (или планшет)», на который по беспроводному каналу передается информация. Так, например, могут контролироваться значительные пространственные перемещения ЛО, работающих в составе бригады; обеспечиваться их оперативное информирование о необходимых действиях и пр. б) Сочетание «игровая приставка с двумя видеокамерами» (со стереоскопическим зрением) + ПАК.

Типичные отличия тренинга ЛО с использованием ПАК по сравнению с тестированием.

1. Обеспечение тренирующихся информацией обратной связи: сведения о правильности завершённых действий (верно – неверно, оптимально или нет и пр.); о выполняемых действиях в визуальной или голосовой форме – в том числе для оперативной корректировки этих действий тренирующимся лицом; об оптимальных вариантах ответов на ТЗ (решений, действий и пр.) – по сравнению с ответами, фактически данными тренирующимися; оценки отклонений ответов на ТЗ от оптимальных значений (по отдельным ТЗ и по совокупности ТЗ в тесте); выдача подсказок испытуемым, если они недостаточно оперативно реагируют на предъявленные ТЗ. **2.** Для неверных ответов (действий) ЧО: выдача диагностических сообщений; возможность повторных ответов, в том числе, возможно, с предварительной

наглядной демонстрацией того, «как надо делать правильно» с помощью видеороликов, голосовых комментариев и пр. 3. Возможности задания «уровней сложности» тренинга, исходя из функциональных обязанностей конкретных ЛО, их квалификации, практического опыта, степени утраты навыков после длительных перерывов в работе, а также результатов предыдущих ответов (в адаптивных режимах). Уровень сложности ТЗ может меняться за счет следующего: количества демонстрируемой ЧО информации в единицу времени; предполагаемого количества необходимых действий со стороны ЧО в единицу времени; частоты предъявления ЧО ТЗ для выполнения; уровней помех, сопровождающих предъявление ТЗ. Отметим, что фактическое выполнение ЛО действий может выполняться с некоторой принудительной паузой по отношению к предъявлению заданий – это позволяет тренировать характеристики оперативной памяти ЛО. 4. В ряде случаев – высокие доли по времени для воспроизводимых нештатных (предаварийных, аварийных) ситуаций – для отработки навыков действий в таких ситуациях. Отметим, что при тренинге ЛО могут имитироваться не только отказы «исполнительных механизмов» СЧМС, но и устройств отображения информации для ЛО, каналов связи. 5. Сниженные (по сравнению с реальными условиями работы) уровни ответственности ЛО при тренинге за принимаемые/реализуемые решения. С одной стороны, это уменьшает эмоционально-психологическую нагрузку на ЛО, с другой – снижает их мотивацию в отношении скорости принятия решений и их реализации в виде действий. 6. Возможность при тренинге полного протоколирования задаваемых воздействий и реакций ЛО на них (включая привязку к конкретным моментам времени воздействий и ответных действий); возможность проведения аудиовидеозаписей для действий в нештатных ситуациях и последующего анализа таких записей – в том числе «пошагового».

Закключение. 1. В статье выполнен системный анализ моделей, методов, технических средств, обеспечивающих комплексную поддержку принятия и практической реализации решений, связанных с задачами риск-менеджмента при проектировании, создании и эксплуатации СЧМС. 2. Рассмотрены возможные варианты классификации СЧМС; особенности СЧМС разных классов, в том числе в отношении взаимодействия с ЛО. 3. Исследована структура рисков при проектировании, создании и эксплуатации СЧМС; возможные подходы к управлению рисками эксплуатации АПС СЧМС, использования ЛО; информационного обеспечения их деятельности. 4. Предложен ряд математических моделей, в том числе для оптимизации затрат, связанных с реализацией мер РМ; для оптимизации распределения функций между АПС СЧМС и ЛО. 5. Рассмотрены некоторые организационные, методические и технические вопросы, связанные с проведением тестирования и тренинга ЛО. 6. Приведенный в статье материал может быть использован для следующих целей: разработки систем поддержки принятия и реализации решений, связанных с управлением рисками при проектировании, создании и эксплуатации СЧМС, разработки АПС для тестирования и тренинга ЛО, управляющих СЧМС; для разработки методов учета результатов тестирования/тренинга ЛО при принятии решений по их использованию при эксплуатации СЧМС, включая формирование бригад из отдельных ЛО.

Библиографический список

1. Алексеев В. В. Моделирование деятельности человека-оператора в автоматизированных системах управления / В. В. Алексеев // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2003. – № 3. – С. 54–56.
2. Брумштейн Ю. М. Сравнительный анализ функциональности программных средств управления проектами, распространяемых по модели SaaS / Ю. М. Брумштейн, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4. – С. 34–51.
3. 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 : материалы Всерос. школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. – Саратов : Саратовский источник, 2016. – С. 205–207.
4. 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.
5. 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 – ММТТ. – 2018. – Т. 5. – С. 72–76.

6. Будушкин М. В. Управление рисками в процессе эксплуатации сложных технических систем / М. В. Будушкин, Д. И. Опрышко // Труды Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. – 2010. – № 628. – С. 17–22.
7. Горячкина Т. Г. К оценке функционального состояния человека-оператора / Т. Г. Горячкина, В. И. Евдокимов, П. М. Шалимов // Медицина труда и промышленная экология. – 2006. – № 8. – С. 35–38.
8. 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.
9. Захаров Е. С. Экспериментальные исследования и анализ психофизиологического состояния и деятельности человека-оператора / Е. С. Захаров, А. А. Скоморохов, И. Г. Городецкий // Известия ТРТУ. – 2004. – № 6 (41). – С. 39–41.
10. Зорин Э. Ф. Управление рисками в задаче обеспечения информационной безопасности информационно-телекоммуникационных систем, функционирующих в условиях информационно-технических воздействий / Э. Ф. Зорин, Б. С. Рыжов, Ю. Н. Бубенчиков // Двойные технологии. – 2017. – № 3 (80). – С. 61–65.
11. Кореневский Н. А. Методы и средства для исследования параметров внимания и памяти человека / Н. А. Кореневский, О. И. Филатова, А. В. Носов, А. Н. Коростелев // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2010. – Т. 9, № 1. – С. 134–137.
12. Крупеня О. В. Восприятие шумовых сигналов человеком-оператором / О. В. Крупеня // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 1 (78). – С. 9.
13. 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.
14. Марченко А. А. Стабилографический показатель напряженности человека-оператора в процессе деятельности / А. А. Марченко // Известия ТРТУ. – 2004. – № 6 (41). – С. 22–24.
15. Михеев В. А. Разработка формальной структуры системы управления рисками информационной и функциональной безопасности multifunctional информационных систем при электромагнитных воздействиях / В. А. Михеев, В. Г. Семин // Технологии электромагнитной совместимости. – 2013. – № 4 (47). – С. 65–68.
16. Пупков К. А., Устюжанин А. Д. Оценка влияния вибрации на эффективность работы человека-оператора в человеко-машинных системах / К. А. Пупков, А. Д. Устюжанин, В. Д. Шашурин // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. – 2006. – № 2 (63). – С. 30–36.
17. Семенистая Е. С. Анализ методов оценки надежности деятельности человека-оператора / Е. С. Семенистая, О. Н. Подопрыголова, Н. С. Семунина // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 2 (79). – С. 209–217.
18. Сеньков А. В. Особенности наполнения онтологии знаниями при управлении рисками в сложных организационно-технических системах / А. В. Сеньков, В. С. Луферов, Е. М. Гервик // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2018. – Т. 3, № 1 (7). – С. 2–6.
19. Тарабанов В. Н. Управление технологическими рисками сложных технических систем / В. Н. Тарабанов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2014. – № 1–2 (67–68). – С. 15–25.
20. Тарабанов В. Н. Управление технологическими рисками сложных технических систем по охране и защите оператора в новых временных условиях / В. Н. Тарабанов, М. Н. Кириносенков, Е. В. Поломошнова // Национальная Ассоциация Ученых. – 2018. – № 38. – С. 27–30.
21. 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. Ажмухаедов, О. М. Князева, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 2 (34). – С. 82–97.
22. Шмидт С. А. Метод диагностики параметров психомоторного статуса человека-оператора / С. А. Шмидт, Т. Н. Кочегура, Т. А. Аристова, Е. Л. Шатова // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 1. – С. 59.
23. Хало П. В. Диагностика и коррекция психофизиологического состояния человека-оператора в условиях развивающегося информационного общества / П. В. Хало // Известия ТРТУ. – 2006. – № 1 (56). – С. 122–126.
24. Kaab M. A. Ja. The importance of risk management to the director of the project and its impact on the time and cost of the project / M. A. Ja. Kaab, N. B. Kolosova, E. S. Kolosov, T. N. Soldatenko // International Scientific Review. – 2017. – № 2 (33). – С. 32–41.
25. Kriuchkovskiy V. V. Coordination and management of functioning and development of organizational and technical systems in conditions of uncertainty and risk / V. V. Kriuchkovskiy, E. G. Petrov // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 4 (97). – С. 62–66.

References

1. Alekseev V. V. Modelirovanie deyatel'nosti cheloveka-operatora v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya [Human activity modeling-the operator in automated control systems]. *Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii* [Problems of Mechanical Engineering and Automation], 2003, no. 3. pp. 54–56.
2. Brumshteyn Yu. M., Dyudikov I. A. Sravnitel'nyy analiz funktsionalnosti programmnykh sredstv upravleniya proektami, rasprostranyaemykh po modeli SaaS [Contrastive analysis of functionality of the control software projects distributed on the SaaS model]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no.4, pp. 34–51.
3. 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 : materialy Vseros. shkoly-seminara* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine : materials of the All-Russian seminar school]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2016, pp. 205–207.
4. Brumshteyn Yu. M., Kuanshkaliev T. Kh., Molimonov D. A., Ramazanova L. Sh. Apparato-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 : materialy Vseros. shkoly-seminara* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine : materials of the All-Russian seminar school]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2017, pp. 77–80.
5. Brumshteyn Yu. M., Molimonov D. A. Tsvetovaya pamyat ispytuemykh: analiz metodik issledovaniy i sposobov obrabotki rezultatov [Color memory of examinees: the analysis of of researches techniques and ways of the results processing]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT* [Mathematical methods in the technique and technologies – MMTT], 2018, vol. 5, pp. 72–76.
6. Budushkin M. V., Opryshko D. I. Upravlenie riskami v protsesse ekspluatatsii slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Risk management in the use of complex technical systems]. *Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii im. A.F. Mozhayskogo* [Proceedings of Military Space Academy named by A.F. Mozhaysky], 2010, no. 628, pp. 17–22.
7. Goryachkina T. G., Yevdokimov V. I., Shalimov P. M. K otsenke funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka-operatora [To assessment of a functional status of the person operator]. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Medicine of work and industrial ecology], 2006, no. 8, pp. 35–38.
8. 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 flow-ers 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 uchennykh* [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 Publ., 2014, pp. 251–252.
9. Zakharov Ye. S., Skomorokhov A. A., Gorodetskiy I. G. Eksperimentalnye issledovaniya i analiz psikhofiziologicheskogo sostoyaniya i deyatel'nosti cheloveka-operatora [Pilot studies and analysis of a psychophysiological status and activity of the person operator]. *Izvestiya TRTU* [TRTU News], 2004, no. 6 (41), pp. 39–41.
10. Zorin E. F., Ryzhov B. S., Bubenshchikov Yu. N. Upravlenie riskami v zadache obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem, funktsioniruyushchikh v usloviyakh informatsionno-tekhnicheskikh vozdeystviy [Risk management in the problem of information security support of the information telecommunication systems functioning in the conditions of information and technical influences]. *Dvoynye tekhnologii* [Double Technologies], 2017, no. 3 (80), pp. 61–65.
11. Korenevskiy N. A., Filatova O. I., Nosov A. V., Korostelev A. N. Metody i sredstva dlya issledovaniya parametrov vnimaniya i pamyati cheloveka [Methods and means for a research of person's parameters of attention and memory]. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* [The System Analysis and Management in Biomedical Systems], 2010, vol. 9, no. 1, pp. 134–137.
12. Krupenya O. V. Vospriyatie shumovykh signalov chelovekom-operatorom [Perception of noise signals by the person operator]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [News of SFU. Technical science], 2008, no. 1 (78), p. 9.
13. 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 : Proceedings on Materials XVII of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa, 2018, pp. 142–145.
14. Marchenko A. A. Stabilograficheskiy pokazatel napryazhennosti cheloveka-operatora v protsesse deyatel'nosti [Stabilographic indicator of the person-operator strength of tension in the course of activity]. *Izvestiya TRTU* [News of TRTU], 2004, no. 6 (41), pp. 22–24.
15. Mikheev V. A., Semin V. G. Razrabotka formal'noy struktury sistemy upravleniya riskami informatsionnoy i funktsional'noy bezopasnosti mnogofunktsionalnykh informatsionnykh sistem pri elektromagnitnykh vozdeystviyakh [Development of formal structure of a risk management system of information and func-

tional security of multifunction information systems at electromagnetic influences]. *Tekhnologii elektromagnitnoy sovmestimosti* [Technologies of Electromagnetic Compatibility], 2013, no. 4 (47), pp. 65–68.

16. Pupkov K. A., Ustyuzhanin A. D., Shashurin V. D. Otsenka vliyaniya vibratsii na effektivnost raboty cheloveka-operatora v cheloveko-mashinnykh sistemakh [Vibration impact assessment on overall performance of the person operator in human-machine systems]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni N.E. Baumana. Seriya: Priborostroenie* [The Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Series: Instrument making], 2006, no. 2 (63), pp. 30–36.

17. Semenistaya Ye. S., Podoprygolova O. N., Semunina N. S. Analiz metodov otsenki nadezhnosti deyatel'nosti cheloveka-operatora [Analysis of valuation methods of reliability of activity of the person operator] *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [News of SFU. Technical science], 2008, no. 2 (79), pp. 209–217.

18. Senkov A. V., Luferov V. S., Gervik Ye. M. Osobennosti napolneniya ontologii znaniyami pri upravlenii riskami v slozhnykh organizatsionno-tekhnicheskikh sistemakh [Features of filling of ontology knowledge at risk management in complex organizational and technical systems]. *Mezhdunarodnyy zhurnal informatsionnykh tekhnologiy i energoeffektivnosti* [The International Journal of Information Technologies and Energy Efficiency], 2018, vol. 3, no. 1 (7), pp. 2–6.

19. Tarabanov V. N. Upravlenie tekhnologicheskimi riskami slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Management of technological hazards of complex technical systems]. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu* [Questions of the defense equipment. Series 16: Technical means of counteraction to terrorism], 2014, no. 1–2 (67–68), pp. 15–25.

20. Tarabanov V. N., Kimosenkov M. N., Polomoshnova Ye. V. Upravlenie tekhnologicheskimi riskami slozhnykh tekhnicheskikh sistem po okhrane i zashchite operatora v novykh vremennykh usloviyakh [Management of technological hazards of complex technical systems on protection and protection of the operator in new temporary conditions]. *Natsionalnaya Assotsiatsiya Uchenykh* [National Association of Scientists], 2018, no. 38, pp. 27–30.

21. 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, 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.

22. Shmidt S. A., Kochegura T. N., Aristova T. A., Shatova Ye. L. Metod diagnostiki parametrov psikhomotornogo statusa cheloveka-operatora [Method of diagnostics of parameters of the person-operator psychomotor status]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern High Technologies], 2006, no. 1, p. 59.

23. Khalo P. V. Diagnostika i korrektsiya psikhofiziologicheskogo sostoyaniya cheloveka-operatora v usloviyakh razvivayushchegosya informatsionnogo obshchestva [Diagnostics and correction of a psychophysiological status of the person-operator in the conditions of the information society development]. *Izvestiya TRTU* [News TRTU], 2006, no. 1 (56), pp. 122–126.

24. Kaab M. A. Ja., Kolosova N. B., Kolosov E. S., Soldatenko T. N. The importance of risk management to the director of the project and its impact on the time and cost of the project. *International Scientific Review*, 2017, no. 2 (33), pp. 32–41.

25. Kriuchkovskiy V. V., Petrov E. G. Coordination and management of functioning and development of organizational and technical systems in conditions of uncertainty and risk [Coordination and management of functioning and development of organizational and technical systems in conditions of uncertainty and risk]. *Visnik Vinnitskogo politekhnicheskogo institutu* [Bulletin of Vinnitsa Politechnic Institute], 2011, no. 4 (97), pp. 62–66.

УДК [004.02+004.05]:62-5

**УПРАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРКА
МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В КРУПНЫХ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ
РОССИИ: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЦЕЛЕЙ, МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ
РЕШЕНИЙ, КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДОСТИГАЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Статья поступила в редакцию 15.04.2019, в окончательном варианте – 07.07.2019.

Кабачек Николай Иванович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, доктор медицинских наук, e-mail: aspu@aspu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3454-5490>

Бруштейн Юрий Моисеевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, кандидат технических наук, доцент, e-mail: brum2003@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0016-7295>

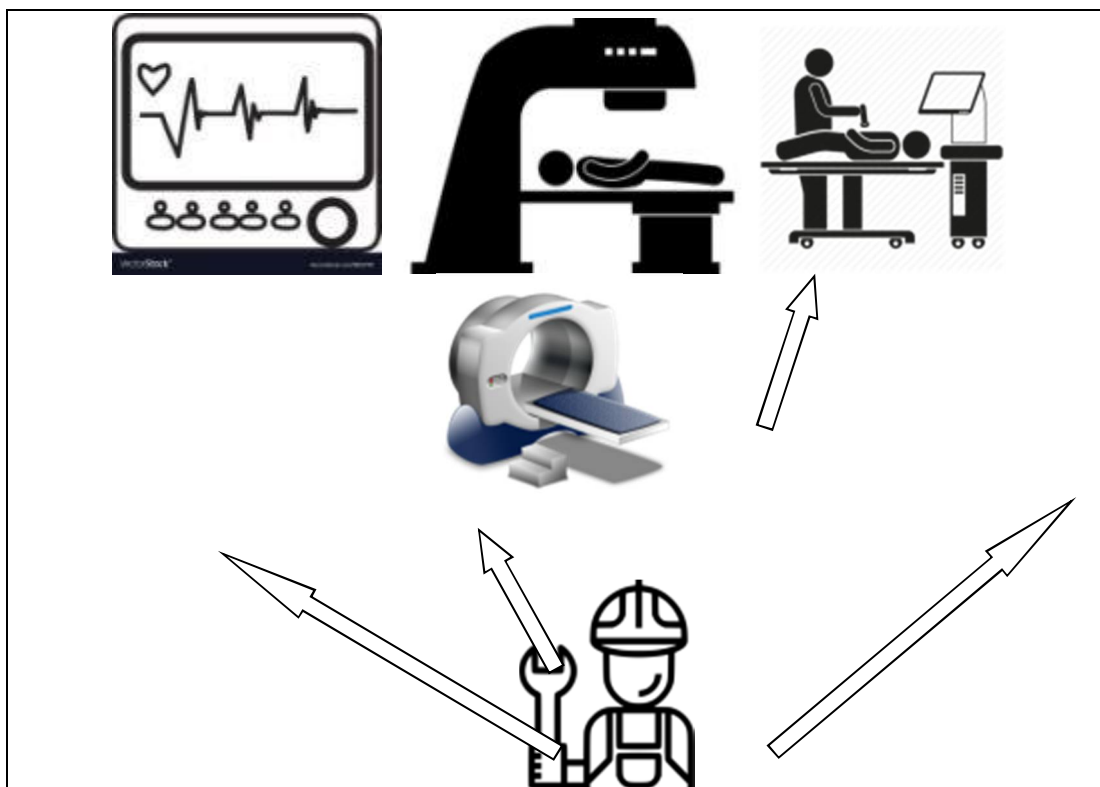
Сокольский Виталий Михайлович, фирма «Системы, технологии и сервис», 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Крупская, д. 6, кв. 72, генеральный директор фирмы, e-mail: sokolskiy_vm@mail.ru

Захаров Дмитрий Александрович, ГБУЗ АО «Александро-Мариинская областная клиническая больница», 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 2, главный врач больницы, кандидат медицинских наук, e-mail: dmitrizahar@mail.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9532-9153>

Показана роль парка медицинского оборудования (МО) в деятельности крупных лечебных учреждений России (КЛЮР). Представлены возможные варианты классификации единиц МО, применяемого в КЛЮР; особенности выделяемых классификационных групп оборудования с точки зрения их эксплуатации. Показана целесообразность использования понятия «эффективность эксплуатации» (ЭЭ) для отдельных единиц МО и для парка МО в КЛЮР. Для них рассмотрены типичные цели и ограничения по управлению ЭЭ с учетом следующего: направлений деятельности КЛЮР; нормативных требований к их оснащению оборудованием; стандартов диагностики и лечения заболеваний по профилям деятельности КЛЮР; оперативных и долгосрочных целей их деятельности; квалификации персонала. Приведены основные виды управления ЭЭ в отношении самого МО, эксплуатационного и сервисного персонала КЛЮР; внешних организаций, осуществляющих поставки и обслуживание МО. Указан состав лиц, участвующих в принятии решений, связанных с обеспечением ЭЭ оборудования; номенклатура учитываемых ими факторов. Исследованы особенности реализации принятых решений по управлению ЭЭ, включая следующее: назначение конкретных исполнителей и сроков выполнения работ, связанных с эксплуатацией МО; мониторинг сроков и качества выполнения принятых решений; источники информации, используемые при таком мониторинге; применение информационно-телекоммуникационных технологий для целей мониторинга использования МО, а также выполнения принятых решений; причины возможных корректировок или отмены ранее принятых решений, связанных с МО. Рассмотрены основные критерии, которые могут быть использованы при оценках результативности реализации решений по управлению ЭЭ отдельных единиц МО и парка МО в целом. Обсуждены также некоторые вопросы, относящиеся к построению компьютеризованных систем поддержки принятия решений, связанных с управлением ЭЭ оборудования в КЛЮР.

Ключевые слова: крупные лечебные учреждения, медицинское оборудование, классификация, эффективность эксплуатации, цели управления, ограничения по управлению, виды управления, принятие решений, реализация решений, оценки результативности решений, информационно-телекоммуникационные технологии; системы поддержки принятия решений

Графическая аннотация (Graphical annotation)



**MANAGEMENT OF EFFICIENCY OF OPERATION OF THE PARK
OF THE MEDICAL EQUIPMENT IN STATIONARY MEDICAL INSTITUTIONS:
THE SYSTEM ANALYSIS OF THE PURPOSES, METHODS OF ACCEPTANCE
AND IMPLEMENTATION OF DECISIONS, CRITERIA
FOR EVALUATION OF THE ACHIEVED RESULTS**

The article was received by the editorial board on 15.04.2019, in the final version – 07.07.2019.

Kabachek Nikolay I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Medicine), e-mail: aspu@aspu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3454-5490>

Brumshteyn Yury 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

Sokolsky Vitaly M., Systems, Technologies and Service, apartment 72, 6 Krupskaya St., Astrakhan, 414011, Russian Federation,

CEO of firm, e-mail: sokolskiy_vm@mail.ru

Zakharov Dmitry A., State Budgetary Establishment of Health Care of Astrakhan Region “Aleksandro-Mariinsky Regional Clinical Hospital”, 2 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Chief Physician of hospital, Cand. Sci. (Medicine), e-mail: dmitrizahar@mail.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9532-9153>

The role of medical equipment (ME) fleet in activity of large scale medical institutions (LSMI) of Russia is shown. The article presents possible classification options for ME units used in LSMI; features of the equipment classification groups singled out based on their operation. The expediency of use of the concept “operation efficiency” (OE) for separate units of ME and for the ME fleet in LSMI is demonstrated. Typical purposes and restrictions on OE management for units of ME and the ME fleet as a whole taking into account the following are given: LSMI activities; regulatory requirements to their equipment capacity; diagnostic standards and standards for diseases treatment within the areas of LSMI activities; operational and long-term goals of their activities; actual qualification

of LSMI personnel. Main types of OE management with regard to ME, operational and service personnel of LSMI; external organizations which provide shipping and maintenance of ME are given. Authors are specified the list of persons, who take part in decision-making, connected with OE equipment provision; the nomenclature of the factors considered by them during decision-making. Features of implementation of OE management decisions, including the following are studied: appointment of specific performers and terms of performance of the works related to ME operation; monitoring of terms and quality of the made decisions implementation; information sources, used when conducting such monitoring; use of information-telecommunication technologies for monitoring of ME use, as well as for implementation of the decisions taken; reasons for possible adjustments or cancellation of earlier made decisions, associated with ME. Main criteria, which can be used when estimating effectiveness of implementation of OE management decisions concerning separate units of ME and ME fleet as a whole, are considered. Authors are discussed also some issues, related to creation of computerized decision-making support systems connected with OE management of the equipment in large scale medical institutions.

Keywords: large scale medical institutions, medical equipment, classification, operation efficiency, management purposes, management restrictions, types of management, decision-making, decisions implementation, assessment of decisions effectiveness, information and telecommunication technologies; decision-making support systems

Введение. Обеспечение доступности и качества медицинского обслуживания для населения России, в том числе работающего населения, является необходимым условием социально-экономического развития страны в целом, отдельных регионов и населенных пунктов, успешности деятельности организаций разных направлений деятельности. При этом ключевую роль в оказании сложных видов медицинской помощи играют крупные лечебные учреждения России (КЛУР). Эту категорию медицинских учреждений можно подразделить на следующие подкатегории: больницы; автономные центры, включая реабилитационные; специализированные диспансеры; с оговорками – некоторые НИИ медицинского направления. В свою очередь крупные больницы могут иметь в своем составе следующие подразделения: стационары, в которых больные обычно находятся круглосуточно; поликлиники; диагностические центры [3]; с оговорками – службы скорой медицинской помощи (в основном в центральных районных больницах). Существенно, что финансирование абсолютного большинства КЛУР в стране в конечном счете осуществляется из бюджетов, хотя некоторые средства эти учреждения могут получать и за счет оказания платных медицинских услуг населению.

Результативность деятельности КЛУР определяется следующими факторами: а) наличием необходимого количества и квалификацией медицинского персонала, в том числе непосредственно эксплуатирующего медицинское оборудование (МО); б) располагаемыми производственными площадями для организации медицинского обслуживания, включая площади, необходимые для размещения стационарного МО; в) парком МО в КЛУР. При этом важно соответствие номенклатуры и фактического количества единиц МО (ЕМО) и тому, что необходимо по нормам [19]; г) функциональностью МО [3–5, 12]; г) установленными ограничениями на длительность непрерывной эксплуатации отдельных ЕМО; суммарных продолжительностей их использования в течение определенного промежутка времени (суток, месяца, года). В связи с этим отметим, что только в некоторых типах новых ЕМО (например, в анализаторах) устанавливаются «автоматические счетчики суммарного времени», в течение которого это оборудование находилось во включенном состоянии. Такие счетчики иногда используются и в компьютерном оборудовании, причем они обычно имеют собственные дисплеи для отображения показаний; д) степенями физического износа [17] и морального старения ЕМО; е) количествами фактических отказов ЕМО в процессе эксплуатации и прогнозными значениями вероятностей таких отказов [28], в том числе с учетом предшествующего опыта их использования; ж) наличием и полнотой фактической реализации планов замены МО в КЛУР, а также их дооснащения оборудованием.

Эффективность эксплуатации (ЭЭ) парка МО [1, 18, 22, 25] в организации зависит также от следующих факторов: з) наличия и квалификации сервисного (ремонтного) персонала, который способен поддерживать МО в работоспособном состоянии. и) качества обеспечения безопасности персонала КЛУР и пациентов (больных) при эксплуатации ЕМО [7, 8]. В частности, важно следующее: наличие заземлений оборудования; низких величин «сопротивлений заземляющих устройств»; наличие инструкций по технике безопасности и их соблюдение персоналом; к) качества метрологического обеспечения ЕМО при его использовании [14, 27]; л) результативности применения сайта КЛУР, электронной почты, смартфонов пациентов, информационных систем организаций для управления «потокami» обслуживаемых лиц, рационального распределения их по моментам обслуживания в КЛУР; в том числе в диагностических центрах.

Вопросам приобретения и эксплуатации МО в России посвящено достаточно много работ (например [3, 19, 29]). В них рассматриваются различные вопросы, включая управление безопасностью, рисками эксплуатации [7, 8, 24]; оптимизации длительности эксплуатационного цикла [21] ЕМО; замещения импортного оборудования отечественным [23] и пр. Однако, по мнению авторов настоящей статьи, анализ целей, методов принятия и реализации решений, связанных с обеспечением ЭЭ МО, а также критериев оценки качества результатов, достигаемых в результате реализации этих решений, в существующих публикациях проведен недостаточно комплексно. Поэтому в данной работе ставилась цель устранить этот недостаток.

Классификация медицинского оборудования с учетом особенностей его эксплуатации и выполнения технического обслуживания. Классификация МО может производиться по различным направлениям (категориям, характеристикам, показателям) и т.д., причем выделяемые далее направления относятся в основном к эксплуатации МО. 1. По предназначению ЕМО или их комплексов: диагностическое [3, 18], включая мониторинговое и лабораторное; лечебное, включая реабилитационное; вспомогательное – в том числе дезинфекционное [23]. В рамках этих категорий могут быть использованы подкатегории, более точно описывающие целевое назначение ЕМО. 2. По паспортной календарной продолжительности эксплуатации ЕМО (оценивается в годах), начиная с момента ввода их в эксплуатацию или с отсчетом с момента выпуска производителем. Типичные продолжительности, указываемые в паспортах: 3, 5, 7, 10 лет. Паспортная продолжительность эксплуатации носит, фактически, рекомендательный характер, так как гарантийные обязательства устанавливаются отдельно и они значительно короче по времени. 3. По предусматриваемой изготовителем оборудования суммарной продолжительности эксплуатации ЕМО (в часах) за весь ее жизненный (эксплуатационный) цикл. Это – параметр, впрочем, отражается изготовителями в документации на МО редко. С другой стороны, указание только календарной продолжительности эксплуатации МО (фактически – длительности «эксплуатационного цикла» [21]) ориентировано на некоторую среднюю загрузку ЕМО и средние потребляемые ею мощности в процессе работы. 4. Дополнительно может ограничиваться рекомендуемая продолжительность непрерывной эксплуатации ЕМО (без пауз), а также продолжительность их суточной эксплуатации. Эти продолжительности встроенными программными решениями ЕМО не контролируются, однако они могут включаться в инструкции для эксплуатационного персонала. 5. По длительности гарантийного срока. Типичные значения: 1, 2, 3 года – при соблюдении ряда правил эксплуатации ЕМО. 6. По степени мобильности оборудования: стационарное (например, магнитно-резонансные томографы); условно мобильное, т.е. допускающее ограниченные перемещения в необходимых случаях (например, палатные рентгеновские аппараты); мобильное (например, тонометры), которое изначально рассчитано на переноску вручную – обычно одним человеком. 7. По габаритно-весовым характеристикам. При этом для мобильного оборудования важна возможность его переноски одним человеком, удобство такой переноски, вопросы обеспечения электропитания некоторых видов ЕМО. Для условно мобильного оборудования его перемещение обычно осуществляется либо на колесиках, либо путем переноски двумя или более людьми. При этом для оценки необходимого количества людей важен вес ЕМО, необходимость его подъема по лестницам и пр. Для стационарных ЕМО важно следующее: размеры – их собственные, а также зоны обслуживания, в которой не могут размещаться другие ЕМО; вес – для оценки допустимых мест их размещения в помещениях с учетом несущей способности строительных конструкций. 8. По технологическому уровню ЕМО. Принято отдельно выделять «высокотехнологичное» оборудование. Однако резкой границы между ним и иным медоборудованием обычно нет; в нормативных документах также не прописано, какие именно модели оборудования являются высокотехнологичными. Медицинские услуги, в которых используется высокотехнологичное оборудование, как правило, имеют большую стоимость; требуют более высокой квалификации медицинского и эксплуатационного персонала. На ряд высокотехнологичных медицинских услуг выделяются «федеральные квоты» – например, на проведение некоторых хирургических операций за счет средств фонда ОМС. 9. По потребляемой мощности. При высоких мощностях ЕМО может потребоваться использование для них специальных электрокабелей, электрощитов и пр. 10. По уровням электробезопасности при использовании ЕМО. 11. По требованиям к уровням квалификации сервисного персонала, который должен производить обслуживание ЕМО. 12. По классам допусков в отношении «электробезопасности», которые необходимо иметь сервисному персоналу, работающему с этим оборудованием, в том числе производящему ремонтные

операции. 12. По необходимым объемам профилактического и ремонтного обслуживания ЕМО. Эти объемы могут оцениваться и/или учитываться в нормо-часах: либо за определенный календарный период эксплуатации ЕМО, либо в расчете на 100 часов ее фактической эксплуатации. 13. По средним временам наработки ЕМО на отказы: «ремонтнопригодные» и «неремонтнопригодные». 14. По номенклатуре, количествам и стоимостям расходных материалов и запасных частей, необходимых для эксплуатации ЕМО в течение года.

Часть указанных параметров для конкретных моделей МО представлена в их паспортах или может быть оценена (определена) на основе этих параметров. В то же время другую часть параметров нередко оценить априорно нельзя, особенно если такая же (или аналогичная ей модель ЕМО) в КЛУР ранее не использовалась. Подчеркнем, что некоторые из указанных параметров (включая время наработки на отказ и объемы сервисного обслуживания) могут прямо влиять на результативность использования ЕМО, на оценки целесообразности его приобретения, продолжения эксплуатации и пр.

Понятие «эффективность эксплуатации» медицинского оборудования и возможные подходы к его оценке. Под термином «эффективность» в экономической литературе обычно понимают отношение результатов к затратам.

1. Такой расчетно-экономический подход можно использовать и для оценок эффективности эксплуатации (ЭЭ) отдельных ЕМО, их комплексов, в целом парка МО определенного КЛУР.

Применительно к эксплуатации ЕМО под «положительными результатами» для КЛУР в публикациях экономической направленности обычно понимается получение организациями некоторых «денежных доходов» от его эксплуатации [21].

В то же время для больных (пациентов) КЛУР положительные эффекты от использования ЕМО связаны с улучшением состояния их здоровья и/или предотвращением возможных ущербов от его ухудшения; с повышением результативности их деятельности в организациях и, как следствие, увеличением размеров зарплат. Для регионов и страны в целом положительные эффекты от использования ЕМО (не только в медучреждениях, но и на дому) связаны с повышением результативности труда работающего населения; снижением количества несчастных случаев; уменьшением отвлечения работоспособного населения на обслуживание больных на дому и пр.

Возможные источники доходов для КЛУР, связанные с использованием ЕМО:

а) получение оплаты за медицинское обслуживание больных (пациентов), включающее использование ЕМО, от медицинских страховых организаций (МСО). Эту оплату можно разделить на две части: 1) часть процедур, соответствующих предусмотренным стандартам лечения, МСО оплачивается за счет средств обязательного медицинского страхования (ОМС), которые перечисляют территориальные подразделения фонда ОМС (ФОМС). Однако ФОМС может перечислять КЛУР средства и напрямую: за обслуживание иногородних пациентов; за работы в рамках выделенных федеральных квот на выполнение дорогостоящих операций/процедур; 2) за счет средств, перечисляемых пациентами (больными) МСО в рамках договоров добровольного медицинского страхования – при условии, что выполненная КЛУР работы по своему содержанию и стоимости соответствовала таким договорам;

б) оплата со стороны некоторых организаций за обслуживание их работников, в том числе в рамках договоров на приоритетное медицинское обслуживание;

в) за счет личных средств пациентов (больных).

В целом по России для большинства КЛУР доля средств, получаемых от оказания платных услуг, обычно невелика и составляет несколько процентов от доходных частей их бюджетов. Однако бывают и исключения, когда «платные услуги» по объемам преобладают.

Затраты на эксплуатацию конкретной ЕМО для КЛУР включают в себя следующее: а) начисляемую ежегодно амортизацию на использование ЕМО – обычно исходя из паспортных сроков их эксплуатации; б) стоимость электроэнергии, потребляемой непосредственно ЕМО в процессе эксплуатации; в) затраты на расходные материалы, необходимые для эксплуатации ЕМО. Для большинства видов МО такие затраты есть и иногда весьма значительны; г) затраты на профилактическое обслуживание ЕМО, его периодическую настройку; д) стоимость метрологических проверок ЕМО, если в этом есть необходимость; е) затраты на запасные части и принадлежности для ЕМО; ж) стоимость ремонтного обслуживания ЕМО. Оно может осуществляться специалистами более высокой квалификации, чем профилактические работы, и включать в себя следующее: плановую замену деталей и блоков; проведение внепланового ремонта оборудования, вышедшего из строя; замену (обновление) программного обеспечения в ЕМО – при необходимости.

Укажем также затраты на некоторые меры «обеспечивающего характера»: з) коммунальные платежи КЛЮР, связанные с эксплуатацией территорий, зданий, помещений – кроме расходов, уже учтенных в пункте «б»; и) на обеспечение непрерывности подачи электроэнергии к ЕМО, а также «показателей качества» электроэнергии, включая отсутствие скачков напряжения, «блэкаутов» и пр.; к) на обеспечение мер техники безопасности при эксплуатации МО; л) на обеспечение мер физической и криминальной безопасности деятельности КЛЮР в целом и помещений, где эксплуатируются ЕМО – особенно дорогостоящие; м) на поддержку мер информационной безопасности при эксплуатации МО; н) на поддержку мер пожарной безопасности, включая сигнализацию о задымлении помещений, возгораниях. Однако системы автоматического пожаротушения в КЛЮР, как правило, не используются; о) расходы на обучение, повышение квалификации и сертификацию сотрудников, связанных с использованием МО – сервисного и эксплуатационного персонала.

К приведенному перечню видов затрат сделаем следующие примечания.

1. Техническое обслуживание МО в КЛЮР может осуществляться различно: а) их собственными штатными работниками, обычно сосредоточенными в отделах медицинской техники; б) другими организациями – обычно специализированными; в) внештатными специалистами, работающими по индивидуальным договорам с КЛЮР. Для пункта «б» возможны подварианты: б1) выполнение гарантийных обязательств производителями или поставщиками МО; б2) передача части МО в КЛЮР на обслуживание внешним сервисным организациям (аутсорсинг) [15], которые самостоятельно приобретают запасные части, контрольно-диагностическое и иное необходимое оборудование; при необходимости – специальное программное обеспечение (ПО) для диагностики МО и пр.

2. В случае самостоятельного обслуживания МО в КЛЮР могут создаваться некоторые складские запасы не только расходных материалов, но и запасных частей для оборудования. Цели создания таких запасов: снижение рисков длительного ожидания их получения при возникновении срочных потребностей в ремонте (это особенно касается сложного МО зарубежного производства); обеспечение возможности эксплуатации ЕМО за пределами паспортных сроков, когда производители уже прекратили выпуск запчастей. Однако использование складских запасов в КЛЮР приводит к «омертвлению» какой-то части их оборотных средств. Косвенно это влияет на затраты, связанные с эксплуатацией ЕМО, в сторону их увеличения.

3. В случае рационального управления гарантийными обязательствами при закупках МО [9] стоимость его ремонтного обслуживания в течение «жизненного цикла» может быть снижена. На практике эффективность гарантийных обязательств поставщиков МО во многом определяется наличием в населенном пункте расположения КЛЮР сервисного центра предприятия-производителя или его способностью достаточно быстро командировать сотрудников для выполнения сервисных операций. При этом по некоторым видам МО возможно приобретение КЛЮР «продленных гарантий», а также прав на «приоритетное обслуживание». В последнем случае сервисные организации за счет полученных от КЛЮР средств могут приобретать и хранить у себя некоторые количества запасных частей, необходимых для выполнения обязательств по ремонту МО в предусмотренные договорными обязательствами сроки.

По вопросам оценки ЭЭ МО имеется ряд публикаций [1, 8, 18, 21, 22, 25, 26]. При этом «экономическая оценка» ЭЭ осуществляется исходя из использования ЕМО в течение всей длительности его «жизненного цикла». Такая оценка может иметь два варианта: а) априорного характера – для планируемого к приобретению или уже эксплуатируемого МО. При этом учитывается предполагаемая продолжительность последующей эксплуатации ЕМО, уровни его загрузки, эксплуатационные затраты, в некоторых случаях – риски эксплуатации [24] и пр.; б) апостериорный – для ЕМО, снимаемых (или уже снятых) с эксплуатации. При этом для выполнения оценки важно наличие объективной информации за весь период «жизненного цикла» ЕМО. Апостериорные оценки важны, в частности, при принятии решений о приобретении нового оборудования (прежде всего аналогичных моделей); об изменении условий эксплуатации е;т используемого МО и пр.

При этом необходимо учесть следующее. 1. В большинстве КЛЮР по крайней мере сложные (дорогостоящие) ЕМО эксплуатируются и за пределами продолжительностей их использования, указанных в паспортах. При этом пока лишь в относительно немногие модели МО (обычно это только высокотехнологичное оборудование) производителями встраиваются чипы, предотвращающие возможности «сверхнормативного» использования. Для сравнения: в

некоторых моделях принтеров для ЭВМ, картриджей с тонером и пр. используются специальные чипы, ограничивающие количества листов, которые можно напечатать.

2. За период, превышающий нормативные сроки эксплуатации, бухгалтериями РКЕН не начисляются амортизационные отчисления на использование ЕМО, но оно может оставаться на «материальном учете». Однако оборудование с низкими стоимостями на материальный учет бухгалтериями вообще не ставится. Существенно, что объемы технического обслуживания, а также количество требующихся запчастей при продолжении эксплуатации ЕМО в сроки, превышающие паспортные, могут значительно возрастать. Как следствие растет и стоимость использования ЕМО. Поэтому в ряде работ [6, 21, 24] рассматриваются вопросы, прямо или косвенно связанные с ограничением сроков (прекращением эксплуатации) эксплуатации ЕМО ради экономии средств на техническое обслуживание.

3. На практике эксплуатация ЕМО в российских КЛУР обычно прекращается по следующим причинам: полный физический износ ЕМО, делающий нецелесообразным их дальнейшее использование – в том числе иногда и с позиций обеспечения техники безопасности и/или пожарной безопасности; отсутствие в продаже необходимых запасных частей к ЕМО и невозможность получить их при разборке аналогичного оборудования, которое списано; значительно реже – из-за морального устаревания ЕМО, не позволяющего использовать медицинские технологии, предусматриваемые стандартами лечения. Отметим также, что «вторичный рынок» (продажи ЕМО, которые уже были в эксплуатации) в России практически не функционирует [4].

4. Случаи замены ПО в ЕМО (в порядке апгрейда) характерны преимущественно для высокотехнологичного МО. При этом замена ПО (в том числе для устранения выявленных недочетов и оптимизации режимов работы) может осуществляться фирмами-производителями и в дистанционной форме. Кроме того, могут приобретаться (а затем устанавливаться на МО) дополнительные модули ПО, расширяющие его функциональные возможности. Например, это касается томографов и рентгеновского диагностического оборудования, для которого можно «докупать» модули обработки изображений по мере возникновения необходимости; УЗИ-оборудования, для которого могут приобретаться дополнительные датчики и программы обработки данных.

Помимо «экономической оценки» ЭЭ ЕМО, представленной выше, в практике деятельности КЛУР могут применяться и иные показатели.

1. Средняя доля по времени загрузки ЕМО на выполнение медицинских операций по отношению к среднесуточной продолжительности работы тех подразделений, в которых размещается стационарное МО. Подчеркнем, что речь идет о выполнении медицинских операций, а не просто о нахождении ЕМО во включенном состоянии.

2. Среднесуточная «загрузка» ЕМО выполнением медицинских операций. При этом для высокотехнологичного МО, полученного КЛУР в рамках федеральных программ, направленных на улучшение доступности и качества медицинской помощи, вышестоящими организациями степень такой «загрузки» может контролироваться.

На практике наиболее высокие уровни «загрузки» обычно имеют место для оборудования, которое в автоматическом режиме может непрерывно работать продолжительное время: мониторы состояния пациентов; аппараты искусственной вентиляции легких; холтеровские мониторы с длительностью работы в несколько суток и пр.

Расширение «временных границ» использования ЕМО, требующего труда персонала, может быть нецелесообразным из-за необходимости увеличения количества сотрудников КЛУР. В ряде случаев может быть выгоднее иметь в КЛУР больше однотипных «недорогостоящих» ЕМО, которые эксплуатируются только «в одну смену», чем наращивать численность квалифицированного персонала. В то же время для высокотехнологичного оборудования ситуация чаще всего прямо противоположная – для КЛУР может быть выгоднее полностью загрузить такое МО, даже если это потребует увеличения количества сотрудников. Отметим также, что некоторые виды оборудования в КЛУР могут находиться во включенном состоянии практически непрерывно – например, магнитно-резонансные томографы.

3. «Медицинская оценка» ЭЭ ЕМО обычно связана со следующими факторами: а) результатами, которые дает это оборудование при грамотном использовании для целей диагностики, включая вероятность правильной постановки диагноза, точность определения исследуемых показателей, точность пространственной локализации патологий и пр.; б) лечебными результатами, включая полноту и быстроту излечения заболеваний; отсутствие негативных побочных эффектов при лечении и пр.; в) результатами мониторинга состояния пациентов (для мониторингового оборудования), включая количество мониторируемых

параметров; точности их оценок; качество автоматической диагностики возникновения нештатных ситуаций; эффективность сигнализации о них или принятия необходимых действий в автоматическом режиме и пр.

При этом оценки ЭЭ в виде отношения «положительных эффектов для пациентов» к «затратам на эксплуатацию оборудования для КЛУР» не используются. Непосредственно для КЛУР повышение «медицинской эффективности» ЕМО может обеспечивать сокращение сроков пребывания «стационарных» пациентов; уменьшение вероятности появления претензий с их стороны в последующий период; снижение количества «побочных эффектов» и пр.

На практике для КЛУР целесообразно различать понятия ЭЭ для отдельных ЕМО и в целом для «парка МО» организации. В частности, с точки зрения интересов КЛУР могут быть целесообразными такие решения.

1. Создание «складского резерва» работоспособных ЕМО, которые могут использоваться для подмены вышедшего из строя оборудования; тех ЕМО, которые направляются на метрологическую поверку или на плановое техническое обслуживание. Это снижает среднюю загрузку ЕМО в КЛУР, но позволяет обеспечить «бесперебойность» (непрерывность) использования медицинских технологий диагностики и лечения заболеваний.

2. Приобретение и использование вместо монофункциональных более дорогих полифункциональных устройств, позволяющих выполнять различные виды медицинских операций (действий, манипуляций). Преимущества полифункциональных устройств в типичных случаях: легче обеспечить более высокую загрузку таких ЕМО; экономия рабочих площадей в КЛУР; часто – меньшая стоимость по сравнению с суммами стоимостей монофункциональных устройств, которые заменяются полифункциональным; экономия на техническом обслуживании полифункционального устройства по сравнению с двумя или больше монофункциональными. С другой стороны, монофункциональные устройства могут эксплуатироваться параллельно и обеспечивать потенциальную возможность обслуживания большего количества пациентов (при их полной загрузке). Поэтому в конкретных случаях решения о выборе могут приниматься в пользу как поли-, так и многофункциональных устройств.

3. Для КЛУР может также быть эффективным приобретение МО, дающего возможность одновременно обслуживать сразу группу пациентов. Однако это требует согласования индивидуальных графиков их обслуживания.

4. Функциональность и производительность автоматизированного лабораторного оборудования должна быть достаточной для решения не только текущих, но и некоторых будущих задач – по крайней мере, в пределах паспортных сроков продолжительности эксплуатации такого оборудования. Отметим также, что для анализаторов биопрепаратов (например, биохимических анализаторов) стоимость единичного исследования резко снижается с увеличением их мощности (производительности) – естественно при наличии адекватной загрузки указанного оборудования.

Цели управления эффективностью эксплуатации медицинского оборудования в КЛУР. В отношении обеспечения ЭЭ основными целями управления парком МО в КЛУР (с позиций его руководства и сотрудников) обычно является соблюдение следующих условий.

1. Нормативные требования к оснащенности медицинских учреждений – с учетом профилей и объемов их деятельности, стандартов диагностики и лечения заболеваний. Поэтому приобретение ЕМО для соблюдения стандартов оснащенности иногда производится и без просчета рентабельности его эксплуатации.

2. Обеспечение конкурентоспособности КЛУР в отношении доступности и качества медицинской помощи, в том числе с учетом длительностей ожидания получения услуг, стоимостей платных медицинских услуг. Поэтому КЛУР в ряде случаев могут идти на увеличение количества ЕМО низкой и средней стоимости ради снижения времени ожидания пациентов (по крайней мере для проведения диагностических процедур). В то же время для дорогостоящего (высокотехнологичного) ЕМО обычно используется предварительная «запись пациентов» и заблаговременное установление им «временных интервалов» обслуживания – это позволяет более полно загрузить соответствующие ЕМО.

3. Необходимое качество монтажных и пуско-наладочных работ при вводе в эксплуатацию сложных ЕМО, для которых необходимы такие работы; качественного проведения приемо-сдаточных испытаний – если это предусмотрено договорами на выполнение пуско-наладочных работ.

4. Требуемые технические условия эксплуатации ЕМО, включая качество электропитания, температурно-влажностные режимы в помещениях, допустимые уровни механических вибраций, воздействий на оборудование электромагнитных полей [11]. Такие условия могут обеспечиваться

главным образом с использованием инженерно-технических решений, в том числе при проектировании зданий, составления схем размещения в них оборудования; использования амортизаторов и иных крепежных элементов в подставках для оборудования.

5. Наличие складских резервов расходных материалов для ЕМО с учетом колебаний его загрузки с течением времени; продолжительностей выполнения поставок расходных материалов внешними организациями [5, 6, 10, 20]. В случае эксплуатации нескольких однотипных ЕМО складской запас для них может быть общим. На практике в КЛUR используются два вида запасов: общий запас на складе для всей организации; оперативные запасы в тех отделениях, в которых непосредственно используются ЕМО.

6. Наличие в КЛUR необходимого количества запчастей для МО – если его техническое обслуживание осуществляется собственными специалистами организации. При этом закупка однотипных ЕМО в виде партий позволяет значительно снизить номенклатуру и количество хранимых на складах КЛUR запчастей; в некоторых случаях использовать вышедшие из строя ЕМО для их разборки на запчасти с целью последующего применения в эксплуатируемом оборудовании.

7. Квалификация врачей, назначающих/планирующих процедуры (или иные действия с ЕМО) с учетом медицинской целесообразности этих действий, предусмотренных параметров процедур (интенсивностей воздействий, их продолжительностей, мест приложений воздействий) и пр.

8. Необходимая квалификация эксплуатационного персонала КЛUR в отношении полноты использования функциональности ЕМО, особенно высокотехнологичного. Для сложных в техническом отношении ЕМО квалификация персонала может обеспечиваться за счет обучения на специальных курсах («дистанционных», «без отрыва» и с «отрывом от производства»); получения соответствующих сертификатов по результатам контроля результатов обучения.

9. Квалификация собственного сервисного персонала КЛUR, осуществляющего поддержку эксплуатации ЕМО. При этом обычно в КЛUR применяется некоторая специализация сервисных специалистов в отношении типов (категорий) обслуживаемых ими ЕМО.

10. Обеспечение эффективной поддержки производителями (и их сервисными центрами) тех моделей МО, которые эксплуатируются в КЛUR. Для этой цели с производителями/сервисными центрами могут заранее заключаться специальные договоры. Такая поддержка может включать в себя следующее: снабжение запчастями (непосредственно КЛUR или обслуживающих их сервисных фирм) в предусмотренные договорами сроки; информационно-консультационная поддержка непосредственных эксплуатантов или сервисного персонала КЛUR, обслуживающего МО; командирование организациями-производителями собственных специалистов для проведения ремонта ЕМО на площадках КЛUR; развитие производителями сети сервисных центров или организаций, с которыми у производителей заключены договоры на обслуживание выпускаемого ими МО; выпуск обновленных версий ПО для оборудования, предполагающих возможность его установки на ЕМО сервисными специалистами КЛUR. В некоторых случаях производители сложной медицинской техники могут также осуществлять через интернет дистанционный контроль ее технического состояния, соблюдения условий/режимов использования, качества электропитания и пр.

Ограничения на принятие и реализацию решений по обеспечению ЭЭ МО связаны в основном со следующими факторами (причинами, условиями):

1) необходимостью соблюдения нормативных требований в отношении следующего: технической оснащенности медицинских учреждений; режимов труда и отдыха персонала; режимов медицинского обслуживания больных; санитарно-гигиенических характеристик помещений; условий техники безопасности и пожарной безопасности при эксплуатации оборудования и пр.;

2) ограниченными объемами финансовых средств, которыми располагают КЛUR, в том числе на обеспечение сервисного обслуживания ЕМО, на закупку запчастей и расходных материалов для них; на оплату труда сервисных специалистов и пр.;

3) наличием и квалификацией в КЛUR сервисного персонала с учетом тех величин заработной платы, которые могут назначить (предложить) организации с учетом их финансовых возможностей;

4) допустимыми длительностями периодов времени, на которые ЕМО могут останавливаться для выполнения профилактических работ, планово-предупредительных ремонтов и пр.

Виды управления эффективностью эксплуатации медицинского оборудования.

Отметим прежде всего, что управление может относиться к различным объектам и, как следствие, соответствующие решения могут приниматься разными лицами:

а) к закупкам новых ЕМО – если КЛЮР могут принимать по этому направлению самостоятельные решения. По этому направлению решения носят как финансовый характер, так и инженерно-технический (в отношении выбора моделей МО). Отметим, что для «бюджетных» КЛЮР предусмотрена процедура тендеров на поставки;

б) непосредственно к эксплуатируемому МО. Управление может включать в себя в первую очередь инженерно-технические решения, а также организационные и административные. Последние два пункта относятся, в частности, к следующему: распределению и перераспределению ЕМО между подразделениями КЛЮР; установлению графиков их использования, метрологических проверок, профилактического обслуживания и пр.; к принятию решений о прекращении эксплуатации отдельных ЕМО по различным причинам;

в) к зданиям и помещениям, в которых эксплуатируются ЕМО. По этому направлению также принимаются в основном инженерно-технические решения, в том числе проектно-строительные и эксплуатационного характера;

г) к системам обеспечения качества электропитания, поддержки температурно-влажностных режимов в помещениях, в которых размещены ЕМО. По этому направлению преобладают инженерно-технические решения, но учитываются также объемы располагаемых финансовых ресурсов;

д) в отношении медицинского персонала, эксплуатирующего ЕМО. Решения могут носить в основном административный, организационный характер. Они касаются следующего: закрепления медперсонала за ЕМО, в том числе в отношении «материальной ответственности» за них (обычно материально ответственными лицами в отделениях КЛЮР являются не врачи, а старшие медсестры); установления допусков медперсонала к использованию конкретных ЕМО, в том числе в отношении аттестации на знание правил техники безопасности; получение соответствующих допусков к работе на рентгеновском или ином МО, требующем обязательной аттестации персонала, учета фактического рабочего времени, полученных доз облучения (рентгеновской нагрузки);

е) в отношении сервисного персонала решения носят преимущественно организационный и финансовый характер. Они относятся к следующему: закрепления конкретных ЕМО за определенными сервисными сотрудниками; установления уровней зарплат сервисных сотрудников с учетом их квалификации, интенсивности труда и пр.; получения необходимых допусков (сертификатов) этими сотрудниками на право обслуживания закрепленных за ними ЕМО;

ж) в отношении внешних сервисных организаций решения носят преимущественно юридический и финансовый характер. Они касаются следующего: заключения договоров на проведение сервисного обслуживания МО; их продления (или отказа от продления); установления условий таких договоров, включая предельные «времена реакций» на поступающие от КЛЮР запросы на обслуживание ЕМО; предельные сроки (продолжительности) проведения ремонтных операций на ЕМО;

з) в отношении поставщиков и, возможно, производителей МО. Решения носят юридический и финансовый характер; касаются в основном заключения договоров на поставки; сроков поставок оборудования и запчастей к нему; гарантийных обязательств по таким договорам и пр.;

и) в отношении монтажно-наладочных организаций типы решений в основном соответствуют пункту «з».

Характеристика состава лиц, принимающих решения по управлению эксплуатацией медицинского оборудования, а также номенклатуры решений этих лиц. В КЛЮР решения, связанные с управлением эксплуатацией ЕМО, могут принимать главным образом следующие категории лиц.

1. Главные врачи КЛЮР: окончательные решения в отношении закупок МО; прекращения эксплуатации конкретных ЕМО, их списания и утилизации (или передачи на склады для хранения в качестве «запасного» оборудования); распределения и перераспределения ЕМО между подразделениями КЛЮР – с учетом потребностей этих отделений и фактически располагаемых ЕМО; заключения договоров с внешними организациями на поставки ЕМО, на сервисное обслуживание ЕМО; о приеме на работу специалистов по сервисному обслуживанию МО; о закупке контрольно-диагностического и иного оборудования, а также запчастей для сервисных служб КЛЮР и пр. При принятии

решений главные врачи руководствуются действующим законодательством: в отношении правил оказания медицинской помощи населению; требований к оснащенности КЛЮР медицинским оборудованием и пр. На практике главные врачи обычно лишь утверждают решения, подготовленные подчиненными специалистами.

2. Заместители главных врачей по диагностике, лечению, инженерно-техническому обеспечению деятельности КЛЮР. Эти лица принимают решения, касающиеся МО, в пределах их полномочий, установленных должностными инструкциями. При этом учитываются и финансовые ресурсы, которыми располагают КЛЮР.

3. Руководители отделов техники безопасности или «выделенные» специалисты, отвечающие в КЛЮР за направление «техника безопасности». Решения принимаются в основном в отношении допустимости или недопустимости эксплуатации ЕМО; сроков устранения выявленных нарушений и пр.

4. Руководители тех отделений КЛЮР, в которых непосредственно эксплуатируются ЕМО. Их решения могут касаться в основном графиков эксплуатации ЕМО; разрешений на приостановку их эксплуатации для выполнения работ профилактического характера.

5. Непосредственные эксплуатанты ЕМО – врачи и медсестры. Их решения носят оперативный характер и касаются выполнения необходимых медицинских действий (манипуляций, операций и пр.) с использованием ЕМО; о необходимости выключения ЕМО при появлении запаха гари, искр, нетипичных звуков, иных признаков нештатных (аварийных) режимов работы МО. Отметим также, что в сложных ЕМО могут быть встроенные блоки самодиагностики, которые в необходимых случаях выдают на дисплеи указания для персонала, иногда могут «блокировать» использование неисправного МО.

6. Собственный сервисный персонал КЛЮР. Решения касаются проведения технического обслуживания ЕМО; при необходимости – его ремонта (в месте расположения ЕМО или с его временным перемещением в сервисный отдел для проведения каких-то более сложных операций). Кроме того, сервисный персонал может оценивать целесообразность ремонта ЕМО при выходе его из строя по различным причинам. При этом учитывается предполагаемая стоимость и трудоемкость ремонта, балансовая стоимость самого ЕМО, предполагаемая продолжительность эксплуатации ЕМО после ремонта до следующего отказа и пр. Отметим, что решения сервисного персонала о целесообразности ремонта в ряде случаев могут корректироваться руководителями их отделов, а также КЛЮР в целом.

7. Сервисный персонал, обслуживающий МО в КЛЮР в порядке аутсорсинга. Состав решений в основном такой же, как и для пункта 6.

8. Сотрудники бухгалтерий КЛЮР. Принимают решения о постановке на материальный учет ЕМО, стоимость которых превышает некоторые пороговые значения, принятые в данном КЛЮР; о начислении амортизационных отчислений на ЕМО, находящихся на учете; о списании ЕМО – с разрешения руководства КЛЮР. В своей деятельности такие работники руководствуются правилами бухгалтерского учета, которые устанавливаются в основном на федеральном и ведомственном уровнях.

9. Сотрудники организационно-методических отделов КЛЮР. Помимо прочего могут заниматься контролем загрузки ЕМО, включая высокотехнологичное – за его использование КЛЮР в некоторых случаях должны регулярно отчитываться перед вышестоящими организациями.

Состав и технологии реализации решений, связанных с обеспечением эффективности эксплуатации медицинского оборудования. В общем случае реализация решений, относящихся к обеспечению ЭЭ ЕМО, включает в себя следующее.

1. Назначение конкретных исполнителей для каждого решения. При больших объемах работы может назначаться группа исполнителей с дифференцированными функциями. При этом поручения не должны выходить за рамки должностных обязанностей тех лиц, которым даются поручения; учитывать их техническую квалификацию; наличие необходимых допусков для выполнения операций (действий) с ЕМО; установленные графики труда и отдыха.

2. Установление конкретных сроков выполнения работ, связанных с обеспечением ЭЭ МО. При этом для работ большого объема может предусматриваться их поэтапное выполнение с отдельными контрольными сроками для каждого этапа. Отметим в связи с этим, что для разных этапов в принципе может быть разный состав лиц, которые должны выполнять поручения.

Для многоэтапных работ важное значение может также иметь контроль качества результатов выполнения работ (поручений) после каждого этапа.

3. Мониторинг сроков и качества выполнения (реализации) принятых решений. В рамках такого мониторинга могут отслеживаться факты выполнения отдельных работ и их сово-

купностей. При этом в некоторых случаях достигаемые результаты (например, связанные с монтажом ЕМО, выполнением пуско-наладочных работ, проведением сложных видов ремонта и т.д.) могут/должны фиксироваться специальными актами или иными документами.

Качество выполненных работ в большинстве случаев оценивается «бинарно» – соответствует или не соответствует необходимым требованиям. Реже используются балльные оценки (например, по пятибалльной шкале).

Источниками информации, используемыми для мониторинга исполнения решений, могут быть следующие: 1) личные наблюдения тех лиц, которые приняли решения и дали поручения по их выполнению; 2) сведения от тех сотрудников, которым было поручено проводить мониторинг реализации решений; 3) сведения от исполнителей решений, в том числе представляемые в электронной форме; 4) информация, получаемая в автоматизированном режиме с использованием информационно-телекоммуникационных технологий (ИТКТ), локальных вычислительных сетей и пр. Это касается, в частности, использования средств дистанционного видеонаблюдения в реальном масштабе времени с передачей информации через интернет; в некоторых случаях – удаленного контроля состояния ЕМО по локальным вычислительным сетям; 5) сведения, поступающие от пациентов (жалобы, предложения и пр.), в том числе связанные с использованием ЕМО для диагностики и лечения; 6) результаты контроля реализуемых решений внешними организациями, в том числе по жалобам пациентов; в рамках проведения плановых контрольных мероприятий и пр. Отметим, что контролируемые решения могут касаться, в частности, устранения нарушений по безопасности эксплуатации ЕМО; правил его размещения и использования.

Для контроля исполнительской дисциплины разработано достаточно много специализированного ПО на основе различных систем управления базами данных. Ранее такие разработки ориентировались на использование автономных ПЭВМ, сейчас – в основном на применение технологий «клиент-сервер» рамках использования локальных вычислительных сетей; применения облачных технологий. Разработки ПО, обеспечивающие контроль исполнительской дисциплины, могут обладать следующей функциональностью: выдавать заблаговременные предупреждения о поручениях, у которых приближаются контрольные сроки их выполнения; отображать те работы, контрольные сроки для которых приходится на задаваемый пользователем диапазон дат; показывать невыполненные поручения с истекшими сроками исполнения; обеспечивать получение сводных отчетов по исполнительской дисциплине – как по отдельным исполнителям, так и по группам исполнителей, выбранных по определенным критериям; по группам поручений, относящихся к определенным интервалам дат. Ретроспективный анализ «исполнительской дисциплины» обычно учитывает следующие варианты результатов выполнения работ по срокам: досрочно; точно в срок; с опозданием; не выполнено.

В рамках планирования и реализации решений могут применяться технологии и ПО для «управления проектами» – например, Microsoft Project или какое-либо ПО, используемое дистанционно на условиях аренды (по технологии SaaS). Использование такого ПО в типичных случаях позволяет обеспечить следующие возможности: определить (установить) сроки выполнения отдельных этапов выполнения решений; назначить конкретные работы для этих этапов; в наглядной форме (с помощью диаграмм Ганта и сетевых графиков) представить последовательности выполнения этих работ; запланировать параллельное выполнение работ в тех случаях, когда это допустимо и целесообразно; назначить исполнителей и оборудование для конкретных работ; проверить, что по всем исполнителям нет превышений допустимых объемов работ (в часах) по всем датам, относящимся к периодам планирования; выполнять «отслеживание» фактического выполнения отдельных работ и их совокупностей на диаграмме Ганта.

В процессе реализации решений может выявляться необходимость их частичной корректировки или отмены. Возможные причины: недостаточный учет имевшейся информации при первоначальном принятии решений; неполнота имевшейся в такие моменты информации; изменение условий реализации решений по сравнению с теми моментами, когда они первоначально принимались; изменение финансового состояния или иных условий деятельности той организации, в рамках которой должны выполняться принятые решения; прямые распоряжения вышестоящих инстанций (организаций) об отмене выполнения или корректировке принятых решений; изменение действующего законодательства, ведомственных инструкций и пр., требующее корректировки ранее принятых решений.

На практике корректировка решений может включать в себя следующее: замену исполнителей по отдельным работам, связанным с эксплуатацией и/или ремонтом ЕМО; назначение для выполнения работ дополнительных исполнителей; корректировка контрольных

сроков завершения работ по отдельным работам, этапам, решению в целом; изменение условий финансирования выполнения работ, включая размеры оплаты исполнителям; изменение плановых показателей, связанных с эксплуатацией ЕМО, которые должны быть достигнуты в результате выполнения решений и пр. По крайней мере часть корректирующих решений требует их фиксации в документальной форме.

Основные критерии оценки результативности реализации решений, связанных с обеспечением эффективности эксплуатации медицинского оборудования. Будем различать эти критерии для отдельных ЕМО и для «парка МО в целом».

Для отдельных ЕМО критерии оценки результативности в простейшем варианте могут быть бинарными – достигнута поставленная цель или нет. Однако в ряде случаев возможны и оценки на основе сравнения «экономических эффектов» от принятых и реализованных решений по сравнению с затратами на них; учета полезности в отношении получаемых результатов для пациентов. При этом необходимо учитывать, что затраты, связанные с ЕМО, могут носить как разовый характер, так и постоянный. Например, приобретение новой ЕМО требует разовых затрат на ее покупку. Однако затем необходимы эксплуатационные затраты на расходные материалы, на запчасти, оплату потребляемой электроэнергии, в ряде случаев – на зарплату дополнительных единиц эксплуатационного и/или сервисного персонала и пр.

С учетом темы настоящей статьи математическую модель в отношении ЭЭ совокупности ЕМО целесообразно сформулировать только в отношении этапа эксплуатации. Представим эту модель в виде выбора оптимального решения из их допустимой совокупности, связанной с управлением ЭЭ парка ЕМО в КЛУР:

$$R_j = \left\{ \sum_{i=1}^I (P_{i,j}) - \sum_{k=1}^K Z_{k,j} \right\}_{j=1 \dots J}, \quad (1)$$

где R_j – итоговый «экономический эффект» от реализации решения по j -му варианту; J – количество потенциально возможных вариантов решений в отношении управления ЭЭ; I – количество потенциально возможных видов положительных эффектов для КЛУР; $P_{i,j}$ – величина i -го вида положительного эффекта в случае j -го решения; K – количество потенциально возможных видов затрат для КЛУР; $Z_{k,j}$ – величина затрат k -го вида в случае j -го вида решения.

Разумеется, должны быть заданы ограничения в отношении максимально допустимых суммарных затрат ($Z^{(sum)}$)

$$\left(\sum_{k=1}^K Z_{k,j} \right) \leq Z^{(sum)}, \quad (2)$$

а также максимально допустимых затрат по каждому виду решения ($\{Z_k^*\}_{k=1 \dots K}$)

$$\{Z_{k,j} \leq Z_k^*\}_{k=1 \dots K}. \quad (3)$$

Если затраты предполагаются в течение ряда лет, то могут также задаваться ограничения по затратам для каждого из годов.

Кроме того, оптимизационная модель может быть сформулирована и на основе «относительного критерия» (R_j^*) вместо «абсолютного» по формуле (2)

$$R_j^* = \left\{ \left(\sum_{i=1}^I (P_{i,j}) - \sum_{k=1}^K Z_{k,j} \right) / \left(\sum_{k=1}^K Z_{k,j} \right) \right\}_{j=1 \dots J}. \quad (4)$$

Еще одной альтернативой является использование (1) в сочетании с условием

$$R_j^* \geq R^{**}, \quad (5)$$

т.е. отбрасыванием тех решений, для которых величины относительных показателей меньше, чем предельно допустимые значения (R^{**}).

При этом положительные эффекты от реализации решений могут относиться к следующему: прямому увеличению денежных доходов КЛУР, в том числе в виде перечислений от МСО и фонда ОМС; предотвращению ущерба в отношении деятельности КЛУР; уменьшению трудоемкости эксплуатации ЕМО за счет реализации технических и организационных мер, включая изменение графиков использования оборудования; уменьшению простоев ЕМО по техническим и иным причинам; снижению стоимостей сервисного обслуживания ЕМО; улучшению качества обслуживания пациентов и

результативности выполнения медицинских процедур (как следствие, можно будет ожидать увеличения количества пациентов, обращающихся в КЛУР); улучшению условий труда медицинского персонала медицинской организации и пр.

В заключение раздела отметим, что ряд положительных эффектов от принимаемых решений (например, касающихся дополнительного обучения эксплуатационного персонала с целью повышения его квалификации) может сказываться не сразу; может действовать только в течение определенного периода времени, если соответствующие знания персонала подвержены моральному старению.

Некоторые вопросы построения и применения компьютеризованных систем поддержки принятия решений, связанных с использованием медицинского оборудования. Компьютеризованные системы, которые могут применяться для поддержки принятия решений (СППР), связанных с управлением ЭЭ оборудования в КЛУР, могут иметь различную функциональность.

1. Только «материальный учет» ЕМО, эксплуатируемого в КЛУР, включая следующее: даты его приобретения и списания; текущую балансовую стоимость; наличие в ЕМО «драгметаллов» и их количества; места фактического размещения (эксплуатации) ЕМО в КЛУР; фамилии материально ответственных лиц за конкретные ЕМО. Такие сведения обычно хранятся в модулях информационных систем, предназначенных для использования в бухгалтериях. Они используются для целей учета оборудования; начисления амортизационных отчислений; поддержки принятия решений о возможности списании ЕМО; с оговорками – для оценки обеспеченности КЛУР МО. Повторим, что на материальный учет бухгалтериями КЛУР сейчас ставится только относительно дорогостоящее оборудование.

2. Для собственных сервисных специалистов КЛУР по обслуживанию ЕМО часть информации совпадает с тем, что перечислено в пункте «1», но есть и дополнительные сведения: о техническом состоянии отдельных ЕМО; о фактически проведенных на них профилактических и ремонтных работах; в ряде случаев – о графиках последующего проведения таких работ; о графиках метрологических проверок ЕМО; иногда – об «эксплуатационной наработке» оборудования, т.е. количестве часов его фактической эксплуатации. Такого рода системы описаны в существующих публикациях [2, 13, 16], хотя часто они имеют не все перечисленные в данном пункте функции.

3. Системы, учитывающие фактическую загрузку ЕМО в процессе их эксплуатации, а также график (периоды) их загрузки в течение суток, рабочей недели, месяца. Автоматизация такого учета пока возможна только для сложных ЕМО, которые могут быть подключены к информационным системам КЛУР с использованием протокола DICOM. Между тем для принятия решений по обеспечению ЭЭ ЕМО информация об их фактической загрузке (интенсивности использования) может иметь ключевое значение.

4. Системы, обеспечивающие целенаправленную поддержку принятия решений по приобретению новых ЕМО (для дооснащения КЛУР или на замену уже эксплуатируемого в них оборудования), сейчас практически не используются. В связи с этим отметим следующее: на сайтах фирм-поставщиков и фирм-производителей МО информация об оборудовании зачастую носит информационно-рекламный характер, не всегда объективна, на ней отражаются только предлагаемые ими модели; сайтов со сравнением характеристик предлагаемых на рынке моделей МО в интернете, как правило, нет; какие-то «форумы» пользователей, на которых даются независимые оценки моделей с позиций их эксплуатантов, практически также отсутствуют; российские специалисты по МО о зарубежных форумах такого направления практически ничего не знают. Для сравнения отметим, что по компьютерному оборудованию, смартфонам и пр. отзывы реальных пользователей в рунете широко доступны, в том числе на новые модели устройств.

Поэтому в целом ряде случаев оптимизация выбора приобретаемого МО (особенно новых моделей) вызывает у руководства КЛУР и специалистов, рекомендующих такие решения, значительные сложности. Нередко такой выбор осуществляется на основе неполной информации; для минимизации рисков приобретения выбор может ограничиваться только уже эксплуатируемыми в других КЛУР моделях оборудования, по которым есть какая-то «эксплуатационная» информация. В свою очередь это может тормозить внедрение в практику деятельности КЛУР новых моделей МО, особенно неизвестных им производителей.

5. Системы «советующего типа» в отношении ЕМО в настоящее время в литературе практически не описаны. Представляется, что они могли бы выдавать следующие типы рекомендаций для лиц, принимающих решения на уровне КЛУР в целом: а) о целесообразности прекращения эксплуатации ЕМО, их списании и, возможно, разборке для получения необходимых запчастей; б) о выводе из эксплуатации конкретных ЕМО и передаче их на складское хранение – если коли-

чество соответствующих «единиц оборудования» в подразделении КЛУР объективно избыточно. Это, в частности, может позволить освободить место для размещения другого оборудования; в) о передаче ЕМО в другие подразделения КЛУР с целью обеспечения «выравнивания» загрузки медоборудования, более полного удовлетворения потребностей подразделений в МО; г) о необходимости приобретения новых ЕМО для удовлетворения потребностей КЛУР в медицинском обслуживании пациентов; д) о необходимости создания (или изменения объемов) складских запасов расходных материалов, запасных частей для ЕМО; е) о необходимости принятия мер в отношении эксплуатационного персонала, допускающего действия, которые часто приводят к выходу ЕМО из строя; ж) о необходимости изменения графиков использования ЕМО, в том числе для повышения уровней его загрузки; з) о целесообразности принятия мер в отношении сервисного персонала, не обеспечивающего достаточную поддержку эксплуатации ЕМО. Такие меры могут, в частности, включать в себя: административные взыскания; перераспределение сервисных сотрудников между обслуживаемыми ЕМО; наем дополнительных сотрудников; обучение сотрудников необходимым приемам сервисного обслуживания; передача части работ по сервисному обслуживанию ЕМО во внешние организации и пр.

6. Важно отметить, что часть перечисленных мер носит «активный» характер (реакции на складывающиеся ситуации), а часть проактивный, т.е. имеет упреждающий характер.

Выводы. 1. Принятие решений по управлению ЭЭ отдельными единицами медицинского оборудования и в целом парка МО в КЛУР может осуществляться как в четких условиях, так и в нечетких. Это особенно касается приобретения ЕМО для длительного использования в будущий период времени. 2. В принятии решений по управлению ЭЭ МО в КЛУР могут участвовать лица, занимающие разные должности и, в силу этого, выполняющие разные функции (действия) в отношении конкретных ЕМО. 3. При управлении ЭЭ ЕМО помимо повышения их фактической загрузки необходимо учитывать также стоимости использования «единиц оборудования», включая затраты на расходные материалы, сервисное обслуживание и пр. 4. В некоторых случаях повышение ЭЭ ЕМО может обеспечиваться даже использованием отдельных помещений для подготовки к обследованиям мужчин и женщин (в таких помещениях пациенты обычно снимают и одевают верхнюю одежду) – вместо обслуживания их «по группам» с применением единственного помещения. Использование отдельных помещений позволяет сократить паузы между фактическими периодами обследований с применением ЕМО. 5. Имеющиеся компьютеризованные системы учета МО в КЛУР не в полной мере обеспечивают поддержку принятия решений по обеспечению ЭЭ парка оборудования. Это касается, в частности, следующего: недостаточной информационной поддержки приобретения новых ЕМО в отношении оптимального выбора моделей и поставщиков оборудования, предлагающих минимальные цены, вариантов гарантийного обслуживания и пр.; отсутствия компьютеризованных систем, выдающих содержательные рекомендации в текстовой форме.

Библиографический список

1. Амоян Э. Ф. Оптимизация использования медицинского оборудования в лечебно-профилактических учреждениях / Э. Ф. Амоян, В. А. Калинина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11-4. – С. 590–591.
2. Басова Л. А. Разработанная автоматизированная системы учета технического состояния медицинского оборудования / Л. А. Басова, Н. А. Мартынова // Наука и образование в жизни современного общества : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции : в 18 ч. – 2013. – С. 20–23.
3. Билалов Ф. С. Вопросы медико-технического обеспечения диагностических подразделений в медицинских организациях / Ф. С. Билалов, Г. П. Сквирская, Н. Х. Шарафутдинова, Р. А. Аминев, М. А. Шарафутдинов // Дневник казанской медицинской школы. – 2018. – № 1 (19). – С. 60–65.
4. Брумштейн Ю. М. Системный анализ направлений и особенностей информатизации сферы здравоохранения России / Ю. М. Брумштейн, Е. В. Склярченко, А. С. Мальвина, Ю. Ю. Аксенова, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4. – С. 73–86.
5. Брумштейн Ю. М. Парк медоборудования в медицинских учреждениях: анализ целей и подходов к управлению; состава информации, учитываемой при принятии решений / Ю. М. Брумштейн, Е. В. Пфандер // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 3 (39). – С. 19–35.
6. Брумштейн Ю. М. Управление парком оборудования в российских медицинских учреждениях: технологии принятия и реализации решений, оценки их результативности / Ю. М. Брумштейн, Е. В. Пфандер // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 4 (40). – С. 110–125.
7. Веденеева Л. М. Обеспечение безопасности персонала и пациентов при использовании медицинского электрооборудования / Л. М. Веденеева, К. А. Черный // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 6 (200). – С. 111–122.
8. Еняков А. М. Контроль эффективности и безопасности медицинского ультразвукового оборуду-

дования в процессе эксплуатации / А. М. Еняков // Мир измерений. – 2012. – № 12. – С. 10–18.

9. Ермакова А. В. Гарантийные обязательства при закупке медицинского оборудования / А. В. Ермакова // Здоровоохранение. – 2012. – № 3. – С. 58–64.

10. Здоровенкова Е. О. Логистическая поддержка эксплуатации медицинского оборудования / Е. О. Здоровенкова, А. В. Иванова // Логистика и управление цепями поставок. – 2015. – № 5 (70). – С. 69–84.

11. Истомина Т. В. Исследование влияния электромагнитных помех на работу медицинского оборудования: методы устранения / Т. В. Истомина, А. А. Матюнин // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2010. – № 1. – С. 396–399.

12. Какорина Е. П. Оценка оснащённости компьютерным оборудованием медицинских организаций в Российской Федерации / Е. П. Какорина, А. В. Поликарпов, Е. В. Огрызко, Т. Ю. Голубева // Менеджер здравоохранения. – 2015. – № 8. – С. 49–56.

13. Карякин А. А. Электронный реестр учета и эксплуатации медицинского оборудования / А. А. Карякин, О. Е. Карякина, Н. А. Мартынова, А. В. Некрасова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6-3. – С. 400–404.

14. Кириенко В. В. Анализ инструментальных средств для проверки медицинского оборудования / В. В. Кириенко, Е. С. Семенистая, А. В. Максимов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 34, № 1–2. – С. 10.

15. Коновалова Л. В. Аутсорсинг технического обслуживания медицинского оборудования / Л. В. Коновалова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 5-5. – С. 98–100.

16. Красильников С. В. Автоматизированная система по учету медицинского оборудования / С. В. Красильников, Н. И. Вишняков, А. Г. Кузьмин, Н. А. Мартынова, Т. А. Ермолина, М. Ю. Кордумов // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. – С. 76.

17. Ломовцева К. С. Определение оптимального срока службы медицинского оборудования с помощью асимметричной копулы / К. С. Ломовцева, Г. Р. Тугушева, О. Ю. Кондратьева, Д. В. Терин // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине : материалы Всероссийской школы-семинара. – 2016. – С. 62–65.

18. Муксунов Д. Д. Оценка состояния и эффективности использования медицинского оборудования в учреждениях здравоохранения РФ / Д. Д. Муксунов, Н. В. Саввина // Якутский медицинский журнал. – 2011. – № 3. – С. 51–54.

19. Муксунов Д. Д. Медицинское оборудование: нормативное правовое регулирование, вопросы приобретения и использования : руководство для врачей / Д. Д. Муксунов, Н. В. Саввина, А. Р. Ермолаев ; под ред. Н. В. Саввиной. – Якутск, 2011. – 83 с.

20. Одинцова Т. Н. К вопросу управления снабжением запасными частями для медицинского оборудования в лечебных учреждениях / Т. Н. Одинцова, Н. С. Соколов // Логистика: современные тенденции развития : материалы XIV Международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 270–273.

21. Сахабиева Э. В. Методика анализа эксплуатационного цикла медицинского оборудования / Э. В. Сахабиева, Р. А. Газизов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 6–1 (60). – С. 45–48.

22. Сульженко Т. А. Контроль эффективности эксплуатации медицинского оборудования / Т. А. Сульженко, Н. И. Рогинко // Справочник заведующего КДЛ. – 2017. – № 3. – С. 16–26.

23. Тимофеева Т. В. Оборудование для обеззараживания медицинских отходов: программа по импортозамещению в действии / Т. В. Тимофеева, Л. С. Мамонтова, Е. А. Зудинова, А. В. Балакаева // Поликлиника. – 2015. – № 5–2. – С. 44–47.

24. Фрайтаг П. Управление риском применительно к медицинскому оборудованию / П. Фрайтаг // Гений ортопедии. – 2010. – № 3. – С. 155–158.

25. Черепанова Т. Г. Методические подходы к оценке эффективного использования медицинского оборудования / Т. Г. Черепанова, Н. В. Махинова, Л. Н. Зотова // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 12-3 (89). – С. 745–751.

26. Шарин В. И. Оценка эффективности использования медицинского оборудования / В. И. Шарин // Вестник АКСОР. – 2011. – № 3. – С. 69–74.

27. Шатилов А. А. Система контроля качества технического и метрологического обслуживания медицинского и лабораторного оборудования / А. А. Шатилов // Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2014. – С. 331–333.

28. Шумак К. Д. Математические методы прогнозирования отказов медицинского оборудования / К. Д. Шумак // Научное обозрение. Технические науки. – 2017. – № 1. – С. 99–101.

29. Kuzovyk V. D. The latest technology in repair of medical diagnostic equipment for the actual technical state / V. D. Kuzovyk, V. L. Kucherenko // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2012. – № 3 (25). – С. 10–14.

References

1. Amoyan E. F., Kalinina V. A. Optimizatsiya ispolzovaniya meditsinskogo oborudovaniya v lechebno-profilakticheskikh uchrezhdeniyakh [Optimization of use of the medical equipment in treatment-and-

prophylactic institutions]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Researches], 2016, no. 11–4, pp. 590–591.

2. Basova L. A., Martynova N. A. Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy ucheta tekhnicheskogo sostoyaniya meditsinskogo oborudovaniya [Development of an automated system of accounting of technical condition of the medical equipment]. *Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshchestva : sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii : v 18 chastyakh* [Science and education in life of the modern society : collection of scientific works on materials of the International scientific and practical conference : in 18 parts], 2013, pp. 20–23.

3. Bilalov F. S., Skvirskaya G. P., Sharafutdinova N. Kh., Aminev R. A., Sharafutdinov M. A. Voprosy mediko-tekhnicheskogo obespecheniya diagnosticheskikh podrazdeleniy v meditsinskikh organizatsiyakh [Questions of medico-technical support of diagnostic divisions in the medical organizations]. *Dnevnik kazanskoy meditsinskoy shkoly* [The Diary of the Kazan Medical School], 2018, no. 1 (19), pp. 60–65.

4. Brumshteyn Yu. M., Sklyarenko Ye. V., Malvina A. S., Aksenova Yu. Yu., Kuzmina A. B. Sistemnyy analiz napravleniy i osobennostey informatizatsii sfery zdravookhraneniya Rossii [System analysis of directions and features for informatization of Russia health care sphere]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2013, no. 4, pp. 73–86.

5. Brumshteyn Yu. M., Pfander Ye. V. Park medoborudovaniya v meditsinskikh uchrezhdeniyakh: analiz tseley i podkhodov k upravleniyu; sostava informatsii, uchityvayemyy pri prinyatii resheniy [The equipment stock in Russian medical institutions: the analysis of goals and approaches to administration; as well as information to be used in decision-making]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 3 (39), pp. 19–35.

6. Brumshteyn Yu. M., Pfander Ye. V. Upravlenie parkom oborudovaniya v rossiyskikh meditsinskikh uchrezhdeniyakh: tekhnologii prinyatiya i realizatsii resheniy, otsenki ikh rezul'tativnosti [Managing equipment stock in the Russian medical institutions: techniques of decisions making and implementing, evaluating of their effectiveness]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 4 (40), pp. 110–125.

7. Vedeneva L. M., Chernyy K. A. Obespechenie bezopasnosti personala i patsientov pri ispolzovanii meditsinskogo elektrooborudovaniya [Ensuring safety of personnel and patients when using medical electric equipment]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [News of South Federal University. Technical Sciences], 2018, no. 6 (200), pp. 111–122.

8. Yenyakov A. M. Kontrol effektivnosti i bezopasnosti meditsinskogo ul'trazvukovogo oborudovaniya v protsesse ekspluatatsii [Control of efficiency and safety of the medical ultrasonic equipment in use]. *Mir izmereniy* [World of measurements], 2012, no. 12, pp. 10–18.

9. Yermakova A. V. Garantiynye obyazatelstva pri zakupke meditsinskogo oborudovaniya [Guarantee certificates when purchasing the medical equipment]. *Zdravookhraneniye* [Health Care], 2012, no. 3, pp. 58–64.

10. Zdorovenkova Ye. O., Ivanova A. V. Logisticheskaya podderzhka ekspluatatsii meditsinskogo oborudovaniya [Logistic support of operation of the medical equipment]. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* [Logistics and Management of Chains of Deliveries], 2015, no. 5 (70), pp. 69–84.

11. Istomina T. V., Matyunin A. A. Issledovanie vliyaniya elektromagnitnykh pomekh na rabotu meditsinskogo oborudovaniya: metody ustraneniya [Issledovaniye of influence of electromagnetic interferences on operation of the medical equipment: elimination methods]. *Innovatsii na osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologiy* [Innovations on the basis of information and communication technologies], 2010, no. 1, pp. 396–399.

12. Kakorina Ye. P., Polikarpov A. V., Ogryzko Ye. V., Golubeva T. Yu. Otsenka osnashchennosti kompyuternym oborudovaniem meditsinskikh organizatsiy v rossiyskoy federatsii [Equipment assessment by a computer hardware of the medical organizations in the Russian Federation]. *Menedzher zdravookhraneniya* [Manager of Health Care], 2015, no. 8, pp. 49–56.

13. Karyakin A. A., Karyakina O. Ye., Martynova N. A., Nekrasova A. V. Elektronnyy reestr ucheta i ekspluatatsii meditsinskogo oborudovaniya [Electronic register of accounting and operation of the medical equipment]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Researches], 2015, no. 6–3, pp. 400–404.

14. Kirienko V. V., Semenistaya Ye. S., Maksimov A. V. Analiz instrumentalnykh sredstv dlya poverki meditsinskogo oborudovaniya [The analysis of work benches for checking of the medical equipment]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [The Engineering Bulletin of Don], 2015, vol. 34, no. 1–2, p. 10.

15. Konvalova L. V. Outsorsing tekhnicheskogo obsluzhivaniya meditsinskogo oborudovaniya [Outsourcing of maintenance of the medical equipment]. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki* [Theoretical and Application-Oriented Aspects of the Modern Science], 2014, no. 5–5, pp. 98–100.

16. Krasilnikov S. V., Vishnyakov N. I., Kuzmin A. G., Martynova N. A., Yermolina T. A., Kordumov M. Yu. Avtomatizirovannaya sistema po uchetu meditsinskogo oborudovaniya [Automated system on accounting of the medical equipment]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [The Modern Problems of Science and Education], 2011, no. 6, p. 76.

17. Lomovtseva K. S., Tugusheva G. R., Kondratyeva O. Yu., Terin D. V. Opredeleniye optimal'nogo sroka sluzhby meditsinskogo oborudovaniya s pomo-shchyu asimmetrichnoy kopuly [Determination of optimum service life of the medical equipment with the help of an asymmetrical kopula]. *Metody kompyuternoy diagnostiki v biologii i meditsine – 2016 : materialy Vserossiyskoy shkoly-seminara* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine – 2016 : materials of the All-Russian school-seminar], 2016, pp. 10–12.

ogy and medicine – 2016 : materials of the All-Russian seminar school], 2016, pp. 62–65.

18. Muksunov D. D., Savvina N. V. Otsenka sostoyaniya i effektivnosti ispolzovaniya meditsinskogo oborudovaniya v uchrezhdeniyakh zdravookhraneniya RF [Assessment of a status and efficiency of use of the medical equipment in healthcare institutions of the Russian Federation]. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal* [Yakutsk Medical Journal], 2011, no. 3, pp. 51–54.

19. Muksunov D. D., Savvina N. V. (ed.), Yermolaev A. R. *Meditsinskoe oborudovanie: normativnoe pravovoe regulirovanie, voprosy priobreteniya i ispolzovaniya : rukovodstvo dlya vrachey* [Medical equipment: normative legal regulation, questions of acquisition and a use : manual for doctors]. Yakutsk, 2011. 83 p.

20. Odintsova T. N., Sokolov N. S. K voprosu upravleniya snabzheniem zapasnymi chastyami dlya meditsinskogo oborudovaniya v lechebnykh uchrezhdeniyakh [To a question of control of supply with spare parts for the medical equipment in medical institutions]. *Logistika: sovremennyye tendentsii razvitiya : materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Logistics: the current trends of development : materials XIV of the International scientific and practical conference], 2015, pp. 270–273.

21. Sakhabieva E. V., Gazizov R. A. Metodika analiza ekspluatatsionnogo tsikla meditsinskogo oborudovaniya [Analysis technique of an operational cycle of the medical equipment]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2017, no. 6-1 (60), pp. 45–48.

22. Sulzhenko T. A., Roginko N. I. Kontrol effektivnosti ekspluatatsii meditsinskogo oborudovaniya [Control of efficiency of operation of the medical equipment]. *Spravochnik zaveduyushchego KDL* [Reference Book of KDL Manager], 2017, no. 3, pp. 16–26.

23. Timofeeva T. V., Mamontova L. S., Zudinova Ye. A., Balakaeva A. V. Oborudovanie dlya obezzarazhivaniya meditsinskikh otkhodov: programma po importozameshcheniyu v deystvii [Equipment for disinfecting of medical waste: program for import substitution in operation]. *Poliklinika* [Policlinic], 2015, no. 5-2, pp. 44–47.

24. Fraytag P. Upravlenie riskom primenitelno k meditsinskomu oborudovaniyu [Management of risk in relation to the medical equipment]. *Geniy ortopedii* [The Genius of Orthopedics], 2010, no. 3, pp. 155–158.

25. Cherepanova T. G., Makhinova N. V., Zotova L. N. Metodicheskie podkhody k otsenke effektivnogo ispolzovaniya meditsinskogo oborudovaniya [Methodical approaches to assessment of effective use of the medical equipment]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and business], 2017, no. 12-3 (89), pp. 745–751.

26. Sharin V. I. Otsenka effektivnosti ispolzovaniya meditsinskogo oborudovaniya [Assessment of efficiency of use of the medical equipment]. *Vestnik AKSOR* [Bulletin of AKSOR], 2011, no. 3, pp. 69–74.

27. Shatilovich A. A. Sistema kontrolya kachestva tekhnicheskogo i metrologicheskogo obsluzhivaniya meditsinskogo i laboratornogo oborudovaniya [The system of quality control of technical and metrological service of the medical and laboratory equipment]. *Novye tekhnologii – neftegazovomu region : materialy Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [New technologies – to the oil and gas region : materials of the scientific and practical conference of students, All-Russian with the international participation, graduate students and young scientists], 2014, pp. 331–333.

28. Shumak K. D. Matematicheskie metody prognozirovaniya otkazov meditsinskogo oborudovaniya [Mathematical methods of failure prediction of the medical equipment]. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki* [Scientific review. Technical science], 2017, no. 1, pp. 99–101.

29. Kuzovik V. D., Kucherenko V. L. The latest technology in repair of medical diagnostic equipment for the actual technical state. *Informatsiyni tekhnologii ta kompyuterna inzheneriya* [Information Technologies and Computer Engineering], 2012, no. 3 (25), pp. 10–14.

ИНФОРМАЦИЯ О ПРЕДСТОЯЩИХ НАУЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ

Приведена информация о предстоящих научных мероприятиях: Международная научная конференция «**Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-32**» (Санкт-Петербург, Саратов, Минск); Международная научно-практическая конференция «**Перспективы развития строительного комплекса: образование, наука, бизнес**», г. Астрахань, АГАСУ; Ежегодная Всероссийская научная школа-семинар «**Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине**» (г. Саратов, 1–15.11.2019).

Ключевые слова: научные мероприятия, тематика, направления, объявления, информационные технологии

1. 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 (СГТУ) имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия.

2. **Перспективы развития строительного комплекса: образование, наука, бизнес.** Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ) 29–31 октября 2019 г. проводит XIII Международную научно-практическую конференцию профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Ссылка: <http://xn--80aai1dk.xn--p1ai/nauka222/8421-perspektivy-razvitiya-stroitel'nogo-kompleksa-obrazovanie-nauka-biznes.html>

3. **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/>

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, подписочных 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 уместаются 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 технических наук.

Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки)»; «Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям) (технические науки)»; «Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки)»; «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки)»; «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (технические науки)»; «Управление в социальных и экономических системах (технические науки)»; «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки)»; «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)»; «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки)».

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
№ 3 (47)

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 30.10.2019 г.

Цена свободная
Уч.-изд. 15,2. Усл. печ. л. 21,3.
Заказ № 4064. 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