

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Дагестанский государственный технический университет»



Том 50, № 2, 2023.

ВЕСТНИК

ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Volume 50, No.2, 2023.

HERALD

OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY.

TECHNICAL SCIENCES

Журнал основан в 1997 году.

Выходит 4 раза в год

Научно-исследовательский журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных тех-нологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР), свидетельство ПИ № ФС77-30186 от 9 ноября 2007г.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), доступный в интернете, по адресу <http://www.elibrary.ru> (Научная электронная библиотека).

Журнал включен в российские и международные открытые репозитории научной информации; подключен к международной системе библиографических ссылок и находится в директории журналов открытого доступа: CrossRef; Google Scholar; Dimensions; Ulrich's Periodicals Directory; Open Archives; Research Bible; Directory of Open Access Journals (DOAJ); ROAD, Research4Life; LENS.ORG; OpenAIRE; Соционет, КиберЛенинка, Microsoft Academic, Mendeley, Unpaywall.

© Учредитель и издатель ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 2023.

The research journal is registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Commu-nications (ROSKOMNADZOR), the certificate of PI No. FS77-30186 of November 9, 2007.

The journal is included in the List of leading reviewed scientific journals and periodicals of the Higher Certifying Commission (VAK) of the Russian Federation, in which basic scientific results of dissertations are to be published.

The journal is included in the Russian Index of Scientific Citing (RISC) available on the Internet (<http://www.elibrary.ru> Scientific electronic library).

The journal is included in the Russian Citing Systems (RCS) and in the open repositories of scientific information connected with in-ternational system of bibliographic references: CrossRef; Google Scholar; Dimensions; Ulrich's Periodicals Directory; Open Archives; Re-search Bible; Directory of Open Access Journals (DOAJ); ROAD; Research4Life; LENS.ORG; OpenAIRE; Socionet; CyberLeninka, Mi-crosoft Academic, Mendeley, Unpaywall.

© Founder and Publisher Daghestan State Technical University, 2023.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Дагестанский государственный технический университет»

ВЕСТНИК ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. ТОМ 50, № 2, 2023

Главный редактор: Алиев Р.М., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, Махачкала, РФ.

<https://orcid.org/0000-0002-3061-4121>

Заместитель главного редактора:

Эсетова А.М., д.э.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

<https://orcid.org/0000-0003-1093-5507>

Редакционная коллегия:

Научная рубрика «Энергетика и электротехника»

Ответственный редактор: Евдулов О.В., д.т.н., доцент, ДГТУ, Махачкала, РФ.

Ахмедов Г.Я., д.т.н., профессор, зав. кафедрой ДГТУ, Махачкала, РФ.

Иванов А.П., д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. Московского физико-технического института (государственного университета), г. Долгопрудный, РФ.

Каргин Н.И., д.т.н., профессор, проректор, зам. директора Института функциональной ядерной электроники Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, РФ.

Кобзаренко Д.Н., д.т.н., профессор Института проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала, РФ.

Кругляков А.А., д.т.н., профессор, ген. директор научно-коммерческой фирмы WBN, г. Берлин, Германия.

Кутузов В.М., д.т.н., профессор, президент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), г. Санкт-Петербург, РФ.

Магомедов М. Х., д-р.физ.-мат. наук, генеральный директор ООО «САУНО», НПФ, г. Москва, РФ.

Сафаралиев Г.К., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, научный руководитель НИИ «Микроэлектроники и нанотехнологий» Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

Сулин А.Б., д.т.н., профессор, член-корр. МАХ, НИИ промышленной и морской медицины федерального медико-биологического агентства, г. Санкт-Петербург, РФ. AuthorID (Scopus): 6507491881

Научная рубрика «Информационные технологии и телекоммуникации»

Ответственный редактор: Мелехин В.Б., д.т.н., профессор ДГТУ, Махачкала, РФ.

Баширов М.М., д.т.н., профессор Азербайджанского государственного технического университета, г. Баку, Азербайджанская республика.

Ларионов А.Н., д.э.н., профессор, генеральный директор ООО «Научно-исследовательский центр «Стратегия», г. Москва, РФ.

Лобанов И.Е., д.т.н., ведущий научный сотрудник Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет), г. Москва, РФ. <https://orcid.org/0000-0001-8421-0248>

Маркосян М.В., д.т.н., профессор, директор ЗАО «Ереванский НИИ средств связи», г. Ереван, Армения.

Мустафаев А.Г., д.т.н., профессор ДГТУ, Махачкала, РФ.

Рогозин Е.А., д.т.н., профессор Воронежского института Министерства внутренних дел России, г. Воронеж, РФ.

Саркаров Т.Э., д.т.н., профессор, зав. кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

Финаев В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, РФ.

Хачумов В.М., д.т.н., профессор, заведующий лабораторией Института системного анализа РАН, г. Москва, РФ

Шахтарин Б.И., д.т.н., профессор Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва, РФ.

Якунин А.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, РФ.

Научная рубрика «Строительство и архитектура»

Ответственный редактор: Хаджишалапов Г.Н., д.т.н., профессор ДГТУ, Махачкала, РФ.

Андреев В.И., д.т.н., профессор, зав. каф. Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва, РФ.

Батдалов М.М., д.т.н., член-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор ДГТУ, Махачкала, РФ.

Давидюк А.Н., д.т.н., засл. строитель России, директор НИИЖБ им. А.А.Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, РФ.

Казачек В.Г., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Института жилища - НИПТИС им. Атаева С.С., директор ООО «Мобильная диагностика в строительстве», г. Минск, Республика Беларусь.

Мажиев Х.Н., д.т.н., профессор Грозненского государственного нефтяного технического университета им. Академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, РФ.

Несветаев Г.В., д.т.н., профессор, зав. каф. Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону, РФ.

Редакционный совет:

Председатель редакционного совета:

Якимович Б.А., д.т.н., профессор, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, РФ. orcid.org/0000-0001-7363-1071

Сопредседатели:

Иванов К.М., д.т.н., профессор, ректор БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ.

Кутузов В.М., д.т.н., профессор, президент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), г. Санкт-Петербург, РФ.

Члены редакционного совета:

Бабанлы М.Б.-О., д.т.н., профессор, ректор Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджанская республика.

Джанзаков И.И., д.т.н., профессор, член-корр. НИА РК, академик МАНЭБ, г. Атырау, Республика Казахстан.

Тимошин С.И., д.ф.-м.н., академик Белорусской инженерной академии, профессор, ректор Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь.

Группы научных специальностей

2.4.8. Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники (технические науки)

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки)

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки)

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)

2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки)

2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования (технические науки)

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки),

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки),

2.1.9. Строительная механика (технические науки)

2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки)

Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.

Том 50, № 2
Махачкала, 2023. – 200с.

Издается по решению Ученого Совета ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

Адрес учредителя и издателя
367026, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70,
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет».

Тел./факс (8722)623715;
(8722)623964
e-mail: vestnik.dgtu@mail.ru
Website: <http://vestnik.dgtu.ru/>

СОДЕРЖАНИЕ

Энергетика и электротехника.....	6
З.М.-З. Бадрудинова, О.В. Евдулов, З.А. Камилова, С.Г. Магомедова, Г.М. Гусейнов. Методика расчета двухкаскадной термоэлектрической системы для локальной гипотермии	6
Информационные технологии и телекоммуникации.....	15
А.Р. Айдинян, О.Л. Цветкова. Оценка рисков информационной безопасности автоматизированной системы с помощью нейро-нечеткой логики	15
Г.М. Артамонов, В.В. Маслов, С.А. Резниченко. Проблемы управления рисками в сфере информационной безопасности.....	25
Т.Г. Асланов, М.Ш. Абидова, М.М. Максудов, Х.Ю. Тагиров, М.М. Магомедов. Прототип системы формирования индивидуальной траектории обучения.....	35
Т.Г. Гасанов, Э.З. Батманов, М.Р. Гусейнов, М.Т. Муталибов. Математическое моделирование угловых перемещений базовой машины двухконсольного дождевального агрегата.....	41
В.В. Гилка, А.С. Кузнецова. Тестирование работоспособности метода удаленного мониторинга, реализованного в HelpMeTracker на людях, и проверка реагирования приложения на отклонения в показателях здоровья.....	48
Н.В. Губанов. Программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов.....	58
Р.В. Гусейнов, М.Р. Гусейнова, К.А. Алиева. Некоторые вопросы многокритериальной оптимизации параметров сложных систем.....	67
С.Ю. Еремочкин, А.А. Жуков, Д.В. Дорохов. Разработка компьютерной имитационной модели трехфазного асинхронного электропривода с использованием регулируемого транзисторного редуктора.....	76
А.О. Ефимов, Е.А. Рогозин. Оценка уровня защищенности (безопасности функционирования) автоматизированных систем на основе их уязвимостей, формализованная при помощи теории систем массового обслуживания.....	83
Д.С. Захаров. Применение модифицированных генетических алгоритмов для решения эволюционных задач теории расписаний.....	90
В.В. Конобеевских, А.О. Ефимов. Анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности.....	98
У.А. Михалёва. Претекстинг и способы противодействия ему.....	109
С.В. Окладникова, А.С. Панкрашов. Применение технологий искусственного интеллекта в HR-менеджменте.....	117
А.В. Олейникова, А.А. Олейников. Онтологическая модель знаний как основа автоматизации процесса распределения квот добычи водных биологических ресурсов и контроля за уровнем их освоения.....	126
В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, И.В. Стручков, С.С. Рябцев. Модель доверенного взаимодействия агентов в децентрализованной киберфизической среде.....	134
А.Р. Семишкур, И.И. Лившиц. Формирование системы требований по обеспечению информационной безопасности на объектах критической информационной инфраструктуры в кооперации Российской Федерации и Китайской Народной Республики на примере газопровода «Сила Сибири».....	142
В.В. Ткач, Г.О. Магомедов, А.А. Шевцов. Постановка задачи моделирования процесса вакуумной СВЧ – сушки для определения температурных полей во вспененных суспензиях.....	153
Строительство и архитектура.....	160
Э.К. Агаханов, С.А. Агаханов, Г.Э. Агаханов. Моделирование влажностных напряжений в грунтовом полупространстве.....	160
А.М. Казиев, И. И Кишит, А. М. Жинов, К.М. Карчаев, А.А. Бербекоев. Колебание балки с сосредоточенными массами на упруго-демпфирующих опорах.....	169
Е.И. Крупнов, И.А. Зайцева, С.А. Логинова, И.С. Зайцев. Методические аспекты оптимизации затрат энергопотребления малоэтажных строений со встроенным воздушным тепловым насосом.....	177
А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Р.И. Вишталов. Системы с оптимальными геометрическими формами.....	188
Требования к оформлению статей.....	197

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Daghestan State Technical University»

HERALD OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES. V o l u m e 5 0 , N o . 2 , 2 0 2 3 .

Editor-in-Chief: Rasul M. Aliev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; https://orcid.org/0000-0002-3061-4121	Research areas
Deputy Editor: Aida M. Esetova, Dr. Sci. (Econom.), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; https://orcid.org/0000-0003-1093-5507	2.4.8. Machines and devices, processes of refrigeration and cryogenic equipment (Technical Sciences),
Editorial Board:	2.3.1. System analysis, management and information processing (Technical Sciences),
Scientific rubric «Energy and Electrical Engineering»	2.3.3. Automation and management of technological processes and production (Technical Sciences),
Executive editor: Oleg V. Evdulov, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;	2.3.4. Management in organizational systems (Technical Sciences),
Ganapi J. Akhmedov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;	1.2.2. Mathematical modeling, numerical methods and program complexes (Technical Sciences),
Alexander P. Ivanov, Dr. Sci. (Mathematics and Physics), Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny, Russia;	2.3.6. Methods and systems for information security, information security (Technical Sciences),
Nicholay I. Kargin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice Rector, Deputy Director of the Institute for Functional Nuclear Electronics, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia;	2.3.7. Computer modeling and design automation (Technical sciences)
Dmitry N. Kobzarev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences Institute of Geothermal Problems, Daghestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia;	2.1.3. Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (Technical Sciences),
Alexander A. Krugljakov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director Wissenschaftliche Beratung und Handelsvertretung, Vladimir M. Kutuzov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, President St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint-Petersburg, Russia;	2.1.5. Building materials and products (Technical Sciences),
Magomed Kh. Magomedov, Dr. Sci. (Mathematics and Physics), General Director, "SAUNO" Ltd. Moscow, Russia;	2.1.9. Construction mechanics (Technical Sciences),
Gadzhimet K. Safaraliyev, Dr. Sci. (Mathematics and Physics), Professor, Scientific Director of the «Microelectronics and Nanotechnology» Research Institute, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;	2.1.10. Ecological safety of construction and urban economy (Technical Sciences),
Alexander B. Sulin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding member, MAX, Institute of Industrial and Marine Medicine of Federal Medical and Biological Agency, St. Petersburg, Russia;	Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. Vol. 50, No.2 Makhachkala, 2023–200p.
Scientific rubric «Information Technology and Telecommunications»	Published by Decision of the Academic Council
Executive editor: Vladimir B. Melekhin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;	Daghestan State Technical University Edition and Publisher
Mahir M. Bashirov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan;	Address: 70 I. Shamil Ave., Makhachkala, the Republic of Daghestan
Arkady N. Larionov, Dr. Sci. (Economics), Professor, General Director LLC Research Center «Strategy», Moscow, Russia	367026, Russia.
Igor E. Lobanov, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia;	Daghestan State Technical University
Mher V. Markosyan, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of Yerevan Research Institute of Communication Facilities, Yerevan, Republic of Armenia;	Tel./fax (8722)623715 (8722)623964
Aslan G. Mustafayev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;	
Eugene A. Rogozin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia, Voronezh, Russia;	
Tazhudin E. Sarkarov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;	
Boris I. Shakhtarin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia	
Valery I. Finayev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia;	
Vyacheslav M. Khachumov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of laboratory, Institute for Systems Analysis of RAS, Moscow, Russia;	
Alexey G. Yakunin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia.	
Scientific rubric «Building and architecture»	
Executive editor: Gadzhimurad N. Khadzishalapov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;	
Vladimir I. Andreev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia;	
Muhtaritdin M. Batdalov, Dr. Sci. (Eng.), Corresponding member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;	
Alexey N. Davidyuk, Dr. Sci. (Eng.), Honored Builder of Russia, Director, Gvozdev NII ZHB, JSC «SIC Construction», Moscow, Russia;	
Vladimir G. Kazachek, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Senior researcher, Ataev Institute of Dwelling - NIPTIS Director of Mobile diagnostics in construction, Minsk, Republic of Belarus;	
Khasan N. Mazhiev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia;	
Gregory V. Nesvetaev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Construction Technologies Department, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia;	
Editorial council	
Chairman of the editorial council:	
Boris A. Yakimovich, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia.	
The co-chairs of the editorial council:	
Konstantin M. Ivanov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector, Ustinov Baltic State Technical University «VOENMECH», Saint-Petersburg, Russia;	
Vladimir M. Kutuzov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, President St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint-Petersburg, Russia;	
Members of the Editorial Board:	
Mustafa B.-O. Babanly, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector, Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan;	
Islam I. Djanakov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding member, SRA RK, Academician of MANEB, Atyrau, Republic of Kazakhstan;	
Sergey I. Timoshin, Dr. Sci. (Mathematics and Physics), Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Professor, Rector, Sukhoi Gomel State Technical University, Gomel, Republic of Belarus;	

CONTENTS

Energy and Electrical Engineering.....	6
Z.M.-Z. Badrudinova, O.V. Evdulov, Z.A. Kamilova, S.G. Magomedov, G.M. Guseynov. Method for calculating a two-stage thermoelectric system for local hypothermia.....	6
Information Technology and Telecommunications.....	15
A.R. Aydinyan, O.L. Tsvetkova. Assessment of information security risks of automated system using neuro-fuzzy logic.....	15
G.M. Artamonov, V.V. Maslov, S.A. Reznichenko. Problems of risk management in the field of information security.....	25
T.G. Aslanov, M.Sh. Abidova, M.M. Maksudov, H.Yu. Tagirov, M.M. Magomedov. The prototype of the system for the formation of an individual learning path.....	35
T.G. Gasanov, E.Z. Batmanov, M.R. Huseynov, M.T. Mutalibov. Mathematical modeling of angular displacements of the base machine of a two-console sprinkling unit.....	41
V.V. Gilka, A.S. Kuznetsova. Testing the functionality of the remote monitoring method implemented in HelpMeTracker on humans and checking the application's response to deviations in health indicators.....	48
N.V. Gubanov. Software implementation of the system for learning to write Chinese characters.....	58
R.V. Guseynov, M.R. Guseynova, K. A. Alieva. Some issues of multicriteria optimization of parameters of complex systems.....	67
S.Yu. Eremochkin, A.A. Zhukov, D.V. Dorokhov. Development of a computer simulation model of a three-phase asynchronous electric drive using an adjustable transistor reducer.....	76
A.O. Efimov, E.A. Rogozin. Assessment of the level of security (operational safety) of automated systems based on their vulnerabilities, formalized using the theory of queuing systems.....	83
D.S. Zakharov. Application of modified genetic algorithms for solving evolutionary problems of the theory of schedules.....	90
V.V. Konobeevskikh, A.O. Efimov. Analysis of performance indicators of computer systems software on objects of special importance.....	98
U.A. Mikhaleva. Pretexting and means to counter it.....	109
S.V. Okladnikova, A.S. Pankrashov. Application of artificial intelligence technologies in HR management.....	117
A.V. Oleynikova, A.A. Oleynikov. Ontological model of knowledge as the basis for automation of the process of distribution of quotas for the extraction of aquatic biological resources and control over the level of their development.....	126
V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, I.V. Struchkov, S.S. Ryabtsev. Model of trusted interaction of agents in decentralized cyber-physical environment.....	134
A.R. Semishkur, I.I. Livshits. Formation of a system of requirements for ensuring information security at critical information infrastructure facilities in cooperation between the Russian Federation and the People's Republic of China on the example of the Power of Siberia gas pipeline.....	142
V.V. Tkach, G.O. Magomedov, A.A. Shevtsov. Statement of the problem modeling the process vacuum microwave drying for determining temperature fields in foamed suspensions.....	153
Building and Architecture.....	160
E.K. Agakhanov, C.A. Agakhanov, G.E. Agakhanov. Modeling of humidity stresses in a soil half-space.....	160
A.M. Kaziev, I. I. Kishit, A. M. Zhinov, K. M. Karchaev, A.A. Berbekov. Vibration of a Beam with Concentrated Masses on Elastically Damping Supports.	169
E.I. Krupnov, I.A. Zaitseva, S.A. Loginova, I.S. Zaitsev. Methodological aspects of optimization of energy consumption costs of low-rise buildings with a built-in air heat pump.	177
A.K. Yusupov, Kh.M. Muselemov, R.I. Vishtalov. Systems with optimal geometric shapes.....	188
Formatting requirements for papers.....	197

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-6-14

Оригинальная статья /Original Paper

**Методика расчета двухкаскадной термоэлектрической системы
для локальной гипотермии**

З.М.-З. Бадрудинова, О.В. Евдулов, З.А. Камилова, С.Г. Магомедова, Г.М. Гусейнов
Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка методики расчета двухкаскадной термоэлектрической системы (ТЭС) для локальной гипотермии, а также анализ ее работы. **Методы.** Модель построена на основе решения трех задач, состоящих в определении параметров двухкаскадного термоэлектрического модуля (ТЭМ), теплофизических характеристик системы сопряжения с биологическим объектом и теплоотвода для охлаждения горячих спаев термомодуля. **Результаты.** По расчетной модели произведен расчет ТЭС, предназначенной для локальной гипотермии мягких тканей при лечении их воспалений и инфекционных образований, разработанной в лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств Дагестанского государственного технического университета. Получены графики зависимости изменения холодопроизводительности ТЭМ, холодильного коэффициента, напряжения питания от перепада температур между спаями для различных значений тока питания, а также зависимость напряжения на ТЭМ от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями, изменение температуры на холодном спае и мощности ТЭМ от тока питания. Графики рассчитаны при температуре горячего спая 300 К. **Вывод.** Установлено, что подобранный в результате расчета ТЭМ типа ТВ-2-(127-127)-1.15 имеет следующие характеристики: рабочий диапазон мощностей 8-10 Вт при среднем перепада температур между спаями 65 К, ток питания - 4,4-5,8 А при потребляемой мощности 45-85 Вт, холодильный коэффициент - 0,2-0,5.

Ключевые слова: термоэлектрическая система, двухкаскадный термоэлектрический модуль, тепловое воздействие, гипотермия, методика расчета, численный эксперимент, температура

Для цитирования: З.М.-З. Бадрудинова, О.В. Евдулов, З.А. Камилова, С.Г. Магомедова, Г.М. Гусейнов. Методика расчета двухкаскадной термоэлектрической системы для локальной гипотермии. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023;50(2):6-14. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-6-14

Method for calculating a two-stage thermoelectric system for local hypothermia

Z.M.-Z. Badrudinova, O.V. Evdulov, Z.A. Kamilova, S.G. Magomedov, G.M. Guseynov
Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to develop a methodology for calculating a two-cascade thermoelectric system (TPS) for local hypothermia, as well as a theoretical analysis of its operation. **Method.** The model is built on the basis of solving three problems, consisting in determining the parameters of a two-stage thermoelectric module (TEM), thermophysical characteristics of the interface system with a biological object, and heat removal for cooling the hot junctions of the thermomodule. **Results.** According to the calculation model, the TES was calculated for local hypothermia of soft tissues in the treatment of their inflammation and infectious formations, developed in the laboratory of semiconductor thermoelectric devices and devices of the Daghestan State Technical University. Graphs of the dependence of the change in the cooling capacity of the TEM, the coefficient of performance, the supply voltage on the temperature differ-

ence between the junctions for various values of the supply current, as well as the dependence of the voltage on the TEM on the magnitude of the supply current at various values of the temperature difference between the junctions, the change in temperature by cold junction and TEM power from the supply current. The graphs are calculated at a hot junction temperature of 300 K. **Conclusion.** As a result of the calculations, it was found that the TV-2-(127-127)-1.15 TEM selected as a result of the calculation will have the following characteristics: an operating power range of 8-10 W with an average temperature difference between the junctions of 65 K, the supply current is 4.4-5.8 A with a power consumption of 45-85 W, the coefficient of performance is 0.2-0.5.

Keywords: thermoelectric system, two-stage thermoelectric module, thermal effect, hypothermia, calculation method, numerical experiment, temperature

For citation: Z.M.-Z. Badrudinova, O.V. Evdulov, Z.A. Kamilova, S.G. Magomedov, G.M. Huseynov. Method for calculating a two-stage thermoelectric system for local hypothermia. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):6-14. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-6-14

Введение. В настоящее время для лечения различных заболеваний, связанных с повреждением, воспалением и гнойными инфекциями мягких тканей, активно используется локальная гипотермия пораженных зон [1-4]. Лечебные методики, основанные на ней, состоят в замораживании поврежденного участка до уровня температур порядка 240 K и ниже для активизации восстановительных процессов. При проведении такого рода процедур наблюдается снятие воспалительных процессов, отечности, улучшается циркуляция крови в микрососудах и трофика тканей [5-9]. Реализации данного метода теплового воздействия осуществляется посредством криогенных систем, работающих с использованием жидкого хладагента, парокомпрессионного холодильного оборудования, абсорбционных машин. К недостаткам рассмотренной аппаратуры относится ее громоздкость, обязательное наличие специальных емкостей с криоагентом, обеспечивающих его продолжительное хранение, сложность контроля дозировки охлаждающего воздействия [10].

В литературе рассматриваются устройства и системы, выполняющие данные функции, построенные на основе ТЭМ, работающие в режиме охлаждения [11-15]. В них реализуются такие преимущества последних, как малые размеры и масса, независимость от действия гравитационных сил, высокая надежность и ресурс работы, экологичность и бесшумность. Однако применение стандартных однокаскадных ТЭМ не позволяет снижать температуру мягких тканей до требуемого уровня и обеспечивать относительно высокую энергетическую эффективность прибора в целом.

Постановка задачи. Одним из возможных вариантов увеличения глубины охлаждения и повышения холодильного коэффициента термоэлектрических преобразователей энергии является их каскадирование [16, 17]. При таком подходе холодные спаи нижних каскадов термоэлектрических модулей, состоящих из последовательно соединенных термоэлементов, отводят теплоту от верхних, сокращая перепад температур между спаями отдельных каскадов и повышая энергетическую эффективность всего термоэлектрического охладителя в целом, существенно снижая температуру самого верхнего термомодуля. При этом на сегодняшний день в подобной термоэлектрической системе может использоваться до десяти и более каскадов.

Целью исследования является разработка методики расчета двухкаскадной ТЭС для локальной гипотермии, а также анализ ее работы.

Методы исследования. Конструктивно ТЭС для локальной гипотермии состоит из трех блоков, находящихся друг с другом в тепловом контакте, и включающих в себя непосредственно двухкаскадный ТЭМ (или несколько ТЭМ в зависимости от требуемой мощности прибора), систему сопряжения прибора с биологическим объектом, систему отвода теплоты от горячих спаев термомодуля. Соответственно, и расчетная модель ТЭС включает в себя решение трех задач, состоящих в определении параметров двухкаскадного ТЭМ, те-

физических характеристик системы сопряжения с биологическим объектом и теплоотвода для охлаждения горячих спаев термомодуля.

При расчете двухкаскадного ТЭМ предполагается, что питание каскадов последовательное. При этом обеспечение ТЭМ электрической энергией характеризуются равенством токов в каскадах, что позволяет произвести их термическое согласование не увеличением рабочих токов $I_{\text{ТЭМ}}$, а увеличением количества термоэлементов в первом каскаде (менее холодном) (рис. 1). При использовании данной схемы ограничения на температуры обоих каскадов не налагаются.

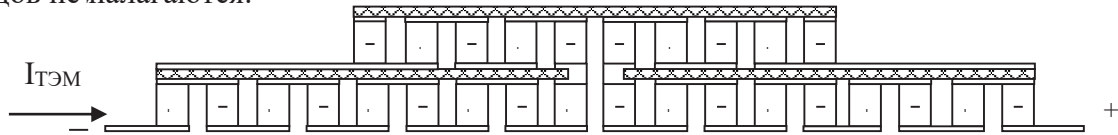


Рис. 1. Схема включения каскадов при последовательном питании двухкаскадного ТЭМ

Fig. 1. Scheme of switching on cascades with serial power supply of a two-stage TEM

Поэтому в данном случае можно задать оптимальную последовательность температур, т. е. оптимизировать каскад помимо величины питающего тока также еще по температурам его спаев.

Последовательная схема соединения каскадов содержит межкаскадные теплопереходы, которые должны обладать высокой теплопроводностью и удовлетворительной конструктивной и технологической совместимостью с материалом, из которого изготавливаются коммутационные пластины. Такая схема соединения позволяет оптимизировать параметры каскадного ТЭМ и осуществить более глубокое понижение температуры без значительного увеличения питающего тока.

Условие согласования тепловых потоков между каскадами следующее:

$$Q_{\text{ТЭМ}1} m_1 = Q_{\text{ТЭМ}2} m_2, \quad (1)$$

$$\text{равенства токов в каскадах: } I_{\text{ТЭМ}1} = I_{\text{ТЭМ}2} = I, \quad (2)$$

где индекс 1 соответствует первому (менее холодному) каскаду, а индекс 2 - второму (более холодному) каскаду. Используя указанные условия для случая работы ТЭМ в режиме максимальной эффективности из (1) можно получить:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{e_1}{e_2} \frac{M_1}{M_2} \frac{M_1 T_{\text{ТЭМ}1} - T_{\text{ТЭМ}}}{M_2 T_{\text{ТЭМ}2} - T_{\text{ТЭМ}}} \frac{M_1^2 - 1}{M_2^2 - 1}. \quad (3)$$

Так как при последовательном питании каскадов токи в них равны, то расчет геометрических размеров ветвей (высоты $\ell_{\text{ТЭМ}}$ и площади поперечного сечения $s_{\text{ТЭМ}}$), а также значения силы тока питания в каждом каскаде осуществляется по формулам:

$$I_{\text{ТЭМ}} = \frac{(M^2 - 1) Q_{\text{ТЭМ}}}{e M (M T_{\text{ТЭМ}Г} - T_{\text{ТЭМ}Х})}, \quad (4)$$

где $M = \sqrt{1 + 0,5Z(T_{\text{ТЭМ}Х} + T_{\text{ТЭМ}Г})}$, $T_{\text{ТЭМ}Х}$ - температура холодного спая термоэлемента,

$T_{\text{ТЭМ}Г}$ - температура горячего спая термоэлемента, $t = \frac{T_{\text{ТЭМ}Г}}{T_{\text{ТЭМ}Х}}$, $Z = \frac{e^2}{(\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n})^2}$ - доброт-

ность термоэлемента, e - коэффициент термо-э.д.с. термоэлемента, $G = \frac{2M}{M-1} \frac{\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n}}{\sqrt{\lambda_p \rho_n} + \sqrt{\lambda_n \rho_p}} \sqrt{\lambda_n \lambda_p}$,

$\lambda_p, \rho_p, \lambda_n, \rho_n$ - удельные теплопроводности и сопротивления ветвей термопары p- и n-типа соответственно.

Геометрические размеры термоэлементов, входящих в состав ТЭМ рассчитываются из задаваемого отношения $\frac{s_{\text{ТЭМ}}}{\ell_{\text{ТЭМ}}}$, а также по известной величине питающего электрического тока:

$$\frac{\ell_{\text{ТЭМ}}}{s_{\text{ТЭМ}}} = \frac{e(T_{\text{ТЭМ}_r} - T_{\text{ТЭМ}_x})\sigma_p}{I_{\text{ТЭМ}}(M-1)\left(1 + \frac{\sigma_p}{\sigma_n} \frac{s_p}{s_n}\right)}, \quad (5)$$

$$\frac{\ell_{\text{ТЭМ}}/s_p}{\ell_{\text{ТЭМ}}/s_n} = \sqrt{\frac{\lambda_p \sigma_p}{\lambda_n \sigma_n}}. \quad (6)$$

Напряжение на всем ТЭМ определяется как сумма напряжений на каждом каскаде, а потребляемая электроэнергия рассчитывается по выражению:

$$W_{\text{ТЭМ}} = I_{\text{ТЭМ}}^2 R_{\text{ТЭМ}}, \quad (7)$$

где $R_{\text{ТЭМ}} = n(\rho_n \frac{\ell_{\text{ТЭМ}}}{s_n} + \rho_p \frac{\ell_{\text{ТЭМ}}}{s_p})$ - электрическое сопротивление ТЭМ.

Система сопряжения ТЭМ с биологическим объектом представляет собой воздушный радиатор. Расчет его проводится по известным соотношениям, изложенным в [18]. При этом ключевым параметром помимо массогабаритных характеристик системы и теплофизических параметров материала, из которого она изготовлена, является ее тепловое сопротивление, определяемое по выражению:

$$\sigma_{\text{вр}} = \frac{\lambda_{\text{вр}} \cdot S_{\text{вр}}}{\delta_{\text{вр}}}, \quad (8)$$

где $\lambda_{\text{вр}}$ – коэффициент теплопроводности воздушного радиатора, $S_{\text{вр}}$ – площадь поверхностей соприкосновения воздушного радиатора и биологического объекта, $\delta_{\text{вр}}$ – толщина воздушного радиатора.

Так как ТЭМ является двухкаскадным, то для отвода теплоты от его горячих спаев необходимо использовать жидкостную теплообменную систему. При теплотехническом расчете системы жидкостного теплосъема важным является учет режима ее течения, конструкции и состояния теплоносителя. Вынужденное течение жидкости делится на ламинарное, переходное и турбулентное. Каждый из перечисленных режимов соответствует определенному диапазону числа Рейнольдса. В трубчатых каналах течение ламинарное при $Re < 2300$ и турбулентное при $Re > 10^4$. Переходное течение соответствует диапазону чисел Рейнольдса от $2,3 \cdot 10^3$ до 10^4 .

Важной особенностью жидкостных систем отвода теплоты является наличие длинных прямолинейных каналов, по которым протекает теплоноситель, при этом протяженность каналов может быть существенно больше начального теплового участка, при этом интенсивность теплопередачи практически не зависит от скорости и температуры жидкости на входе. Для большинства разновидностей жидкостных систем теплосъема вследствие небольшой длины каналов теплопередача производится в пределах начального гидродинамического и теплового участков, а также зависит от условий на входе в транспортную зону. Наличие в подобных системах криволинейных каналов приводит к возникновению в теплоносителе центробежных сил, которые в общем случае могут оказывать определенное влияние на теплообмен. При относительно больших тепловых нагрузках на теплообменную поверхность жидкостной теплоотводящей системы в вынужденном потоке может возникнуть свободная конвекция, вызванная неоднородностью распределения температуры в теплоносителе. В отличие от вязкостного режима, соответствующего течению вязких жидкостей при отсутствии влияния свободной конвекции, в вязкостно-гравитационном режиме силы вязкости и подъемные силы сопоставимы.

Расчетное значение отводимого теплового потока $q_{\text{ж}}$ в данном случае определяется по формуле:

$$q_{\text{ж}} = \alpha_{\text{ж}}(T_{\text{ТЭМ}_r} - T_{\text{ж}}),$$

где $\alpha_{\text{ж}}$ - коэффициент теплоотдачи к жидкости; $T_{\text{ж}}$ - среднемассовая температура жидкости, протекающей в канале системы теплоотвода.

При вязкостном режиме в транспортной зоне ($Re < 2300$) охлаждающей системы средние коэффициенты теплоотдачи к жидкости могут быть рассчитаны по формуле [19]

$$Nu = 1,55 \left(\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \right)^{-\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_c}{\mu_{ж}} \right)^{-0,14} \phi_{\ell}, \quad (9)$$

справедливой при $\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \leq 0,05$ и $0,07 \leq \frac{\mu_c}{\mu_{ж}} \leq 1500$, где ϕ_{ℓ} - поправка на гидродинамический начальный участок, Re – число Пекле.

При однородном распределении скорости на входе и $\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \leq 0,1$

$$\phi_{\ell} = 0,6 \left(\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \right)^{-\frac{1}{7}} \left(1 + 2,5 \frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \right). \quad (10)$$

В выражениях (9)-(10) определяющими размерами, входящими в числа Re , Pe и Nu , являются внутренний диаметр и длина транспортной зоны. При вязкостно-гравитационном режиме течения жидкости при расчете теплообмена используются следующее выражение:

$$Nu = 0,35 \left(Pe \frac{\ell}{d} \right)^{0,3} \left(Gr Pr \frac{\ell}{d} \right)^{0,18}.$$

В случае турбулентного режима ($Re > 10^4$) для расчета теплообмена в прямых гладких каналах при $\frac{\ell}{d} \geq 50$ используется соотношение:

$$Nu = 0,023 Re_{ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25}.$$

При переходном режиме течения жидкости ($2,3 \cdot 10^3 < Re < 10^4$) теплопередача зависит от значительного количества параметров, достаточно трудно поддающихся учету. Расчет теплообмена осуществляется непосредственно по опытным данным, полученным в условиях, соответствующих расчетным [19].

Обсуждение результатов. В результате расчета по рассмотренной методике установлено, что для решаемых целей может быть использован двухкаскадный ТЭМ типа ТВ-2-(127-127)-1.15 (производитель - компания ООО «Криотерм», г. Санкт-Петербург) [20] с воздушным радиатором для сопряжения с биологическим объектом и жидкостной системой для отвода теплоты от его горячих спаев. Предельные параметры термомодуля следующие: $I_{ТЭМ.max} = 5,8$ А, $Q_{ТЭМ.max} = 34$ Вт, $U_{ТЭМ.max} = 15,4$ В, $\Delta T_{ТЭМ.max} = 84$ К, $R_{ТЭМ} = 2,3$ Ом.

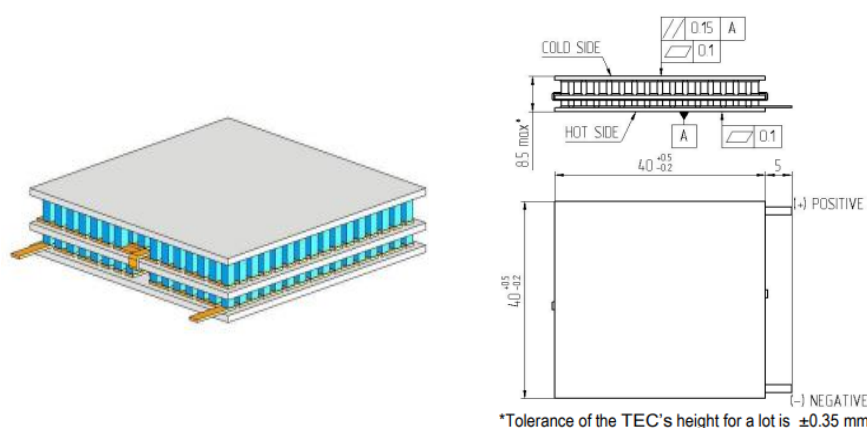


Рис. 2. Внешний вид ТЭМ типа ТВ-2-(127-127)-1.15 и его геометрические размеры

Fig. 2. Appearance of TEM type TV-2-(127-127)-1.15 and its geometrical dimensions

На рис. 2. представлены внешний вид и характеристики данного ТЭМ. Графики представлены на рис. 3-6 при температуре горячего спаев 300 К.

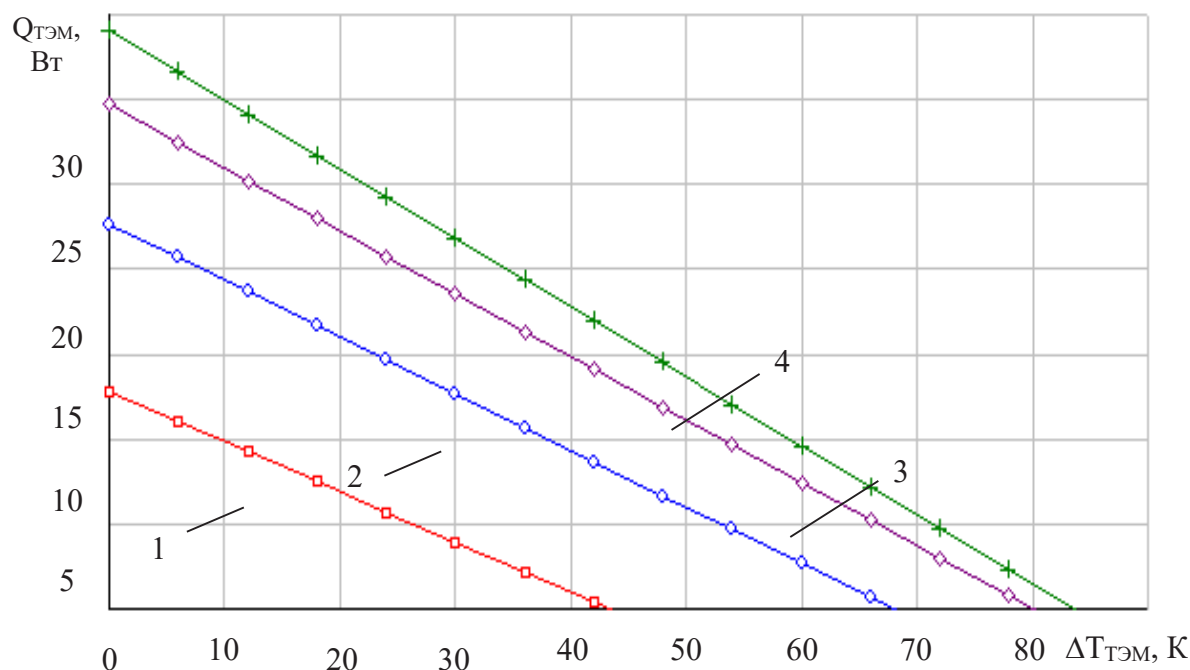


Рис. 3. Зависимость мощности ТВ-2-(127-127)-1.152 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания 1- $I_{TЭМ}=1,5 A$, 2- $I_{TЭМ}=2,9 A$, 3 - $I_{TЭМ}=4,4 A$, 4 - $I_{TЭМ}=5,8 A$
 Fig. 3. Dependence of TV-2-(127-127)-1.152 power on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current 1- $I_{TЭМ}=1.5 A$, 2- $I_{TЭМ}=2.9 A$, 3- $I_{TЭМ}=4.4 A$, 4 - $I_{TЭМ}=5.8 A$

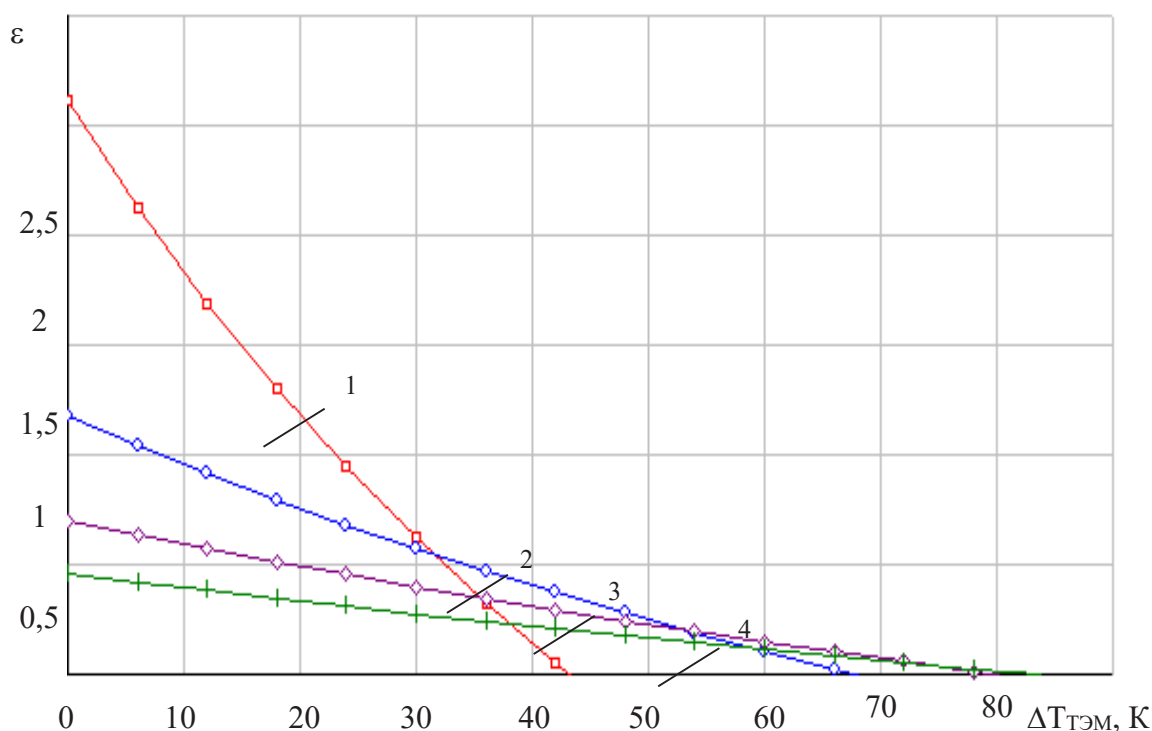


Рис. 4. Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ ТВ-2-(127-127)-1.15 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания 1- $I_{TЭМ}=1,5 A$, 2- $I_{TЭМ}=2,9 A$, 3 - $I_{TЭМ}=4,4 A$, 4 - $I_{TЭМ}=5,8 A$
 Fig. 4. Dependence of the coefficient of performance of TEM TV-2-(127-127)-1.15 on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current 1- $I_{TЭМ}=1.5 A$, 2- $I_{TЭМ}=2.9 A$, 3- $I_{TЭМ}=4.4 A$, 4 - $I_{TЭМ}=5.8 A$

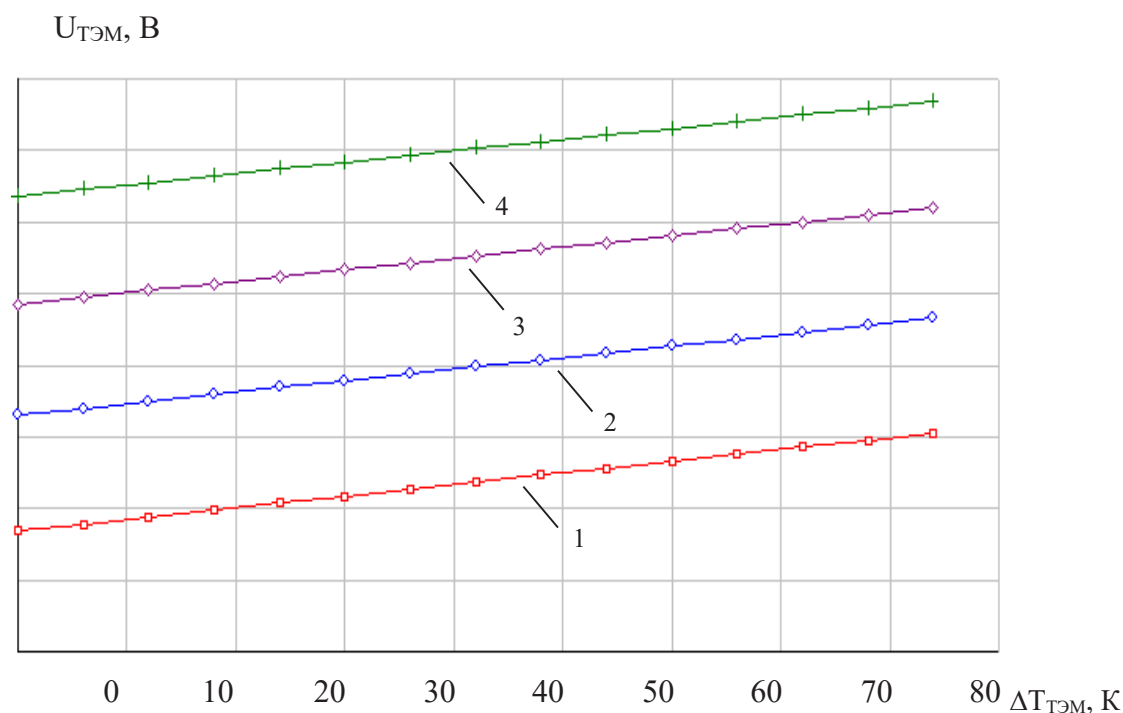


Рис. 5. Зависимость напряжения питания ТЭМ ТВ-2-(127-127)-1.15 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания 1- $I_{\text{ТЕМ}}=1,9$ А, 2- $I_{\text{ТЕМ}}=3,8$ А, 3 - $I_{\text{ТЕМ}}=5,7$ А, 4 - $I_{\text{ТЕМ}}=7,6$ А

Fig. 5. Dependence of the supply voltage of TEM TV-2-(127-127)-1.15 on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current 1- $I_{\text{ТЕМ}} = 1.9$ А, 2- $I_{\text{ТЕМ}} = 3.8$ А, 3 - $I_{\text{ТЕМ}} = 5.7$ А, 4 - $I_{\text{ТЕМ}} = 7.6$ А

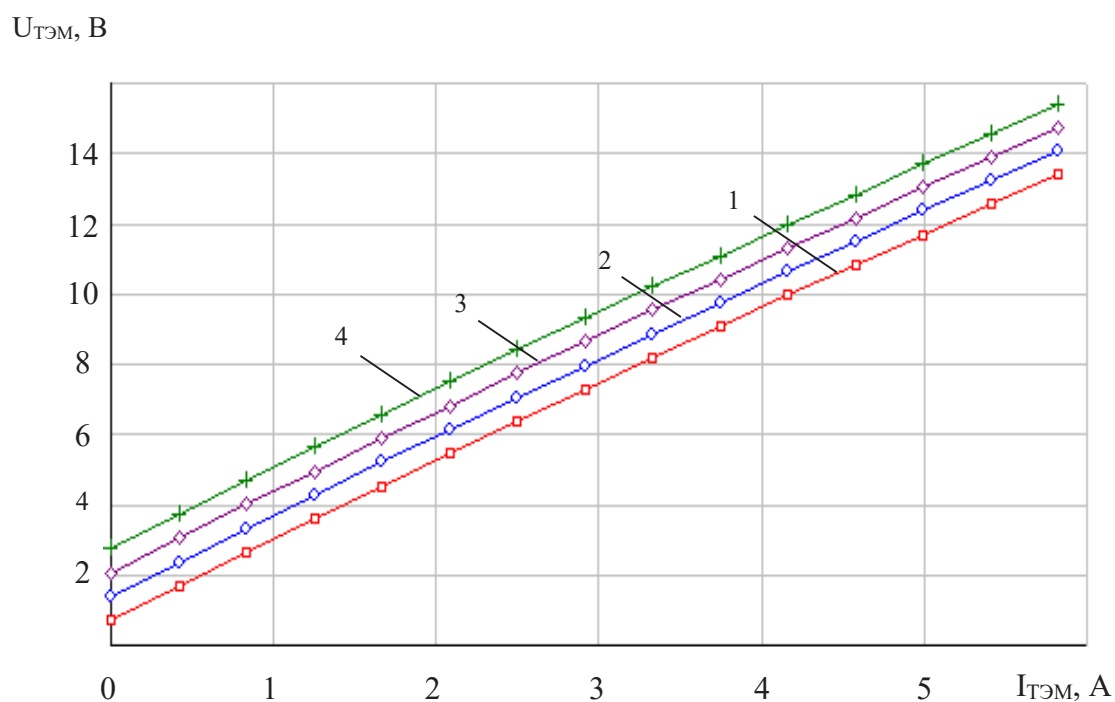


Рис. 6. Зависимость напряжения ТЭМ ТВ-2-(127-127)-1.15 от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями 1- $\Delta T_{\text{ТЕМ}}=21$ К, 2- $\Delta T_{\text{ТЕМ}}=42$ К, 3 - $\Delta T_{\text{ТЕМ}}=63$ К, 4 - $\Delta T_{\text{ТЕМ}}=84$ К

Fig. 6. Dependence of the voltage of TEM TV-2-(127-127)-1.15 on the magnitude of the supply current at different values of the temperature difference between the junctions 1- $\Delta T_{\text{ТЕМ}} = 21$ К, 2- $\Delta T_{\text{ТЕМ}} = 42$ К, 3 - $\Delta T_{\text{ТЕМ}} = 63$ К, 4 - $\Delta T_{\text{ТЕМ}} = 84$ К

Для данного типа ТЭМ основные рабочие параметры имеют значения: рабочий диапазон мощностей 8-10 Вт при среднем перепаде температур между спаями 65 К, ток питания - 4,4-5,8 А при потребляемой мощности 45-85 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,2 до 0,5.

Вывод. Разработана расчетная модель двухкаскадной ТЭС для локальной гипотермии. Она включает в себя решение задач, состоящих в определении параметров двухкаскадного ТЭМ, теплофизических характеристик системы сопряжения с биологическим объектом и теплоотвода для охлаждения горячих спаев термомодуля. Представлен расчет характеристик ТЭС, выполненной на основе стандартного двухкаскадного ТЭМ типа ТВ-2-(127-127)-1.15 с воздушным радиатором для сопряжения с биологическим объектом и жидкостной системой для отвода теплоты от его горячих спаев. Расчеты показали, что данный тип модуля соответствует требованиям проведения лечебных процедур.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00130, <https://rscf.ru/project/23-29-00130/>.

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-29-00130, <https://rscf.ru/project/23-29-00130/>.

Библиографический список:

1. Зубкова С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - №6. - С.3-10.
2. Боголюбов В.М., Сидоров В.Д. Физиотерапия в реабилитации больных ревматоидным артритом // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2012. - № 2. - С.3-9.
3. Ушаков А.А. Практическая физиотерапия. М.: ООО Медицинское информационное агентство, 2009. - 612 с.
4. Пономаренко Г.Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития // Физическая и реабилитационная медицина. - 2022. - т. 4, № 1. - С.8-20.
5. Боголюбов В.М. Техника и методики физиотерапевтических процедур. - М.: Бином, 2017. - 464 с.
6. Баранов А.Ю., Василенок А.В., Соколова Е.В., Чубова С.Д., Зиявидинов А.М. Выбор альтернативного криоагента для покрытия тепловой нагрузки в установке для общего криотерапевтического воздействия // Вестник Международной академии холода. - 2022. - № 1. - С.76-82.
7. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - № 4. - С.33-36.
8. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. - New York: Springer, 2015. - 441 p.
9. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. - М.: Сайнс-Пресс, 2011. - 304 с.
10. Гуляев А.А. Оформление аппаратно/физиотерапевтических процедур согласно требованиям Минздрава РФ // Аппаратная косметология. - 2017. - № 1. - С.14-20.
11. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Юсуфов Ш.А., Аминов Г.И. Приборы для локального температурного воздействия на человеческий организм // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2003. №2. С.3-6.
12. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Набиев Н.А., Рагимова Т.А. Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения // Медицинская техника. 2019. № 2. С. 12-14.
13. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Набиев Н.А., Магомедова С.Г. Модель термоэлектрического устройства для теплового воздействия на рефлексогенные зоны // Медицинская техника. 2020. № 1. С. 40-43.
14. Hu B., Shi X.-L., Chen Z.-G., Zou J. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives // Chemical engineering journal. - 2022. - Vol. 437. - P.135268.
15. Zaferani S.H., Ghomashchi R., Sams M.W., Chen Z.-G. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical application: design, optimization and advancement. Nano energy. - 2021. - Vol. 90. - P. 106572.
16. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, New York: Springer, 2013. - 240 p.
17. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx // Journal of Thermoelectricity. - 2015. - № 2. - P. 86-94.
18. Теория тепломассообмена / Под. ред. А.И. Леонтьева. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. - 464 с.
19. Васильев Е.Н. Расчет и оптимизация теплообменников термоэлектрического блока охлаждения // Теплофизика и аэромеханика. - 2022. - Т. 29, № 3. - С. 419-430
20. <http://www.kryotherm.ru> (accessed 05/03/2023).

References:

1. Zubkova S.M. The role of the thermal component in the therapeutic effect of physical factors. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011; 6:3-10 (In Russ)
2. Bogolyubov V.M., Sidorov V.D. Physiotherapy in the rehabilitation of patients with rheumatoid arthritis *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2012; 2:3-9. (In Russ)

3. Ushakov A.A. Practical physiotherapy. M.: OOO Medical Information Agency, 2009; 612. (In Russ)
4. Ponomarenko G.N. Restorative medicine: fundamental foundations and development prospects. *Physical and Rehabilitation Medicine*. 2022; 4(1): 8-20. (In Russ)
5. Bogolyubov V.M. Technique and methods of physiotherapeutic procedures. M.: Binom, 2017; 464. (In Russ)
6. Baranov A.Yu., Vasilenok A.V., Sokolova E.V., Chubova S.D., Ziyavidinov A.M. The choice of an alternative cryoagent to cover the heat load in the installation for general cryotherapy. *Bulletin of the International Academy of Cold*. 2022; 1:76-82. (In Russ)
7. Ezhov V.V. Physiotherapy and physiopraxology as methods and means of maintaining and restoring health. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011; 4:33-36. (In Russ)
8. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. New York: Springer, 2015; 441.
9. Tsyganov D.I. Cryomedicine: processes and devices. M.: SCIENCE PRESS, 2011; 304. (In Russ)
10. Gulyaev A.A. Registration of hardware / physiotherapy procedures in accordance with the requirements of the Ministry of Health of the Russian Federation. *Hardware cosmetology*. 2017; 1:14-20. (In Russ)
11. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Yusufov Sh.A., Aminov G.I. Devices for local temperature effects on the human body. *Izvestiya vuzov. North Caucasian region. Technical Sciences*, 2003; 2:3-6. (In Russ)
12. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Nabiev N.A., Ragimova T.A. Thermoelectric device to stop bleeding. *Medical technology*. 2019; 2:12-14. (In Russ)
13. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Nabiev N.A., Magomedova S.G. Model of a thermoelectric device for thermal action on reflexogenic zones. *Meditsinskaya tekhnika*. 2020; 1: 40-43. (In Russ).
14. Hu B., Shi X.-L., Chen Z.-G., Zou J. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives. *Chemical engineering journal*. 2022; 437:135268.
15. Zaferani S.H., Ghomashchi R., Sams M.W., Chen Z.-G. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical application: design, optimization and advancement. *Nano energy*. 2021; 90:106572.
16. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, New York: Springer, 2013; 240.
17. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx. *Journal of Thermoelectricity*. 2015; 2: 86-94.
18. Theory of heat and mass transfer. A.I. Leontiev. M.: MSTU im. N.E. Bauman, 2018; 464. (In Russ)
19. Vasiliev E.N. Calculation and optimization of heat exchangers of a thermoelectric cooling unit. *Thermal Physics and Aeromechanics*. 2022; 29(3): 419-430 (In Russ)
20. <http://www.kryotherm.ru> (accessed 05/03/2023). (In Russ)

Сведения об авторах:

Бадрудинова Заира Магомед-Загировна, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники; badrudinova.zair@yandex.ru.

Евдулов Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и общей электротехники; ole-ole-ole@rambler.ru

Камилова Зури Анваровна, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники; zuri2408@mail.ru.

Магомедова Сарат Гусеновна, соискатель кафедры теоретической и общей электротехники; saratmag05@yandex.ru.

Гусейнов Гусейн Магомедзагирович, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники; xxxguseynxxx@mail.ru.

Information about authors:

Zaira M.-Z. Badrudinova, Post-graduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; badrudinova.zair@yandex.ru.

Oleg V. Evdulov, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering; ole-ole-ole@rambler.ru

Zuri A. Kamilova, Senior Lecture, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; zuri2408@mail.ru.

Sarat G. Magomedova, Competitor, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; saratmag05@yandex.ru.

Gussein M. Guseynov, Post-graduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; xxxguseynxxx@mail.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 18.03.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 09.04.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 09.04.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.056

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-15 -24

Оригинальная статья/Original Paper

**Оценка рисков информационной безопасности автоматизированной системы
с помощью нейро-нечеткой логики**

А.Р. Айдинян, О.Л. Цветкова

Донской государственный технический университет,
344000, г. Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, Россия

Резюме. Цель. Автоматизированные системы широко применяются на производстве и, важным критерием их надежности является информационная безопасность. Целью исследования является обеспечение баланса между возможными потерями в результате реализации угроз и стоимостью средств защиты, обеспечивающих снижение рисков с помощью нейро-нечеткой логики. **Метод.** Разработка модели основана на использовании методов нечеткой логики. **Результат.** Получена модель интегрированной оценки рисков информационной безопасности, которая может быть практически применена для комплексного анализа эффективности организации системы защиты автоматизированных систем, функционирующих в различных областях деятельности. Выявлены показатели риска информационной безопасности автоматизированной системы, описанные с помощью лингвистических переменных. На основе этих показателей получены оценки рисков информационной безопасности от состояния: программного обеспечения; технического обеспечения; информационного обеспечения; организационно-методического обеспечения; уровня подготовки и мотивации работников. Сформулированы нечеткие продукционные правила модели для определения интегрированной оценки информационной безопасности автоматизированной системы, обеспечивая полный учет всех факторов, оказывающих существенное влияние на уровень защищенности автоматизированной системы. **Вывод.** Особенностью предложенного подхода является формализация процесса оценки, уменьшение уровня субъективизма при формировании оценок риска.

Ключевые слова: автоматизированная система, информационная безопасность, оценка уровня информационной безопасности, защита информации

Для цитирования: А.Р. Айдинян, О.Л. Цветкова. Оценка рисков информационной безопасности автоматизированной системы с помощью нейро-нечеткой логики. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):15-24. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-15-24

Assessment of information security risks of automated system using neuro-fuzzy logic

A.R. Aydinyan, O.L. Tsvetkova

Don State Technical University,
1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russia

Abstract. Objective. Automated systems are widely used in production, and an important criterion for their reliability is information security. The aim of the study is to provide a balance between possible losses as a result of the implementation of threats and the cost of protection tools that reduce risks using neuro-fuzzy logic. **Method.** The developed model is based on the use of fuzzy logic. **Result.** A model of integrated information security risk assessment has been obtained, which can be practically applied for a comprehensive analysis of the effectiveness of organizing a protection system for automated systems operating in various fields of activity. The risk indicators of information security of an automated system, described with the help of linguistic variables, are revealed. Based on these indicators, information security risk assessments were obtained from the state of: software; technical support; information support; organizational and methodological support; the level of training and motivation of employees. The

fuzzy production rules of the model are formulated to determine the integrated assessment of the information security of an automated system, providing a full account of all factors that have a significant impact on the level of security of an automated system. **Conclusions.** A feature of the proposed approach is the formalization of the assessment process, reducing the level of subjectivity in the formation of risk assessments.

Keywords: automated system, information security, assessment of the level of information security, information protection

For citation: A.R. Aydinian, O.L. Tsvetkova. Assessment of information security risks of automated system using neuro-fuzzy logic. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50 (2): 15-24. DOI: 10.21822 /2073-6185-2023-50-2-15-24

Введение. Под риском информационной безопасности понимается возможность злоумышленника использовать уязвимость инфраструктуры предприятия для совершения атаки и реализации угроз информационной безопасности. Результатом будет снижение уровня защищенности информации и причинение ущерба предприятию. В процессе проведения анализа (оценки) рисков специалисты решают следующие задачи: проводят идентификацию и оценку ценности активов предприятия, идентификацию угроз информационной безопасности и уязвимостей системы защиты, расчет вероятности успешной реализации угроз и их влияние на бизнес.

Постановка задачи. Целью процесса анализа рисков является обеспечение баланса между возможными потерями в результате реализации угроз и стоимостью средств защиты, обеспечивающих снижение рисков.

Методы исследования. Особенность процесса анализа защищенности автоматизированных систем заключается в том, что при оценке информационных рисков в качестве исходных данных часто используются нечеткие значения в виде экспертных оценок. Одним из перспективных направлений исследований в этой области является использование нейро-нечеткой логики.

Автоматизированная система обеспечивает формирование решений в различных областях деятельности на основе автоматизации определенных информационных процессов, и, по сути, является организационно-технической системой, состоящей из средств автоматизации и видов деятельности персонала [1].

Автоматизированные системы делятся на системы управления процессами, системы поддержки проектирования, системы управления производством и т.д. [2].

На рис. 1 приведена классификация автоматизированных систем.

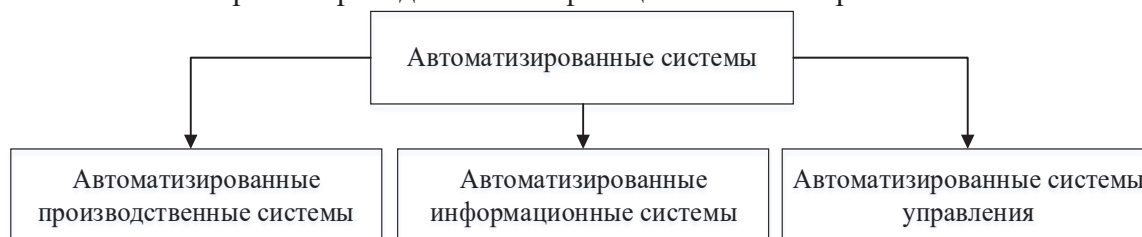


Рис. 1. Классификация автоматизированных систем

Fig. 1. Classification of automated systems

Автоматизированная система производственного назначения выполняет сбор и обработку информации от объекта управления, формирование на основе этой информации и передачу управляющих воздействий на объект.

Таким образом, автоматизированная производственная система реализует функции, поддающиеся автоматизации. Функции человека заключаются в определении и корректировке цели, критериев управления, программы управления. Автоматизированная информационная система предназначена для выполнения информационной технологии реализации определенных функций [3]. В целом автоматизированная система - это система, состоящая из персонала и комплекса

средств автоматизации его деятельности, и реализует информационную технологию выполнения установленных функций [4].

Автоматизированная система управления - комплекс аппаратных и программных средств, а также персонала, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса, производства, предприятия.

На рис. 2 приведена обобщенная структура автоматизированной системы.



Рис. 2. Обобщенная структура автоматизированной системы

Fig. 2. Generalized structure of the automated system

Автоматизированная система представляет собой совокупность компонент:

- технические средства автоматизации — программное обеспечение автоматизированной системы, техническое обеспечение, информационное обеспечение;
- организационно-методическое обеспечение — совокупность документов, определяющих организационную структуру объекта и системы автоматизации, описание процессов деятельности, формы представления результатов деятельности;
- персонал, который применяет автоматизированную систему в процессе своей профессиональной деятельности.

Для анализа рисков информационной безопасности автоматизированной системы предлагается использовать нейро-нечеткий подход, основанный на искусственных нейронных сетях и моделях нечеткой логики [5-7].

Обсуждение результатов. Анализ показателей риска информационной безопасности автоматизированной системы. Эффективность функционирования системы защиты при возникновении угрозы несанкционированного доступа зависит от многих факторов, которые измеряются с помощью экспертных оценок и посредством математического моделирования [8]. Существуют подходы к количественной оценке рисков реализации угрозы несанкционированного доступа к информации, позволяющие оценивать уровень защищенности информации [9].

В табл. 1 представлены показатели риска информационной безопасности автоматизированной системы, описанные с помощью лингвистических переменных с указанием их возможных значений.

Оценка риска информационной безопасности автоматизированной системы от состояния программного обеспечения. Для оценки влияния на риск информационной безопасности программного обеспечения, которым оснащена автоматизированная система, необходимо учитывать ее составляющие: системное и прикладное программное обеспечение. Системное программное обеспечение предназначено для обеспечения функционирования компьютера, сетей и прикладных программ.

В качестве системного программного обеспечения используются операционная система, сервисные пакеты, программные средства для сетевой коммуникации. Операционная система компьютера является основной системной программой, и обеспечивает синхронизацию работы всех частей и устройств, управляет запуском программ, создает папки, организует файловую систему и сервисные функции.

Таблица 1. Показатели риска информационной безопасности автоматизированной системы
Table 1. Information security risk indicators of an automated system

Обозначение Notation	Наименование лингвистической переменной Name of the linguistic variable	Возможные значения лингвистической переменной Possible values of a linguistic variable
X1	Риск информационной безопасности от состояния программного обеспечения/Information security risk from software state	X1.Н – низкий/ low level X1.С – средний/ average X1.В – высокий/ high level
X2	Риск информационной безопасности от состояния технического обеспечения/ Information security risk from the state of technical support	X2.Н – низкий/ low level X2.С – средний / average X2.В – высокий/ high level
X3	Риск информационной безопасности от состояния информационного обеспечения/ Information security risk from the state of information support	X3.Н – низкий/ low level X3.В – высокий/ high level
X4	Риск информационной безопасности от состояния организационно-методического обеспечения/Information security risk from the state of organizational and methodological support	X4.Н – низкий/ low level X4.В – высокий/ high level
X5	Риск информационной безопасности от уровня подготовки и мотиваций работников/Information security risk from the level of training and motivation of employees	X5.Н – низкий/ low level X5.С – средний/ average X5.В – высокий/ high level

Сервисные пакеты обеспечивают поддержку пользователя при работе с системой:

- программы обслуживания дисков (форматирования, дефрагментации, проверки, очистки), драйверы, расширяющие возможности операционной системы;
- антивирусные программы, выполняющие проверку дисков на наличие вирусов и их уничтожение;
- программы защиты от несанкционированного доступа.

Антивирусные программы и программы защиты от несанкционированного доступа необходимо оценивать отдельно, поскольку они уменьшают риск при их использовании, и предлагается ввести отрицательный риск от их использования.

Поскольку они хорошо изучены и могут оцениваться достаточно точно предлагаются следующие возможные значения лингвистической переменной: очень низкая защита ОНЗ, низкая защита НЗ, средняя защита СЗ, высокая ВЗ, очень высокая защита ОВЗ.

Системы поддержки сетевых коммуникаций предназначены для создания и функционирования компьютерных сетей. К системам поддержки сетевых коммуникаций относятся сетевые операционные системы и другие программы.

Определяющую роль для обеспечения информационной безопасности автоматизированной системы играет операционная система.

Оценку безопасности использования драйверов можно отнести к информационной безопасности операционной системы, поскольку операционная система может содержать средства сертификации драйверов и т.д. К тому же оценить безопасность драйверов эксперту невозможно в связи с отсутствием подробной информации.

Вследствие этого предлагается оценку информационной безопасности автоматизированной системы от состояния программного обеспечения проводить исходя из факторов, представленных в табл. 2.

В случае использования нескольких сервисных пакетов в одной автоматизированной системе риск возрастает. Так при использовании двух пакетов с рисками, соответственно, p_1 и p_2 интегрированный риск может быть вычислен по формуле сложения двух вероятностей $p = p_1 + p_2 - p_1 * p_2$.

Оценка риска информационной безопасности автоматизированной системы от используемого прикладного программного обеспечения может быть оценена экспертами на основе имеющихся данных о программном обеспечении, как разработанном сторонними организациями, так и собственными разработчиками.

Таблица 2. Факторы, влияющие на информационную безопасность автоматизированной системы от состояния программного обеспечения

Table 2. Factors affecting the information security of an automated system from the state of the software

Обозначение Notation	Наименование лингвистической переменной Name of the linguistic variable	Возможные значения лингвистической переменной Possible values of a linguistic variable
X1.1	Риск информационной безопасности от используемой операционной системы и драйверов/ Information security risk from the operating system and drivers used	X1.1.H – низкий/ low level X1.1.C – средний/ average X1.1.B – высокий/ high level
X1.2	Риск информационной безопасности от используемых сервисных пакетов/ Information security risk from the used service packages	X1.2.H – низкий/ low level X1.2.C – средний/ average X1.2.B – высокий/ high level
X1.3	Риск информационной безопасности от использования антивирусных пакетов/Information security risk from the use of anti-virus packages	X1.3.H – низкий/ low level X1.3.C – средний/ average X1.3.B – высокий/ high level
X1.4	Риск информационной безопасности от использования защиты от несанкционированного доступа/Information security risk from the use of protection against unauthorized access	X1.4.H – низкий/ low level X1.4.C – средний/ average X1.4.B – высокий/ high level
X1.5	Риск информационной безопасности от используемого прикладного программного обеспечения/ Information security risk from the application software used	X1.5.H – низкий/ low level X1.5.C – средний/ average X1.5.B – высокий/ high level

В случае использования различного программного обеспечения необходимо также вычислять интегрированную оценку риска.

Риски информационной безопасности программного обеспечения делятся на две группы:

- риск постоянен во времени, например, риск информационной безопасности базы данных;
- риск возникает только в интервалы времени, когда программное обеспечение запущено, например, только в этот момент возникает канал взлома или утечки.

Однако при этом необходимо учитывать долю времени, т.е. риск необходимо умножить на долю времени, когда программа запущена.

Для системного программного обеспечения, поскольку оно всегда запущено, доля времени не актуальна.

В табл. 3 представлены нечеткие продукционные модели для определения лингвистической переменной X_1 .

Таблица 3. Нечеткие продукционные правила модели для определения лингвистической переменной X_1

Table 3. Fuzzy production rules of the model for determining the linguistic variable X_1

Обозначение правила Rule notation	Антецент Antecedent	Консеквент Consequent
П1.1	$X1.1=X1.1.H$ И $X1.2=X1.2.H$ И $X1.3=X1.3.H$ И $X1.4=X1.4.H$ И $X1.5=X1.5.H$	$Y1=H$
П1.2	$(X1.1=X1.1.C$ ИЛИ $X1.2=X1.2.C$ ИЛИ $X1.3=X1.3.C$ ИЛИ $X1.4=X1.4.C$ ИЛИ $X1.5=X1.5.C)$ И $(X1.1 <> X1.1.B$ И $X1.2 <> X1.1.B$ И $X1.3 <> X1.3.B$ И $X1.4 <> X1.4.B$ И $X1.5 <> X1.5.B)$	$Y1=C$
П1.3	$X1.1=B$ ИЛИ $X1.2=B$ ИЛИ $X1.3=B$ ИЛИ $X1.4=B$ ИЛИ $X1.5=B$	$Y1=B$

Оценка риска информационной безопасности автоматизированной системы от состояния технического обеспечения. Техническое обеспечение автоматизированной системы состоит из следующих элементов:

- комплекс средств передачи информации — это GPS связь; компьютерные сети (локальные, региональные, глобальные);
- средства телеграфной связи; радиосвязь; спутниковая связь и др;
- средства хранения данных — это оптические диски (CD, DVD);
- USB-накопители (flash, HDD); жесткие диски (2,5»,3,5»).

В табл. 4 представлены факторы, оказывающие влияние на информационную безопасность автоматизированной системы от состояния технического обеспечения.

Таблица 4. Факторы, влияющие на информационную безопасность автоматизированной системы от состояния технического обеспечения

Table 4. Factors affecting the information security of an automated system from the state of technical support

Обозначение Notation	Наименование лингвистической переменной Name of the linguistic variable	Возможные значения лингвистической переменной Possible values of a linguistic variable
X2.1	Риск информационной безопасности от используемых хранилищ данных/Information security risk from used data stores	X2.1.H – низкий риск/low level X2.1.C – средний/ average X2.1.B – высокий/ high level
X2.2	Риск информационной безопасности от используемых системных модулей/ Information security risk from used system modules	X2.2.H – низкий риск/low level X2.2.B – высокий/ high level
X2.3	Риск информационной безопасности от используемых средств передачи информации/ Information security risk from the means of information transmission used	X2.3.H – низкий риск/low level X2.3.B – высокий/ high level
X2.4	Риск информационной безопасности от используемых аппаратных средств защиты/ Information security risk from the hardware protections used	X2.4.H – низкий риск/low level X2.4.C – средний/ average X2.4.B – высокий/ high level

В табл. 5 представлены нечеткие продукционные модели для определения лингвистической переменной X₂.

Таблица 5. Нечеткие продукционные правила модели для определения лингвистической переменной X₂

Table 5. Fuzzy production rules of the model for determining the linguistic variable X₂

Обозначение правила Rule notation	Антецент Antecedent	Консеквент Consequent
П2.1	X2.1=H И X2.2=H И X2.3=H И X2.4=H	Y2=H
П2.2	(X2.1=C ИЛИ X2.4=C) И (X2.1<>B И X2.2<>B И X2.3<>B И X2.4<>B)	Y2=C
П2.3	X2.1=B ИЛИ X2.2=B ИЛИ X2.3=B ИЛИ X2.4=B	Y2=B

Оценка риска информационной безопасности автоматизированной системы от состояния информационного обеспечения автоматизированной системы.

В качестве факторов, возникающих в зависимости от состояния информационного обеспечения автоматизированной системы, которые могут оказывать влияние на информационную безопасность, необходимо рассмотреть (табл. 6):

- форматы информационного обеспечения;
- методы шифрования баз данных;
- процедуры резервного копирования информационного обеспечения;
- средства обмена информацией и электронного документооборота.

Таблица 6. Факторы, влияющие на информационную безопасность автоматизированной системы от состояния информационного обеспечения автоматизированной системы
Table 6. Factors affecting the information security of an automated system from the state of information support of an automated system

Обозначение Notation	Наименование лингвистической переменной Name of the linguistic variable	Возможные значения лингвистической переменной Possible values of a linguistic variable
X3.1	Риск информационной безопасности от используемых форматов информационного обеспечения/Information security risk from the used information support formats	X3.1.H – низкий риск/low level X3.1.B – высокий/ high level
X3.2	Риск информационной безопасности от используемого метода шифрования баз данных/Information security risk from the database encryption method used	X3.2.H – низкий риск/low level X3.2.B – высокий/ high level
X3.3	Риск информационной безопасности от процедуры резервного копирования информационного обеспечения/ Information security risk from information security backup procedure	X3.3.H – низкий риск/low level X3.3.B – высокий/ high level
X3.4	Риск информационной безопасности от используемых средств обмена информацией и реализованной процедуры электронного документооборота/ Information security risk from the means of information exchange used and the implemented electronic document management procedure	X3.4.H – низкий риск/low level X3.4.B – высокий/ high level

В табл. 7 представлены нечеткие продукционные модели для определения лингвистической переменной X3.

Таблица 7. Нечеткие продукционные правила модели для определения лингвистической переменной X3

Table 7. Fuzzy production rules of the model for determining the linguistic variable X3

Обозначение правила Rule notation	Антецент Antecedent	Консеквент Consequent
ПЗ.1	X3.1=H И X3.2=H И X3.3=H И X3.4=H	Y3=H
ПЗ.2	X3.1=B ИЛИ X3.2=B ИЛИ X3.3=B ИЛИ X3.4=B	Y3=B

Оценка риска информационной безопасности автоматизированной системы от состояния организационно-методического обеспечения автоматизированной системы.

В качестве факторов, возникающих в зависимости от состояния организационно-методического обеспечения автоматизированной системы, необходимо рассмотреть (табл. 8): наличие инструкций по эксплуатации автоматизированной системы; соблюдение правил обеспечения информационной безопасности автоматизированной системы.

Таблица 8. Факторы, влияющие на информационную безопасность автоматизированной системы от состояния организационно-методического обеспечения автоматизированной системы

Table 8. Factors affecting the information security of an automated system from the state of organizational and methodological support of an automated system

Обозначение Notation	Наименование лингвистической переменной Name of the linguistic variable	Возможные значения лингвистической переменной Possible values of a linguistic variable
X4.1	Наличие инструкций по эксплуатации AC/Availability of operating instructions	X4.1.H – низкий риск/low level X4.1.B – высокий/ high level
X4.2	Соблюдение правил обеспечения ИБ AC/ Compliance with the rules for ensuring IS	X4.2.H – низкий риск/low level X4.2.B – высокий/ high level

В табл. 9 представлены нечеткие продукционные модели для определения лингвистической переменной X_4 .

Таблица 9. Нечеткие продукционные правила модели для определения лингвистической переменной X_4

Table 9. Fuzzy production rules of the model for determining the linguistic variable X_4

Обозначение правила Rule notation	Антецент Antecedent	Консеквент Consequent
П4.1	$X_{4.1}=H$ И $X_{4.2}=H$	$Y_1=H$
П4.2	$X_{4.1}=B$ ИЛИ $X_{4.2}=B$	$Y_1=B$

Оценка риска информационной безопасности автоматизированной системы от уровня подготовки и мотиваций работников. В качестве факторов, возникающих в зависимости от уровня подготовки и мотиваций работников, необходимо рассмотреть (табл. 10): уровень образования сотрудников; степень заинтересованности сотрудников в сохранении должности; степень лояльности сотрудников к руководству; уровень ответственности сотрудников.

Таблица 10. Факторы, влияющие на информационную безопасность автоматизированной системы от уровня подготовки и мотиваций работников

Table 10. Factors affecting the information security of an automated system depending on the level of training and motivation of employees

Обозначение Notation	Наименование лингвистической переменной Name of the linguistic variable	Возможные значения лингвистической переменной Possible values of a linguistic variable
X5.1	Уровень образования сотрудников/ The level of education of employees	X5.1.H – низкое образование/ low education X5.1.C – средний уровень образования/ average level of education X5.1.B – высокий уровень образования/ high level of education
X5.2	Степень заинтересованности сотрудников в сохранении должности/ The degree of interest of employees in maintaining the position	X5.2.H – низкая заинтересованность/ low interest X5.2.C – средняя заинтересованность/ average interest X5.2.B – высокая заинтересованность/ high interest
X5.3	Степень лояльности сотрудников к руководству/ The degree of employee loyalty to management	X5.3.H – низкая степень/ low degree X5.3.B – высокая степень/ high degree
X5.4	Уровень ответственности сотрудников/ The level of responsibility of employees	X5.4.H – низкая ответственность/ low liability X5.4.B – высокая ответственность/ high responsibility

В табл. 11 представлены нечеткие продукционные модели для определения лингвистической переменной X_5 .

Таблица 11. Нечеткие продукционные правила модели для определения лингвистической переменной X_5

Table 11. Fuzzy production rules of the model for determining the linguistic variable X_5

Обозначение правила Rule notation	Антецент Antecedent	Консеквент Consequent
П5.1	$X_{5.1}=H$ И $X_{5.2}=H$ И $X_{5.3}=H$ И $X_{5.4}=H$	$Y_5=H$
П5.2	$(X_{5.1}=C$ ИЛИ $X_{5.2}=C)$ И $(X_{5.1} \diamond B$ ИЛИ $X_{5.2} \diamond B$ ИЛИ $X_{5.3} \diamond B$ ИЛИ $X_{5.4} \diamond B)$	$Y_5=C$
П5.3	$X_{5.1}=B$ ИЛИ $X_{5.2}=B$ ИЛИ $X_{5.3}=B$ ИЛИ $X_{5.4}=B$	$Y_5=B$

Интегрированная оценка риска информационной безопасности автоматизированной системы. Для получения интегрированной оценки риска используется также нейро-нечеткая логика. Здесь необходимо объединить риски от других модулей и вычислить

итоговую оценку. Нечеткие продукционные правила модели для определения комплексной оценки приведены в табл. 12.

Таблица 12. Нечеткие продукционные правила модели для определения комплексной оценки безопасности

Table 12. Fuzzy production rules of the model for determining the integrated safety assessment

Обозначение правила Rule notation	Антецент Antecedent	Консеквент Consequent
П1	$Y1=H$ И $Y2=H$ И $Y3=H$ И $Y4=H$ И $Y5=H$	$Z1=H$
П2	$(Y1=C$ ИЛИ $Y2=C$ ИЛИ $Y5=C)$ И $(Y1 \supset B$ И $Y2 \supset B$ И $Y3 \supset B$ И $Y4 \supset B$ И $Y5 \supset B)$	$Z1=C$
П3	$Y1=B$ ИЛИ $Y2=B$ ИЛИ $Y3=B$ ИЛИ $Y4=B$ ИЛИ $Y5=B$	$Z1=B$

Таким образом, были сформулированы нечеткие продукционные правила модели для определения интегрированной оценки информационной безопасности автоматизированной системы, которая складывается из оценок рисков по нескольким направлениями (состояния программного, технического, информационного и организационно-методического обеспечения, а также уровень подготовки и мотиваций работников), обеспечивая полный учет всех факторов, оказывающих существенное влияние на уровень защищенности автоматизированной системы.

Вывод. Полученная модель интегрированной оценки рисков информационной безопасности может быть практически применена для комплексного анализа эффективности организации системы защиты автоматизированных систем, функционирующих в различных областях деятельности. Особенностью предложенного подхода является формализм процесса оценки, уменьшение уровня субъективизма при формировании оценок риска.

Библиографический список:

1. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 452 с.
2. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия Телеком, 2007. – 284 с.
3. Abe, S. Fuzzy rule extraction directly from numerical data for function approximation / S. Abe, M.-S. Lan // IEEE Transaction Systems, Man, and Cybernetics. – 1995. – Vol. 25. – P. 119–129.
4. Abe S.A method for fuzzy rule extraction directly from numerical data and its application to pattern classification / S. Abe, M.-S. Lan // IEEE Transaction on Fuzzy Systems. – 1995. – Vol. 3, № 1. – P. 18–28.
5. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.
6. Nelles O. Comparison of two construction algorithms for Takagi-Sugeno fuzzy models / O.Nelles, A.Fink, R.Babuska, M.Setnes // International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. – 2000. – Vol. 4, № 10. – P. 835–855.
7. Новак В. Математические принципы нечеткой логики / В.Новак, И.Перфильева, И.Мочкорж. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с.
8. Качаева Г.И., Попов А.Д., Рогозин Е.А. Показатели эффективности функционирования при разработке систем защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных информационных системах // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2018; 45 (1): С. 147-159. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-1-147-159. URL: <https://vestnik.dgtu.ru/jour/article/view/500/421>.
9. Мещерякова Т.В., Рогозин Е.А., Ефимов А.О., Романова В.Р., Коноваленко С.А. Методический подход к количественной оценке рисков реализации угроз несанкционированного доступа к информационному ресурсу автоматизированных систем органов внутренних дел. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(3):91-103. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-3-91-103. URL: <https://vestnik.dgtu.ru/jour/article/view/1126/728>.

References:

1. Rutkovskaya D., M. Pilinsky, L. Rutkovsky. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems Moscow: Hotline . Telecom, 2007; 452. (In Russ.)
2. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Fuzzy models and networks. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2007; 284. (In Russ.)
3. Abe, S. Fuzzy rule extraction directly from numerical data for function approximation / S. Abe, M.-S. Lan. IEEE Transaction Systems, Man, and Cybernetics. 1995; 25:119–129.
4. Abe S.A method for fuzzy rule extraction directly from numerical data and its application to pattern classification / S. Abe, M.-S. Lan. IEEE Transaction on Fuzzy Systems. 1995; 3(1):18–28.

5. Kruglov V.V., Borisov V.V. Artificial neural networks. Theory and practice. Moscow: Goryachaya liniya. Telekom, 2002; 382. (In Russ.)
6. Nelles O. Comparison of two construction algorithms for Takagi-Sugeno fuzzy models. O.Nelles, A.Fink, R.Babuska, M.Setnes. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. 2000; 4(10): 835–855.
7. Novak V. Mathematical principles of fuzzy logic. V.Novak, I. Perfil'yeva, I. Mochkorzh. Moscow: Fizmatlit, 2006; 352. (In Russ.)
8. Kachaeva G.I., Popov A.D., Rogozin E.A. Functional performance indicators during systems development to protect information from unauthorised access. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2018; 45 (1):147-159. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-1-147-159. URL: <https://vestnik.dgtu.ru/jour/article/view/500/421>.
9. Meshcheryakova T.V., Rogozin E.A., Efimov A.O., Romanova V.R., Konovalenko S.A. Methodical approach to quantitative assessment of the risks of the implementation of threats unauthorized access to an information resource automated systems of internal affairs bodies. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2022; 49(3):91-103. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-3-91-103. URL: <https://vestnik.dgtu.ru/jour/article/view/500/421>. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Айдинян Андрей Размирович, кандидат технических наук, доцент, кафедры «Вычислительные системы и информационная безопасность», aaydinyan@donstu.ru; ORCID 0000-0001-9455-4079.

Цветкова Ольга Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, кафедры «Вычислительные системы и информационная безопасность», olga_cvetkova@mail.ru; ORCID 0000-0003-4071-6313

Information about authors:

Andrey R. Aydinyan, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Computing Systems and Information Security, aaydinyan@donstu.ru; ORCID 0000-0001-9455-4079.

Olga L. Tsvetkova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Computing Systems and Information Security, olga_cvetkova@mail.ru; ORCID 0000-0003-4071-6313

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 15.02.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 12.03.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 12.03.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.056

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-25-34

Обзорная статья /Review article

Проблемы управления рисками в сфере информационной безопасности

Г.М. Артамонов¹, В.В. Маслов², С.А. Резниченко³

^{1,2,3}Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
^{1,2,3}125167, г. Москва, Ленинградский пр-т, 49/2, Россия,

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
³115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31, Россия,

³Российский государственный гуманитарный университет,
³125047, г. Москва, Миусская площадь, 6, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является сбор общедоступной информации для определения основных проблем, препятствующих эффективному управлению рисками информационной безопасности в сфере бизнеса. **Метод.** В качестве методов исследования используются: систематизация, описание и анализ. Необходимые данные формируются на основе информации, полученной по результатам анализа нормативно-правовой базы и исследований по заданной теме. **Результат.** Обоснована актуальность рассматриваемого вопроса; отмечается значительная эффективность риск-ориентированного подхода при управлении информационной безопасностью. Описаны ключевые этапы процесса менеджмента рисков информационной безопасности. Выявлены основные проблемы управления рисками информационной безопасности, характерные для отдельных этапов целостного процесса. **Вывод.** Материалы, представленные в работе, могут послужить базисом для дальнейших исследований по теме, а также для формирования рекомендаций по разрешению выявленных проблем.

Ключевые слова: информационная безопасность, ИБ бизнеса, СМИБ, риск-ориентированный подход, проблемы управления

Для цитирования: Г.М. Артамонов, В.В. Маслов, С.А. Резниченко. Проблемы управления рисками в сфере информационной безопасности. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):25-34. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-25-34

Problems of risk management in the field of information security

G.M. Artamonov¹, V.V. Maslov², S.A. Reznichenko³

^{1,2,3}Financial University under the Government of the Russian Federation,
^{1,2} 49 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125993, Russia,

³National Research Nuclear University "MEPhI"

³31 Kashirskoe sh., 31, Moscow, 115409, Russia,

³Russian State University for the Humanities,

³Miuskaya Square, 6, Moscow, 125047, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to collect publicly available information to identify the main problems that hinder the effective management of information security risks in the business sector. **Method.** The following research methods are used: systematization, description and analysis. The necessary data are formed on the basis of information obtained from the analysis of the regulatory framework and research in the field. **Result.** In this paper, the relevance of the issue under consideration was substantiated; the significant effectiveness of the risk-based approach in information security management was noted. The key stages of the information security risk management process were described. Next, the main problems of information security risk management for all stages of the holistic process are identified. **Conclusion.** The conducted research is of an overview nature. The materials presented in the paper can serve as a basis for

further research on the topic, as well as for the formation of recommendations for resolving the identified problems.

Keywords: information security, business information security, ISMS, risk-based approach, management problems

For citation: G.M. Artamonov, V.V. Maslov, S.A. Reznichenko. Problems of risk management in the field of information security. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50 (2): 25-34. DOI: 10.21822 /2073-6185-2023-50-2-25-34

Введение. Стремительное развитие информационных технологий привело к цифровизации подавляющего большинства аспектов жизни человека и росту ценности информации. Как следствие, повышается степень уязвимости личности, общества, бизнеса и государства информационной сфере. В противовес этому постепенно формируется и совершенствуется деятельность по обеспечению информационной безопасности (далее ИБ).

Как и любая другая целенаправленная и систематизированная работа, защита информации нуждается в управлении для того, чтобы быть рациональной, оперативной и плодотворной. Под управлением ИБ и синонимичными словосочетаниями далее в статье будет пониматься следующее: руководство деятельностью по обеспечению информационной безопасности (governance of information security); система, с помощью которой контролируется и управляется деятельность организации в области обеспечения информационной безопасности [1, стр. 5]. При проведении исследования упор был сделан на изучение управления ИБ в сфере бизнеса, вопросы, затрагивающие ИБ личности, государства и общества не рассматривались. Тем не менее, независимо от того, на защиту какого объекта направлена деятельность по защите информации, повышение ИБ не является самоцелью. Это связано с тем, что финансовые затраты на обеспечение безопасности часто могут быть не только неоправданными, но и вовсе неподъёмными. Особенно это актуально для малых и средних коммерческих организаций. Система ИБ - лишь механизм предотвращения ущерба. Ввиду вышесказанного, ключевым вопросом построения и управления такой системы становится: какой уровень защиты необходимо обеспечить для конкретной организации?

На сегодняшний день существует два основных подхода к решению этого вопроса [2, стр. 7].

1. Достижение определённого уровня ИБ. Как правило, желаемый уровень безопасности достигается путём реализации определённого набора требований (стандарты, руководящие документы) и внедрения защитных мер против всех основных видов угроз. Такой путь имеет целый ряд недостатков. В частности, он не только не позволяет, определить эффективный уровень защиты информационной системы, но и корректно оценить существующий с позиции потенциального ущерба, а также должным образом обосновать внедрение тех или иных защитных мер. Ключевым же недостатком является неэффективный расход ресурсов, как финансовых, так и человеческих.

2. Подход, связанный с оценкой и управлением рисками. Ключевым для этого подхода является принцип разумной достаточности. Ввиду того, что главной целью определено не достижение того или иного уровня защиты, а снижение рисков, появляется возможность приоритизации при распределении ресурсов. Как следствие, основное внимание уделяется устранению наиболее опасных для бизнеса уязвимостей. Более того, данный путь способствует согласованию целей высшего руководства компании по снижению рисков с работой департамента ИБ.

Представленные ниже схемы (рис. 1 - 2) наглядно демонстрируют принцип разумной достаточности, обеспечивающий большую эффективность второго подхода. Таким образом, применение риск-ориентированного подхода позволяет добиться значительного большего коэффициента полезного действия системы ИБ, нежели при первом варианте, путём соблюдения баланса между затратами на защитные меры и их эффектом, а также за счёт повышения эффективности взаимодействия специалистов ИБ с иными подразделениями организации и её руководством.

A risk-based approach builds customized controls for a company's critical vulnerabilities to defeat attacks at lower overall cost.

Maturity-based versus risk-based cybersecurity

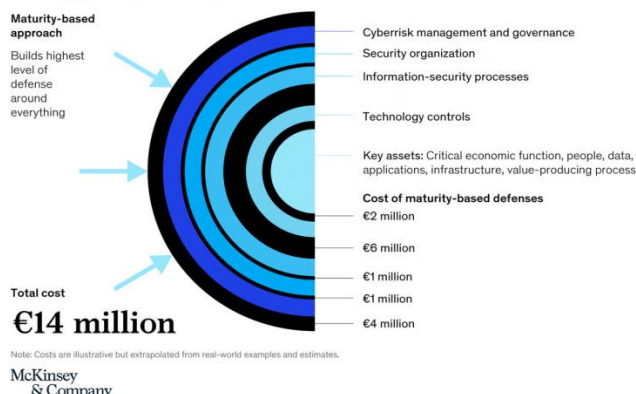


Рис. 1. Подход направленный на достижение определённого уровня ИБ [3]
 Fig. 1. Maturity-based approach

A risk-based approach builds customized controls for a company's critical vulnerabilities to defeat attacks at lower overall cost.

Maturity-based versus risk-based cybersecurity

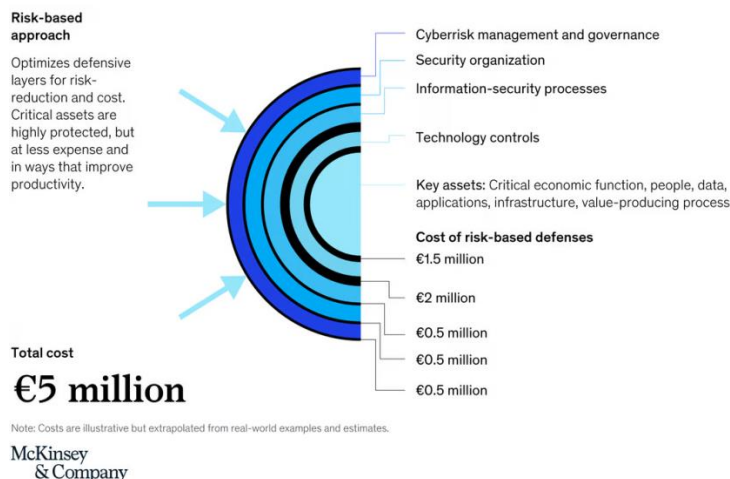


Рис. 2 Риск-ориентированный подход [3]
 Fig. 2 Risk-based approach

Постановка задачи. С учётом всего вышесказанного, риск-ориентированный подход к руководству деятельностью по обеспечению ИБ представляется наиболее актуальным и разумным. Необходимость и даже обязательность реализации механизмов управления рисками в каждой СМИБ отмечается, не только в нормативных документах [1,5], но и специалистами [3, 6]. Однако при выборе такого пути существует свой перечень осложнений, препятствующих внедрению и применению необходимых для управления рисками механизмов.

Цель данного исследования заключается в определении основных проблем, препятствующих эффективному управлению рисками информационной безопасности в сфере бизнеса, посредством сбора и анализа общедоступной информации.

Методы исследования. Понимание процесса менеджмента рисками имеет ключевое значение при поиске проблем, осложняющих его реализацию. В целом, представление о данном процессе глобально совпадают и опираются на методологию Plan-Do-Check-Act (PDCA), также известную как цикл Деминга-Шухарта. В частности, подход PDCA принят в стандарте ISO 27001 [9]. Рис. 3 демонстрирует, как этапы процесса менеджмента риска соотносятся с циклом PDCA. Различные нормативно-правовые документы предлагают свой перечень этапов в процессе менеджмента рисков ИБ (рис.4).

Процесс СМИБ	Процесс менеджмента риска ИБ
Планирование	Установление контекста Оценка риска Планирование обработки риска Принятие риска
Осуществление	Реализация плана обработки риска
Проверка	Проведение непрерывного мониторинга и переоценки рисков
Действие	Поддержка и совершенствование процесса менеджмента риска ИБ

Рис. 3. Соотношение СМИБ и процесса менеджмента риска информационной безопасности [5]

Fig. 3. The relationship between the information security management system and the information security risk management process



Рис. 4. Процесс менеджмента риска информационной безопасности [5]

Fig. 4. The process of information security risk management

Например, стандарт ISO/IEC 27005 выделяет следующие этапы:

1. Установление контекста. В рамках данного процесса изучаются все сведения компании, имеющие вес при выборе подхода к управлению рисками. На основе этих сведений вырабатываются критерии оценки рисков и возможного негативного влияния, критерии принятия рисков. Также важно учесть границы процесса управления рисками и необходимые для его осуществления ресурсы.

2. Оценка риска. Цель данного этапа - получить качественную или количественную оценку рисков и провести их приоритезацию с учётом их опасности. Этот этап включает подпроцессы: идентификация, анализ и оценивание рисков. При проведении идентификации рисков необходимо: составить перечень информационных активов, определить и классифицировать актуальные уязвимости и угрозы с учётом их источника, собрать информацию о текущем уровне ИБ и имеющихся средствах защиты информации, выявить возможные последствия реализации инцидентов.

В процессе анализа рисков выбирается используемая методология, оценивается перечень идентифицированных на предыдущем этапе угроз через потенциальные последствия от их реализации для бизнеса, а также вероятность их реализации, далее рискам присваиваются значения опасности. Наконец, на этапе оценивания рисков, посредством сравнения полученных уровней рисков с критериями, выработанными на этапе установления контекста, рискам присваивают приоритеты.

3. Разработка плана обработки рисков. Результатом данного этапа является сформированный план обработки перечня приоритизированных рисков, составленного в процессе оценки рисков. Должны быть выбраны меры защиты с учётом их стоимости, чётко определены временной интервал и приоритетность обработки рисков, а также определены остаточные риски. Существует несколько вариантов обработки рисков. Снижение рисков - изменение защитных мер, по итогам которого остаточный риск оценён как приемлемый. Сохранение риска - принятие решение не предпринимать действий по обработке риска, в связи с тем, что уровень его опасности соответствует критериям принятия риска. Предотвращение риска - решение отказаться от определенной деятельности или условия, вызывающего риск. Такой вариант выбирается, когда затраты компании на снижение слишком высоких рисков неоправданно превышают выгоду от деятельности, с которой связан риск. Передача риска - передача ответственности за менеджмент конкретного риска стороне, способной на более эффективную его обработку.

4. Принятие рисков. В ходе этого этапа принимается и формально регистрируется решение о принятии рисков и ответственности за это решение. Важно учесть, что уровень остаточных рисков может не соответствовать критериям принятия. В случае если пересмотреть критерии принятия не представляется возможным, может возникнуть необходимость принять риски им не соответствующие, с обязательным обоснованием решения.

5. Реализация плана обработки рисков. В рамках данного этапа претворяется в жизнь разработанный план обработки рисков. Вводятся в эксплуатацию средства защиты, ведется юридическая работа с партнерами, до руководства доводится информация о рисках и их обработке.

6. Непрерывный мониторинг и переоценка рисков. В связи с возможными изменениями активов организации, перечня угроз и уязвимостей, вероятности реализации инцидентов и их последствий, необходим непрерывный мониторинг. Он может быть обеспечен с привлечением внешних сервисов. Выявление изменений влечёт за собой переоценку рисков и пересмотр применяемых методов их обработки.

7. Поддержка и совершенствование процесса управления рисками ИБ. Процесс управления рисками также нуждается в постоянном мониторинге и совершенствовании, чтобы оставаться эффективным. Ввиду этого, важно следить, чтобы критерии и методы измерения и обработки рисков оставались релевантными. На данном этапе уделяется внимание изменениям в контексте (правовом, конкуренции, окружающей среды), перечне активов и их стоимости, критериям оценки и принятия рисков, доступности необходимых ресурсов. Любые изменения обязательно должны быть согласованы с заинтересованными сторонами. В случае необходимости нужно менять или совершенствовать текущий подход, методологию и инструменты управления рисками ИБ. При необходимости мониторинг может иметь результатом модификацию процесса управления рисками.

В то же время, NIST SP 800-39 выделяет всего 4 этапа [7]:

1. Определение рисков.
2. Оценка рисков.
3. Реагирование на риск.
4. Мониторинг рисков.

Однако кардинальных различий с уже рассмотренными этапами ISO/IEC 27005 нет.

Многие специалисты также отдельно выделяют этапы менеджмента остаточных рисков, такой подход отображает рис. 5.

Помимо вышеописанных этапов, важно выделить процесс коммуникации риска, который фактически является сквозным и связан со всеми подпроцессами. Термин был введён в ISO/IEC Guide 73:2002 г, пересмотрен в ISO Guide 73:2009. Данному процессу уделяется особое внимание, как специалистами в сфере управления рисками, так и в нормативно-правовых документах [5,6,7]. Эффективный обмен информацией, касающейся менеджмента риска, играет ключевую роль в принятии решений. Этот процесс обеспечивает уверенность,

что заинтересованные лица и лица, отвечающие за менеджмент риска ИБ, понимают базис для принятия решений относительно тех или иных действий.



Рис. 5. Цикл процесса управления рисками [11]

Fig. 5. Risk management process cycle

Отдельно необходимо отметить важность таких аспектов, как организационная культура и доверие к контрагентам [7, с. 28-31].

Организационная культура — это ценности, убеждения, нормы, которые влияют на принятие решений со стороны высших руководителей и отдельных членов организации. Также культура отражает готовность организации внедрять новые технологии. Ввиду этого, культура организации напрямую влияет на деятельность по управлению рисками. Поскольку компания обычно не имеет прямого контроля над деятельностью своих партнеров, степень доверия к контрагентам и учёт присущей им организационной культуры также имеет большое значение.

Таким образом, учёт данных факторов - не менее важный процесс при управлении рисками. В каждом из рассмотренных подпроцессов менеджмента рисков ИБ существуют проблемы и сложности, которые без уделения им должного внимания, препятствуют повышению эффективности системы управления информационной безопасности.

Обсуждение результатов. Рассмотрим выявленные проблемы по порядку этапов, на которых они дают о себе знать.

Установление контекста.

1. Недостаток понимания. Может быть сложно полностью понять и охватить контекст организации, ее бизнес-процессы, цели, структуру и культуру, особенно в крупных организациях или в сложных международных средах.

2. Неполнота информации. Недостаточность или неактуальность информации о существующих угрозах, уязвимостях, ресурсах и правовых требованиях может затруднять правильную оценку рисков.

3. Различные точки зрения. У разных заинтересованных сторон могут быть разные взгляды на контекст и приоритеты, что может вызвать разногласия при определении рисков и принятии решений.

4. Ограниченные ресурсы. Недостаток финансовых, человеческих и технических ресурсов может затруднять сбор и анализ информации, а также реализацию мер по управлению рисками.

5. Сложность изменений. Быстрые изменения в технологической среде и бизнес-процессах могут затруднять поддержание актуальности контекста и его соответствия текущим реалиям.

6. Недостаток экспертизы. Отсутствие квалифицированных специалистов в области управления рисками информационной безопасности может затруднить анализ и понимание контекста организации.

Оценка риска.

1. Недостаточность данных: Недостаток качественных данных о существующих угрозах, уязвимостях, воздействиях и вероятностях может затруднять точную оценку рисков.
2. Сложность квантификации: Определение количественных значений для факторов риска, таких как вероятность возникновения событий и потенциальный ущерб, может быть сложной задачей, особенно в отношении информационных систем.
3. Субъективность: Оценка рисков может зависеть от субъективных мнений и предположений экспертов, что может привести к неправильным или неоднозначным результатам.
4. Устаревание оценки: Оценка риска должна быть регулярно обновляема, поскольку угрозы и уязвимости могут меняться со временем. Однако, недостаток ресурсов или непостоянство оценочных процедур могут привести к устареванию оценки риска.
5. Неучет неизвестных рисков: Существуют потенциальные риски, которые еще не были идентифицированы или не были полностью поняты. Это может привести к непредсказуемым последствиям и неполной оценке рисков.
6. Ограниченные ресурсы: Оценка риска требует времени, экспертизы и ресурсов. Ограничения в этих областях могут привести к поверхностной или неполной оценке риска.
7. Недостаток участия заинтересованных сторон: Оценка риска может быть неполной, если не все заинтересованные стороны принимают в ней участие. Разнообразие мнений и взглядов важно для более полного понимания рисков.

Планы обработки риска.

1. Недостаток конкретных мер: Иногда может быть сложно определить конкретные меры для снижения рисков или не хватает информации об эффективности определенных мер.
2. Неправильная расстановка приоритетов: Некорректное определение и установление приоритетов в обработке рисков может привести к неэффективному использованию ресурсов и недостаточной защите от наиболее значимых угроз.
3. Ошибки при выборе контрмер: Неправильный выбор контрмер или их неправильная реализация может привести к недостаточной защите или созданию новых уязвимостей.
4. Ограниченные ресурсы: Ограничения в финансовых, человеческих и технических ресурсах могут ограничить возможности организации в реализации необходимых мер по обработке рисков.
5. Сложность изменений: Внедрение новых мер по обработке рисков может требовать изменений в бизнес-процессах, системах и культуре организации, что может быть сложно и сопряжено с сопротивлением со стороны персонала.
6. Недостаток экспертизы: Отсутствие квалифицированных специалистов в области информационной безопасности может затруднять выбор и реализацию эффективных мер по обработке рисков.
7. Сложность координации: Обработка рисков может требовать сотрудничества и координации различных отделов и заинтересованных сторон в организации, что может быть вызовом.

Принятие рисков.

1. Неправильная оценка рисков: Недостаточная или неправильная оценка рисков может привести к принятию неподходящих решений. Это может быть вызвано недостаточностью данных, субъективностью оценки или ошибками в оценочных методиках.
2. Неправильное понимание последствий: Неполное или неправильное понимание потенциальных последствий и воздействий рисков может привести к недооценке их серьезности или пренебрежению.
3. Недостаточное участие заинтересованных сторон: Если не все заинтересованные стороны принимают участие в принятии рисков, это может привести к упущению значимых мнений и информации, а также создать недоверие и сопротивление.
4. Несоответствие политикам и стандартам: Принятие рисков, которые не соответ-

ствуют установленным политикам и стандартам информационной безопасности, может нарушать правила и регуляторные требования, а также повышать уровень риска для организации.

5. Недостаток информации: Недостаток достоверной информации о рисках и соответствующих мероприятиях может затруднить принятие обоснованных решений.

6. Влияние эмоций и субъективности: Принятие рисков может подвергаться влиянию эмоций, предубеждений и субъективных оценок, что может исказить рациональное принятие решений.

7. Недостаточная готовность к управлению последствиями: Неправильное или недостаточное планирование и подготовка к управлению последствиями рисков может привести к нежелательным и неожиданным последствиям.

Реализация плана.

1. Недостаток ресурсов: Ограниченность финансовых, человеческих или технических ресурсов может затруднить успешную реализацию мер по обработке рисков.

2. Неправильное планирование: Недостаточное или неправильное планирование реализации мер может привести к нереализуемым или неэффективным действиям по обработке рисков.

3. Недостаточная координация: Отсутствие эффективной координации между различными заинтересованными сторонами, отделами или командами может затруднить согласованное выполнение плана обработки рисков.

4. Сложность внедрения: Реализация некоторых мер по обработке рисков может быть сложной из-за изменений в процессах, технологиях или культуре организации.

5. Изменение контекста: Возможные изменения в контексте организации, включая технологические изменения или изменения в целях и приоритетах, могут потребовать пересмотра и адаптации плана обработки рисков.

6. Отсутствие мониторинга и реагирования: Недостаточное или отсутствие системы мониторинга, анализа и реагирования на изменения в рисках может привести к недооценке или игнорированию новых или возросших угроз и уязвимостей.

7. Недостаток участия и осведомленности персонала: Недостаточная осведомленность и участие персонала в реализации мер по обработке рисков может снизить эффективность этих мер и повысить риск нарушений безопасности.

Мониторинг и переоценка.

1. Неполная или неправильная информация: Недостаток достоверной и актуальной информации о новых угрозах, уязвимостях и воздействиях может привести к неправильной оценке рисков.

2. Неправильная методология: Использование неправильных или недостаточно эффективных методологий для мониторинга и переоценки рисков может привести к искаженным или неполным результатам.

3. Ограниченные ресурсы: Недостаток времени, бюджета или экспертов может затруднить регулярный и полноценный мониторинг и переоценку рисков.

4. Сложность квантификации: Определение количественных значений для рисков и их изменений может быть сложной задачей, особенно при оценке информационных систем.

5. Недостаток автоматизации: Отсутствие автоматизированных инструментов и систем для мониторинга и переоценки рисков может затруднить и замедлить процесс их выполнения.

6. Недостаточная осведомленность и участие заинтересованных сторон: Неполное вовлечение заинтересованных сторон и персонала в процессы мониторинга и переоценки рисков может привести к неполным или неактуальным данным.

7. Недостаточная реакция на изменения: Неэффективная или отсутствующая система реагирования на обнаруженные изменения в рисках может привести к непредсказуемым последствиям и ухудшению общей безопасности.

Поддержка и совершенствование.

1. Недостаток ресурсов: Ограниченность финансовых, человеческих или технических ресурсов может затруднить эффективную поддержку и совершенствование процесса управления рисками.

2. Недостаточное понимание: Недостаточное понимание принципов и методик управления рисками информационной безопасности может привести к неправильной поддержке и неверным улучшениям процесса.

3. Недостаточное вовлечение и понимание высшего руководства: Отсутствие активной поддержки и понимания со стороны высшего руководства может затруднить привлечение необходимых ресурсов и реализацию улучшений в процессе управления рисками.

4. Недостаточная коммуникация и сотрудничество: Недостаточный обмен информацией, коммуникация и сотрудничество между различными заинтересованными сторонами и отделами организации может привести к несогласованным действиям и неполным улучшениям.

5. Отсутствие системы измерения и оценки: Отсутствие системы для измерения и оценки эффективности процесса управления рисками может затруднить определение прогресса и улучшений.

6. Сложность изменений: Реализация улучшений в процессе управления рисками может столкнуться с сопротивлением со стороны персонала и требовать изменений в бизнес-процессах и структуре организации.

Вывод. Данная работа носит обзорный характер и затрагивает наиболее значительные моменты управления рисками в информационной безопасности. На основании результатов исследования был составлен перечень основных проблем, возникающих при управлении рисками информационной безопасности. Он позволяет определить, какие сложности могут возникнуть на каждом из этапов управления и составить план мероприятий по их устранению или обходу.

Информация, представленная в статье может быть использована как базис для последующих исследований по направлению управления рисками информационной безопасности, а также формирования рекомендаций для более эффективной реализации риск-ориентированного подхода.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2021. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология. - Москва: Стандартинформ, 2021. – 24 с.
2. Анникин И.В. Методы и алгоритмы количественной оценки и управления рисками безопасности в корпоративных информационных сетях на основе нечеткой логики. // Министерство образования и науки РФ. Федеральное ГБОУ высшего образования “Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ” - 2017. - С.6-46.
3. Jim Boehm, Nick Curcio, Peter Merrath, Lucy Shenton, and Tobias Stähle. The risk-based approach to cybersecurity/ Официальный сайт. McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/the-risk-based-approach-to-cybersecurity#/> (дата обращения: 15.04.2023).
4. Петренко С. А., Симонов С. В. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. - Москва: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2004. - 384 с.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности. / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084141> (дата обращения: 17.04.2023).
6. Cyber Risk Resources for Practitioners./Institute of Risk Management. - URL: <https://www.theirm.org/media/7237/irm-cyber-risk-resources-for-practitioners.pdf> (дата обращения: 17.04.2023).
7. NIST Special Publication 800-39. Managing Information Security Risk: Organization, Mission, and Information System View. / National Institute of Standards and Technology. - URL: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-39/final> (дата обращения: 17.04.2023).
8. Анализ международных документов по управлению рисками информационной безопасности. Часть 1. / Эксперт Руслан Рахметов // ХАБР. - URL: <https://habr.com/ru/articles/495236/>

9. Анализ международных документов по управлению рисками информационной безопасности. Часть 2. / Эксперт Руслан Рахметов // ХАБР. - URL: <https://habr.com/ru/articles/495986/>
10. ГОСТ Р 51897-2011/Руководство ИСО 73:2009. Менеджмент риска. Термины и определения. / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200088035> (дата обращения 20.04.2023).
11. Управление Рисками. / Кирилл Воротинцев. // Официальный сайт. Код Информационной Безопасности.- URL: <https://codeib.ru/slides/slide/upravlenie-riskami-659> (дата обращения 20.04.2023).

References:

1. GOST R ISO/IEC 27000-2021. Information technology. Methods and means of ensuring security. Information security management systems. General overview and terminology. Moscow: Standartinform, 2021; 24. (In Russ)
2. Anikin I.V. Methods and algorithms for quantitative assessment and management of security risks in corporate information networks based on fuzzy logic. *Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Federal State Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI"* 2017; 6-46. (In Russ)
3. Jim Boehm, Nick Curcio, Peter Merrath, Lucy Shenton, and Tobias Stähle. The risk-based approach to cybersecurity / Official website. McKinsey & Company. - URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/the-risk-based-approach-to-cybersecurity#/> (date of application: 15.04.2023).
4. Petrenko S. A., Simonov S. V. Information risk management. Economically justified security. - Moscow: IT Company; DMK Press, 2004; 384. (In Russ)
5. GOST R ISO/IEC 27005-2010. Information technology. Methods and means of ensuring security. Information security risk management. / Electronic Fund of legal and regulatory documents. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084141> (date of application: 17.04.2023). (In Russ)
6. Cyber Risk Resources for Practitioners. Institute of Risk Management. URL: <https://www.theirm.org/media/7237/irm-cyber-risk-resources-for-practitioners.pdf> (date of application: 17.04.2023).
7. NIST Special Publication 800-39. Managing Information Security Risk: Organization, Mission, and Information System View /National Institute of Standards and Technology. - URL: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-39/final> (date of application: 17.04.2023).
8. Analysis of international documents on information security risk management. Part 1. / Expert Ruslan Rakhmetov.HABR. URL: <https://habr.com/ru/articles/495236/> (date of application: 18.04.2023). (In Russ)
9. Analysis of international documents on information security risk management. Part 2. / Expert Ruslan Rakhmetov. HABR. URL: <https://habr.com/ru/articles/495986/> (date of application: 18.04.2023). (In Russ)
10. GOST R 51897-2011/ISO 73:2009 Manual. Risk management. Terms and definitions. Electronic Fund of legal and regulatory documents. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200088035> (date of application: 20.04.2023). (In Russ)
11. Risk Management. Kirill Vorotyntsev.Official website. Information Security Code. URL: <https://codeib.ru/slides/slide/upravlenie-riskami-659> (date of application: 20.04.2023). (In Russ)

Сведения об авторах:

Артамонов Георгий Михайлович, студент, amenemuruart@gmail.com

Маслов Владимир Владимирович, студент, vladimirmaslov76@gmail.com

Резниченко Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент; rsa_5@bk.ru,

ORCID.0000-0002-539-0457

Information about authors:

Georgy M. Artamonov, Student, amenemuruart@gmail.com

Vladimir V.Maslov, Student, vladimirmaslov76@gmail.com

Sergey A. Reznichenko, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof.; rsa_5@bk.ru, ORCID.0000-0002-539-0457

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 22.05.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reved 10.06.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 10.06.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 37.031.2

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-35-40

Оригинальная статья /Original Paper

Прототип системы формирования индивидуальной траектории обучения
Т.Г. Асланов¹, М.Ш. Абидова², М.М. Максудов³, Х.Ю. Тагиров⁴, М.М. Магомедов⁵

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия,

^{2,3}Общество с ограниченной ответственностью «За образование»,

^{2,3}367000, ул. Г. Гаджиева, д. 1В, корп. 2, Россия,

^{4,5}АНОО «Дом знаний»,

^{4,5}367030, г. Махачкала, ул. Ирчи Казака, д. 39, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является выявление зависимости качества обучения в общеобразовательной организации от образовательной среды. **Метод.** Для определения влияния различных факторов на качество обучения была обучена искусственная нейронная сеть, для которой был предварительно проведен сбор статистических данных по участникам образовательного процесса в АНОО «Дом знаний». **Результат.** Реализована искусственная нейронная сеть, позволяющая выявлять зависимость отдельных элементов образовательной среды на качество обучения в общеобразовательной организации. Обучение искусственной нейронной сети показало незначительную погрешность в оценивании по десятибалльной шкале, которая при переводе в пятибалльную систему составила около 0,5 балла. **Вывод.** Предложенный метод позволяет качественно и количественно оценить успеваемость обучающихся при помощи искусственной нейронной сети по данным, соотносящимся с обучающимся в образовательной организации.

Ключевые слова: нейронная сеть, восстановление информации, образование, траектория, элементы, анкета, оценивание, диапазон, обучение, выборка

Благодарности: Исследование выполнено при грантовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Для цитирования: Т.Г. Асланов, М.Ш. Абидова, М.М. Максудов, Х.Ю. Тагиров, М.М. Магомедов. Прототип системы формирования индивидуальной траектории обучения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):35-40. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-35-40

The prototype of the system for the formation of an individual learning path
T.G. Aslanov¹, M.Sh. Abidova², M.M. Maksudov³, H.Yu. Tagirov⁴, M.M. Magomedov⁵

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

^{2,3}Limited Liability Company "For Education",

^{2,3} 1B, building. 2, G. Gadzhieva St., Makhachkala 367000, Russia,

^{4,5} ANOOO "House of Knowledge",

^{4,5} 39 Irchi Kazaka St., Makhachkala 367030, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to identify the dependence of the quality of education in a general educational organization on the educational environment. **Method.** To determine the influence of various factors on the quality of education, an artificial neural network was trained, for which statistical data were previously collected on the participants in the educational process in the ANEO "Knowledge House". **Result.** An artificial neural network has been implemented, which makes it possible to identify the dependence of individual elements of the educational environment on the quality of education in a general educational organization. The training of the artificial neural network showed an insignificant error in the assessment on a ten-point scale,

which, when converted to a five-point system, was about 0.5 points. **Conclusion.** The proposed method makes it possible to qualitatively and quantitatively assess the progress of students using an artificial neural network according to data that correlates with the progress of a student in an educational organization.

Keywords: neural network, information recovery, education, trajectory, elements, questionnaire, estimation, range, learning, sample

Acknowledgments: The research was carried out with the grant support of the Foundation for Assistance to the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere.

For citation: T.G. Aslanov, M.Sh. Abidova, M.M. Maksudov, H.Yu. Tagirov, M.M. Magomedov. The prototype of the system for the formation of an individual learning path. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):35-40. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-35-40

Введение. В соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов, образовательная организация должна предоставить возможность обучающемуся формировать индивидуальную образовательную траекторию. При этом в случае перехода обучающегося на конкретную образовательную траекторию, образовательная организация не может гарантировать успешное освоение обучающимся всей программы. В соответствии с паспортом стратегии «Цифровая трансформация образования» Министерства просвещения Российской Федерации к 2030 году 80% обучающимся должна быть предоставлена возможность в формировании индивидуальной образовательной траектории. В Российской Федерации на 2020/21 учебный год функционировало 40,3 тысяч общеобразовательных организаций. С учетом отсутствия действующих инструментов, по успешному усвоению обучающимися образовательной траектории, то до 2030 года общий объем рынка неохваченных потребителей предлагаемого решения оценивается в 32,5 тысячи организаций.

В современных общеобразовательных организациях обязанность перевода на индивидуальную траекторию обучающегося накладывает определенные риски, связанные с возможным ухудшением успеваемости обучающегося. При этом, нет никаких рекомендаций для обучающихся, либо для их законных представителей, от образовательной организации в случае возникновения такой ситуации. В таких условиях наблюдается необходимость в инструментах, обеспечивающих возможность определять необходимый минимум, выполнение которого позволит успешно завершить выбранную образовательную траекторию [1-11]. Наличие системы планируемых результатов обучения, представленных в Федеральных государственных образовательных стандартах, позволяет создать логически выстроенную образовательную среду для обучающегося с возможностью индивидуализации его обучения. Индивидуализация возможна путем прогнозирования результатов обучения и определения пути развития обучающегося.

Постановка задачи. В настоящей статье разработан метод прогнозирования успеваемости обучающегося в зависимости от параметров образовательной среды. Для этих целей была обучена искусственная нейронная сеть на предварительно собранных в онлайн-школе «Дом знаний», данных от участников образовательного процесса.

Методы исследования. В качестве объекта исследования была выбрана общеобразовательная организация, использующая исключительно дистанционные образовательные технологии АНОО «Дом знаний». Выбор был обусловлен возможностью исследовать различные аспекты образования, в том числе использование дистанционных образовательных технологий, а также плотной работой тьюторов и психологов с обучающимися. Также определенную вариативность создаваемой выборке придает тот факт, что респонденты проживают как на территории Российской Федерации, так и за ее пределами.

Для подготовки обучающей выборки в онлайн-школе «Дом знаний» было организовано анкетирование участников образовательных отношений, среди которых: заведующие

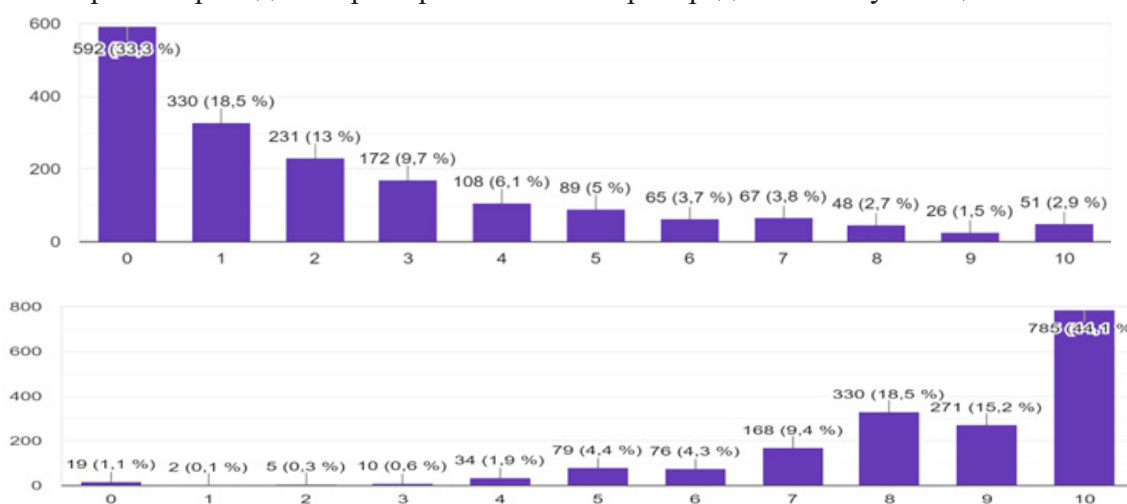
предметными кафедрами, педагоги, тьюторы, психологи, ученики, технические работники, администрация образовательной организации. Для обучающей выборки собирались следующие укрупненные показатели школы: нормативно-правовые акты, образовательная программа, техническое оснащение, географическая среда, внутренний мониторинг и открытость образовательной организации.

Общий объем оцениваемых элементов составил 329 штук, с которыми можно ознакомиться по ссылке <https://docs.domznaniy.school/1.jpg>. По полученным анкетам были разработаны критерии и диапазоны оценивания для каждого элемента из перечня. Для обучения искусственной нейронной сети собранные данные были нормированы и приведены к диапазону от 0 до 10. Так 20 изучаемых дисциплин в образовательной организации были закодированы цифрами от 0 до 10 с шагом 0,5. при этом близкие к нулю значения получили предметы, изучаемые в ранних классах, а близкие к 10 изучаемые в старших классах.

Оцениваемые элементы «Оцените степень влияния на учебный процесс приведенных факторов на ученика [Нервозность]», «... [Психологические расстройства]», «... [Болезни глаза]», «... [Болезни уха]», «... [Болезни дыхания]», «... [Болезни опорно-двигательного аппарата]», «... [Физические травмы]», «... [Речевые нарушения]», «... [ОРВИ]» имели 4 критерия оценивания: «Не влияет (отсутствует)», «Влияет слабо», «Влияет средне», «Влияет сильно». Перевод указанных критериев был осуществлен с шагом от 0 до 10 с шагом 3,33. Оцениваемые элементы «Число учеников в классе», «Возраст ученика», «Количество страниц текстовой информации (страниц А4) по дисциплине в год», «Общее количество домашних заданий по предмету» и т.д., осуществлялся путем деления критериев оценивания на максимальное значение критерия, помноженное на 10.

Пол, а также формат занятий/работы участников образовательных отношений был переведен в бинарную систему. Зарботная плата педагогов была нормирована относительно средней заработной платы педагогов общего образования в Российской Федерации. Место жительства было разделено на два показателя – разность широты и долготы относительно образовательной организации, нормированных до максимальной величины 10. Процент осадков вычислялся как отношение числа осадков к максимально зафиксированному числу осадков за весь период наблюдения.

На рис. 1 приведены примеры нескольких распределений обучающихся по



элементам оценивания.

Рис. 1. Распределение результатов оценивания педагогическими работниками обучающихся онлайн-школы «Дом знаний»

Fig. 1. Distribution of the results of assessment by teachers of students of the online school "House of Knowledge"

На рис. 1а – количество пропущенных занятий обучающимся, 1б – владение обучающимся русским языком.

Для анализа данных была разработана многослойная нейронная сеть, состоящая из 313 входов и одного выхода, с 10 скрытыми слоями нейронов. Архитектура нейронной сети, примененная в исследовании, приведена на рис. 2. В качестве алгоритма обучения был выбран метод сопряженных градиентов. Для обучения нейронной сети в качестве обучающей выборки было выделено 70 процентов от всех данных, в качестве тестовой выборки – 15 процентов и валидационной выборки – 15 процентов.

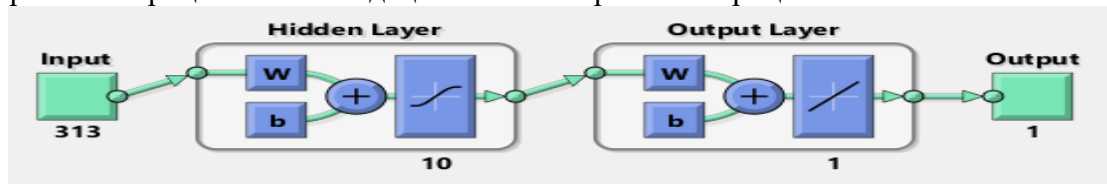


Рис. 2. Архитектура нейронной сети

Fig. 2. Neural network architecture

Нейронная сеть была обучена прогнозировать результаты обучения по каждой отдельной дисциплине, для чего отдельно были обучены 20 нейронных сетей.

На рис. 3 приведен результат обучения нейронной сети, прогнозировать результаты обучения по трем дисциплинам в десятибалльной системе.

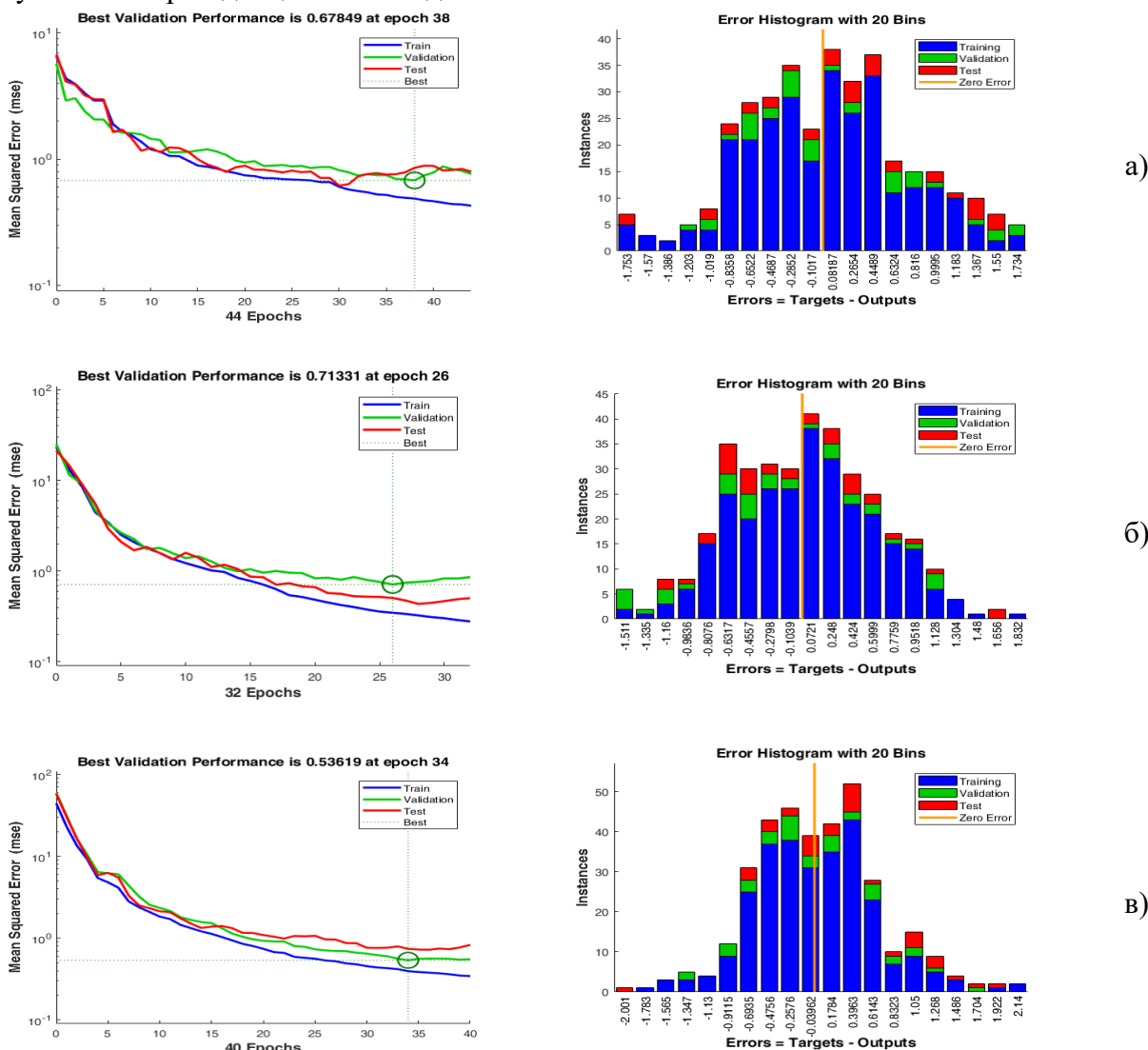


Рис. 3. Результаты обучения нейронной сети прогнозировать

Fig. 3. Predict neural network training results

На рис. 3а приведены результаты обучения искусственной нейронной сети по английскому языку, 3б – по биологии, 3в – по геометрии. На рис. 3 справа приведено обучение искусственной нейронной сети по эпохам, а слева гистограмма ошибок определения

результатов оценивания обучающихся. Синей кривой, обозначены результаты обучения на обучающей выборке, красной кривой – тестовой выборке, зеленой кривой – валидационной выборке. Гипотеза о влиянии выбранных параметров на результаты обучения подтвердилась.

По результатам обучения нейронной сети погрешность в оценивании по десятибалльной шкале не превышала 1 балл. При переводе в пятибалльную систему погрешность составила около 0,5 балла.

Обсуждение результатов. Реализована искусственная нейронная сеть позволяющая выявлять зависимость отдельных параметров образовательной среды на качество обучения в общеобразовательной организации. Продолжение сбора данных в онлайн-школе «Дом знаний» позволит улучшить результаты обучения, за счет нивелирования флуктуаций, возникающих при оценивании участниками образовательных отношений.

Обучение нейронной сети показало незначительную погрешность в оценивании по десятибалльной шкале, которая при переводе в пятибалльную систему составил около 0,5 балла. Продолжение исследования должно быть направлено на выявление из 313 использованных элементов обучения, незначимых в результате обучения искусственной нейронной сети, для дальнейшего их исключения из обучающей выборки.

Выводы. Проведенное обучение искусственной нейронной сети показало достаточность выбранных элементов обучения для прогнозирования результатов обучающихся по каждому предмету. Указанный факт позволяет обучать нейронную сеть отслеживать динамику успеваемости обучающихся, для чего требуется дальнейший сбор статистической информации по участникам образовательных отношений.

При изменении значений элементов образовательной среды для конкретного обучающегося в приведенной в работе искусственной нейронной сети, позволяет выявить зависимость этих изменений на количественные результаты обучения, что позволяет эффективно планировать нужные изменения для достижения образовательного результата.

Библиографический список:

1. Алхастова С. Р. Гуманистическая направленность педагогического процесса как фактор успешности решения воспитательных задач / С. Р. Алхастова, Ц. А. Калманова // Шаг в науку: Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Грозный, 22 октября 2019 года. – Грозный: Общество с ограниченной ответственностью «АЛЕФ», 2019. – С. 410-414.
2. Пылов, П. А. Data cleaning: пять шагов к чистым данным / П. А. Пылов, А. В. Протодяконов // Инновации. Наука. Образование. – 2020. – № 23. – С. 204-207.
3. Ямалтдинова, А. А. Глубокое обучение с использованием байесовской оптимизации в MATLAB / А. А. Ямалтдинова // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодежной научной конференции. В 6-ти томах, Казань, 07–08 ноября 2019 года. Том IV. – Казань: ИП Сагиева А.Р., 2019. – С. 520-526.
4. Кондратьева, Е. В. Анализ эффективности прогнозирования успеваемости на основе fuzzy logic / Е. В. Кондратьева, О. Ю. Кондратьева // . – 2018. – № 3. – С. 79-82.
5. Горбунова В. В. Психофизиологическая адаптация первоклассников и прогнозирование их успеваемости в начальной школе / В. В. Горбунова, М. А. Булычева, О. В. Сивкова // Два сердца как одно, Пермь, 26 ноября 2015 года / Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера. – Пермь: Книжный формат, 2015. – С. 20-27
6. Золотарюк А. В. Интеллектуальное прогнозирование успеваемости студентов / А. В. Золотарюк // Современная математика и концепции инновационного математического образования. – 2019.
7. Богданов Е. П. Прогнозирование успеваемости абитуриентов с использованием нейронных сетей / Е. П. Богданов, А. В. Суханов // Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях : материалы международной научно-практической конференции: в 5 частях, Волгоград, 26–28 января 2016 года. Том 5. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2016.
8. Апатова Н. В. Прогнозирование успеваемости студентов на основе нечеткой логики / Н. В. Апатова, А. И. Гапонов, А. Н. Майорова // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 4. – С. 7-11.
9. P. Prasertisirikul, S. Laohakiat, R. Trakunphuthirak and S. Sukaphat, “A Predictive Model for Student Academic Performance in Online Learning System,” 2022 International Conference on Digital Government Technology and Innovation (DGTi-CON), Bangkok, Thailand, 2022, pp. 76-79, doi: 10.1109/DGTi-CON53875.2022.9849205.

10. H. Kumar, D. Ather and R. Astya, "Predicting the Improvement in Academic Performance of the Student," 2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), MORADABAD, India, 2021, pp. 479-483, doi: 10.1109/SMART52563.2021.9676225.
11. T.O. Olaleye and O. R. Vincent, "A Predictive Model for Students' Performance and Risk Level Indicators Using Machine Learning," 2020 International Conference in Mathematics, Computer Engineering and Computer Science (ICMCECS), Ayobo, Nigeria, 2020, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICMCECS47690.2020.240897.

References:

1. Alkhastova S. R. Humanistic orientation of the pedagogical process as a factor in the success of solving educational problems / S. R. Alkhastova, Ts. A. Kalmanova // Step into science: Collection of materials of the II International scientific and practical conference, Grozny, October 22, 2019 . Grozny: Limited Liability Company "ALEF", 2019; 410-414. (In Russ)
2. Pylov, P. A. Data cleaning: five steps to clean data / P. A. Pylov, A. V. Protodyakonov. *Innovations. The science. Education.* 2020; 23: 204-207 (In Russ)
3. Yamaltdinova A. A. Deep learning using Bayesian optimization in MATLAB. XXIV Tupolev Readings (School of Young Scientists): Proceedings of the International Youth Scientific Conference. In 6 volumes, Kazan, November 07–08, 2019. Volume IV. - Kazan: IP Sagieva A.R., 2019; 520-526. .(In Russ)
4. Kondrat'eva, E. V., Kondrat'eva O. Yu. Analysis of the efficiency of predicting academic performance based on fuzzy logic. 2018; 3: 79-82. (In Russ)
5. Gorbunova V.V., Bulychева M.A., Sivkova O.V. Psychophysiological adaptation of first-graders and forecasting of their performance in elementary school. Two hearts as one, Perm, November 26, 2015 / *Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner. Perm: Book format*, 2015; 20-27. (In Russ)
6. Zolotaryuk A. V. Intelligent forecasting of students' progress. *Modern mathematics and concepts of innovative mathematical education.* 2019. (In Russ)
7. Bogdanov E. P. Forecasting the progress of applicants using neural networks / E. P. Bogdanov, A. V. Sukhanov. Strategic guidelines for the innovative development of the agro-industrial complex in modern economic conditions: materials of the international scientific and practical conference: in 5 parts , Volgograd, January 26–28, 2016; 5. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2016. (In Russ)
8. Apatova N.V., Gaponov A.I., Mayorova A.N. Forecasting student performance based on fuzzy logic // *Modern science-intensive technologies.* 2017; 4: 7-11 (In Russ).
9. P. Prasertisirikul, S. Laohakiat, R. Trakunphutthirak and S. Sukaphat, "A Predictive Model for Student Academic Performance in Online Learning System," 2022 International Conference on Digital Government Technology and Innovation (DGTi-CON), Bangkok, Thailand, 2022; 76-79, doi: 10.1109/DGTi-CON53875.2022.9849205.
10. H. Kumar, D. Ather and R. Astya, "Predicting the Improvement in Academic Performance of the Student," 2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), MORADABAD, India, 2021; 479-483, doi: 10.1109/SMART52563.2021.9676225.
11. T.O. Olaleye and O. R. Vincent, "A Predictive Model for Students' Performance and Risk Level Indicators Using Machine Learning," 2020 International Conference in Mathematics, Computer Engineering and Computer Science (ICMCECS), Ayobo, Nigeria, 2020; 1-7, doi: 10.1109/ICMCECS47690.2020.240897.

Сведения об авторах:

Асланов Тагирбек Гайдарбекович, кандидат технических наук, докторант, доцент, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; tabasik@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5594-3554

Абидова Марьям Шарапудиновна, генеральный директор, abidova.ms@domznaniy.school

Максудов Максуд Магомедович, программист, maksud.maksudov.00@mail.ru

Магомедов Магомед Мухтарович, заведующий кафедрой физико-математических наук, magomedov_mm@bk.ru

Тагиров Халипа Юсупович, генеральный директор, halipa92@yandex.ru

Information about authors:

Tagirbek G. Aslanov, Cand. Sci. (Eng.), Doctoral Cand., Assoc. Prof., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; tabasik@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5594-3554

Maryam Sh. Abidova, General Director, abidova.ms@domznaniy.school

Maksud M. Maksudov, programmer, maksud.maksudov.00@mail.ru

Magomed M. Magomedov, Head of the Department of Physical and Mathematical Sciences, magomedov_mm@bk.ru

Khalipa Yu. Tagirov, General Director, halipa92@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 04.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 26.04.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 26.04.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 658.52011

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-41-47

Оригинальная статья /Original Paper

**Математическое моделирование угловых перемещений базовой машины
двухконсольного дождевального агрегата**

Т.Г. Гасанов, Э.З. Батманов, М.Р. Гусейнов, М.Т. Муталибов

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является раскрытие теоретических и практических аспектов математического моделирования угловых перемещений базовой машины, что позволяет более глубоко понять принципы ее работы и взаимодействие с окружающей средой. **Метод.** При помощи математической модели проанализированы вопросы взаимодействия базовой машины с поверхностью дороги и дождевальной фермой при трех динамических состояниях агрегата в плоскости, перпендикулярной рабочему движению базовой машины, угловые характеристики поворота базовой машины в поперечном направлении при наезде с различными скоростями на препятствие без учета упругодеформирующей способности грунта. **Результат.** Результаты исследования создают возможность оценивать технические параметры угловых перемещений базовой машины на величину воздействий, возмущающих агрегат. **Вывод.** Модель позволяет правильно выбрать основные принципы построения системы автоматического управления дождевальной фермы, и ориентировочно определить главные параметры элементов аппаратуры базовой машины двухконсольного дождевального агрегата.

Ключевые слова: степень свободы, уравнение Лагранжа, математическая модель, подвеска, расчетная схема, уравнение моментов, консоль, автоматика управления, базовая машина, угловое движение

Для цитирования: Т.Г. Гасанов, Э.З. Батманов, М.Р. Гусейнов, М.Т. Муталибов. Математическое моделирование угловых перемещений базовой машины двухконсольного дождевального агрегата. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):41-47. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-41-47

Mathematical modeling of angular displacements of the base machine of a two-console sprinkler unit

T.G. Gasanov, E.Z. Batmanov, M.R. Guseynov, M.T. Mutalibov

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to reveal the theoretical and practical aspects of mathematical modeling of the angular displacements of the base machine, which allows a deeper understanding of the principles of its operation and interaction with the environment. **Method.** With the help of a mathematical model, the issues of the interaction of the base machine with the road surface and the sprinkler farm were analyzed in three dynamic states of the unit in a plane perpendicular to the working movement of the base machine, the angular characteristics of the base machine turning in the transverse direction when hitting an obstacle at different speeds without taking into account the elastic-deforming ability of the soil. **Result.** The results of the study make it possible to evaluate the technical parameters of the angular displacements of the base machine on the magnitude of the impacts that disturb the unit. **Conclusion.** Allows you to correctly choose the basic principles of building an automatic control system for a sprinkler farm

and roughly determine the main parameters of the equipment elements of the base machine of a two-console sprinkler unit.

Keywords: degree of freedom, Lagrange equation, mathematical model, suspension, calculation scheme, equation of moments, console, automatic control, basic machine, angular motion

For citation: T.G. Gasanov, E.Z. Batmanov, M.R. Huseynov, M.T. Mutalibov. Mathematical modeling of angular displacements of the base machine of a two-console sprinkling unit. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):41-47. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-41-47

Введение. В общем случае движение базовой машины – трактора имеет шесть степеней свободы. Составленные с помощью уравнений Лагранжа второго рода, уравнения движения позволяют представить движение трактора как отдельные колебания в продольном и поперечном направлениях [1-2,4,5,6,7].

Уравнение движения трактора с навесным оборудованием в поперечном направлении имеет сложную структуру, а наличие значительного количества неизвестных затрудняет практическое определение передаточной функции базовой машины (трактора).

Кроме того, дождевальная агрегат имеет отличительные особенности конструкции и эксплуатации, которые не могут быть учтены уравнениями движения при обычных условиях эксплуатации агрегатов в сельском хозяйстве. Эти особенности эксплуатации дождевального агрегата и динамики отдельных его элементов (фермы и трактора) заключаются в сравнительно медленном ($0,1-0,2$ м/с) перемещении трактора вдоль оросителя с возможными максимальными амплитудами углового поперечного движения, равными $87,5 \cdot 10^3 - 105,0 \cdot 10^3$ рад ($5-6^\circ$) для трактора и $35,0 \cdot 10^3 - 44,0 \cdot 10^3$ рад ($2,0 - 2,5^\circ$) для фермы [6,10,12,13].

Постановка задачи. Ходовая часть трактора перегружена почти вдвое, центр масс агрегата расположен значительно выше в (1,5 - 2 раза), чем у других машин, агрегатируемых с гусеничным трактором, а момент инерции фермы заполненной водой, примерно в 10-20 раз больше момента инерции трактора.

В зависимости от положения рукоятки гидравлического распределителя при движении по неровностям могут возникнуть три динамических состояния агрегата: плавающее, когда на трактор воздействует только вес фермы; ферма и трактор составляют единое целое при неработающих гидроцилиндрах; относительное перемещение фермы и трактора в момент включения гидроцилиндров управления. Трактор является основным источником возмущенного углового движения фермы.

Методы исследования. Для получения упрощенной математической модели поперечного углового движения трактора, отображающей влияние главных действующих факторов (скорости появления препятствий под гусеницей $Z_{оп}$ и жесткости подвески трактора) составим уравнение движения трактора при наезде одной гусеницы на препятствие. Демпфирующая способность подвески и грунта не учитывается.

В начальный момент трактор занимает горизонтальное положение 1-1 (рис. 1). Оси Z и Y инерциальной системы координат проходят через центр масс трактора и по линии контакта гусениц трактора с горизонтальной поверхностью дороги.

Реакция опор $F_A = F_B = \frac{G}{2}$. Если под гусеницей А трактора появилось препятствие, при скорости его возникновения $\dot{Z}_{оп}$ произойдет поворот трактора относительно опоры Б на угол $\varphi_{оп}$ (положение II-II) со скоростью $\dot{\varphi}_{оп} = \frac{\dot{Z}_{оп}}{l}$, когда жесткость ходовой части трактора равна бесконечности (l – колея трактора).

При жесткости ходовой части, равной C , возникает дополнительный поворот трактора относительно точки O на угол $\varphi_{пр}$ (положение III – III) из-за перераспределения усилий F_A и F_B между соответствующими опорами.

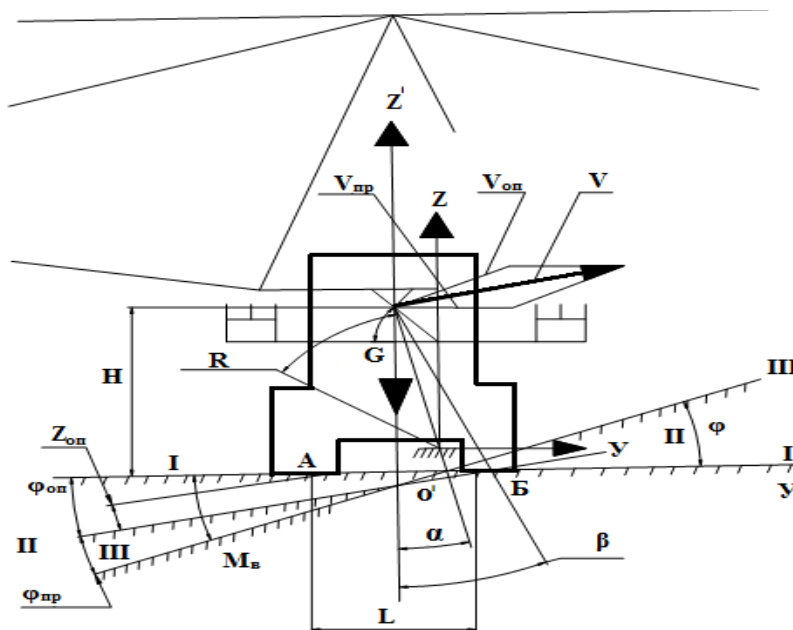


Fig. 1. Determining the coordinates of the actual turn of the tractor

Скорость поворота трактора под действием пружин подвески равна

$$\dot{\varphi}_{\pi\pi} = \frac{\Delta \dot{F}_{\text{оп}}}{c/l} = \frac{2GH\dot{Z}}{c/l^3}_{\text{оп}}$$

где $\Delta \dot{F}_{\text{оп}} = \frac{2GH\dot{\phi}_{\text{оп}}}{l}$ - скорость перераспределения составляющих сил веса агрега-

та; G и H – вес агрегата и вертикальная координата центра масс его; относительное смещение центра масс фермы и трактора равна нулю, т.к. центр подвеса принят расположенным в центре масс ее.

В свою очередь поворот трактора на угол $\varphi_{\text{пр}}$ вызовет дополнительное перераспределение усилий между опорами $\Delta \dot{F}_{\text{оп}}$.

Это усилие можно рассматривать как величину второго порядка малости и принять $\Delta \dot{F}_{\text{оп}} \approx 0$, т.к. в реально существующих условиях эксплуатации агрегата $\varphi_{\text{пр}} < \varphi_{\text{оп}}$.

Суммарная скорость угла поворота трактора составит

$$\dot{\varphi} = \left(1 + \frac{2GH}{cl^2}\right) \cdot \frac{\dot{Z}_{\text{оп}}}{l}$$

При появлении под гусеницей трактора препятствия трактор совершает сложное движение, при котором происходит поворот его на угол φ и перемещение центра масс агрегата.

Угловые скорости $\dot{\phi}_{оп}$ и $\dot{\phi}_{пр}$ приводят к линейной скорости перемещения центра масс агрегата, что позволяет определить координаты точки действительного поворота трактора.

$$\overline{V} = \overline{V}_{OP} + \overline{V}_{IP}$$

Радиус вращения определится из выражения

$$R = \frac{V}{\dot{\phi}} = \frac{\sqrt{V_{\text{оп}}^2 + V_{\text{пп}}^2 - 2V_{\text{оп}} \cdot V_{\text{пп}} \cos(\pi - \beta)}}{\dot{\phi}}$$

где $V_{оп} = \sqrt{H^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} \dot{\phi}_{оп}$ и $V_{пр} = \sqrt{H + \left(\frac{z_{оп}}{2}\right)} \dot{\phi}_{пр}$ являются составляющими \bar{V}

$\beta = \arctg \frac{l}{2H}$ – угол между осью симметрии и линией, проходящей через центр масс и середину опорной поверхности гусеницы.

Угол α наклона к оси симметрии трактора можно получить из решения треугольника для плана скоростей линейного перемещения центра масс агрегата.

Так как $\bar{V}_{оп}$ и $\bar{V}_{пр}$ изменяются пропорционально $\dot{Z}_{оп}$ в процессе поворота трактора угол α остается неизменным, радиус поворота трактора после соответствующих упрощений равен $R = K_H \cdot H$

$K_H = \sqrt{1 - \frac{4ab(1 - \cos\beta)}{(1 + 2ab)^2}}$ – безразмерный коэффициент, зависящий только от техни-

ческой характеристики трактора $a = \frac{H}{l}$; $b = \frac{G}{cl}$.

В новой инерциальной системе координат (рис. 2) при расположении нулевой точки в центре действительного вращения трактора и оси Z направленной вертикально, координаты центра масс агрегата в зависимости от φ равны

$$Z = R \cos \alpha \cdot \cos \varphi \approx R \cos \alpha$$

$$Y = -R \sin \alpha \cdot \sin \varphi \approx R \sin \varphi$$

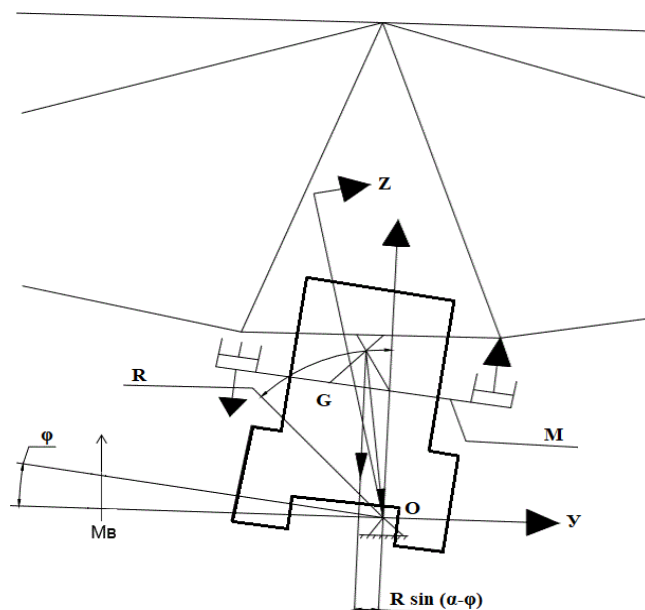


Рис. 2. Расчетная схема для определения характеристик поворота трактора и фермы

Fig. 2. Calculation scheme for determining the characteristics of the rotation of the tractor and farm

Таким образом, при наезде на препятствие трактор поворачивается под действием возмущающего момента вокруг фиксированной точки, определяемой характеристикой трактора, и в любой момент движения должно обеспечиваться равновесие активных (возмущающих) и реактивных моментов относительно этой точки поворота

$$M_B = \left(J_{OT} + \frac{G_T}{g} \cdot R_T^2 \right) \ddot{\phi}_B - GR \cdot \cos \alpha \cdot \varphi_B + GR \cdot \sin \alpha$$

$$\varphi_B = \frac{2}{l + 2R \sin \alpha} Z_{оп}$$

где $J_{от} + \frac{G_T}{g} \cdot R_T^2 = J_T$ - момент инерции трактора относительно начала координат;

$R_T^2 = H_T^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2$ - радиус вращения центра масс трактора, за положительное направление

поворота трактора принято вращение его по часовой стрелке.

Коэффициент вязкого трения гидросистемы равен нулю.

Для анализа уравнения возмущающих моментов целесообразно записать в новых переменных $Z_{оп}$ и $\ddot{Z}_{оп}$

$$M_{вт} = K_{\varphi} (J_T \ddot{Z}_{оп} - GR \cos \alpha \cdot Z_{оп}) + GR \cdot \sin \alpha$$

$$K_{\varphi} = \frac{2}{l + 2R \sin \alpha}$$

Это уравнение соответствует динамическому состоянию агрегата, при котором на трактор действует только вес фермы. В дождевальных агрегатах типа ДДА-100МА коэффициенты при $Z_{оп}$ и $\ddot{Z}_{оп}$ равны $J_T \approx GR \cos \alpha \approx 20000 - 1800$ [2, 8].

При запертом положении гидроцилиндров с учетом известного соотношения моментов инерции N трактора $N = \frac{J_{\varphi}}{J_T} = 17$ возмущающий момент равен

$$M_{ва} = K_{\varphi} [(N+1) \cdot J_T \ddot{Z}_{оп} - GR \cos \alpha \cdot Z_{оп}] + GR \cdot \sin \alpha$$

Принимая [1]

$$Z_{оп} = Z_o \sin \frac{2\pi V}{l} \cdot t$$

$$\ddot{Z}_{оп} = -Z_o \frac{4\pi^2 V^2}{\bar{l}^2} \cdot \sin \frac{2\pi V}{\bar{l}} \cdot t$$

V – скорость движения агрегата; \bar{l} – средняя протяженность неровности, можно получить зависимость возмущающих моментов от скорости рабочего движения при двух динамических состояниях агрегата.

$$M_{вт} = K_{\varphi} \frac{4\pi^2 J_T}{\bar{l}^2 Z_o \sin \frac{2\pi V}{l} t} \left(\frac{l^2}{4\pi^2} - V^2 \right) + GR \sin \alpha$$

$$M_{ва} = K_{\varphi} \frac{4\pi^2 J_T}{\bar{l}^2 Z_o \sin \frac{2\pi V}{\bar{l}} t} \left[\frac{l^2}{4\pi^2} - (N+1)V^2 \right] + GR \sin \alpha$$

Обсуждение результатов. Для средней протяженности неровности около 3 м и $V=0,11$ м/с возмущающий момент дождевального агрегата в 14 раз больше возмущающего момента трактора. При скорости движения в 10 раз большей необходимой при транспорте или мелкодисперсном дождевании возмущающий момент для агрегата будет более чем в 20 раз превышать возмущающий момент тракторов.

При третьем динамическом состоянии агрегата трактора на действие управляющего момента (M) неоднозначно и зависит от его угловых характеристик. Действие M на трактор, находящийся в горизонтальном положении выражается уравнением

$$J_T (\ddot{\varphi} + \ddot{\varphi}_c) = M + 2GH\varphi - G_M (\varphi + \varphi_c)$$

где $2GH\varphi$ – момент, вызванный смещением центра масс между опорами при повороте трактора от управляющего воздействием; $G_M = Gl^2$ – жесткость подвески трактора,

выраженная в угловых величинах; φ и φ_c – углы поворота трактора под действием M и смещения центра масс.

После преобразования это уравнение, приведенное к стандартному виду, будет равно:

$$\ddot{\varphi} + \frac{G_M}{J_T} \varphi = \frac{M}{J_T}$$

а его решение будет представлено зависимостью

$$\varphi = G_1 \cos \sqrt{\frac{G_M}{J_T}} t + G_2 \sin \sqrt{\frac{G_M}{J_T}} t + \frac{M}{G_M}$$

где G_1 и G_2 (постоянные интегрирования) учитывают угловые характеристики поворота трактора в начале действия управляющего момента. При нулевых начальных условиях ($t_0=0$; $\varphi_0=0$) это уравнение имеет вид

$$\varphi = \frac{M}{G_M} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{G_M}{J_T}} t \right)$$

Для мгновенного возникшего $M=\text{const}$, который появляется при включении гидро-системы, время полного поворота трактора τ на угол φ определится из круговой частоты процесса

$$\tau \cdot \frac{T}{2} = \sqrt{\frac{J_T}{G_M}} \pi$$

Таким образом, в этом случае τ не зависит от M , а характеризуется постоянными техническими параметрами трактора, т.е. полный управляющий момент будет воздействовать на ферму спустя τ после его появления. Максимальный угол поворота трактора пропорционален управляющему воздействию.

Вывод. Проведенный анализ в статье дает возможность количественно оценивать влияние технических параметров базовой машины (трактора), на величину воздействий возмущающих агрегат, и на угловые характеристики поворота трактора в поперечном направлении при наезде с различными скоростями на препятствие без учета упругодеформирующей способности грунта. Это позволяет правильно выбрать основные принципы построения систем автоматического управления положением дождевальной фермы и ориентировочно определить главные параметры элементов аппаратуры.

Библиографический список:

1. Барский И.Б. и др. Динамика трактора, М., «Машиностроение», 1973.
2. Лебедев Б.М. Дождевальные машины М., «Машиностроение», 1965.
3. Дубенок Н.Н., Бородычев В.В., Чечко Р.А. Малоинтенсивное дождевание картофеля в условиях юга России. Монография. Издательство: Проспект. 2017- 188 с.
4. Агаханов Э.К., Агаханов Г.Э. Математическое моделирование воздействия порового давления на скелет грунта. Строительство: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, 29-30 марта 2013 г. Махачкала: ДГИНХ, 2013. – 154 с.
5. Гасанов Т.Г., Гусейнов М.Р. К вопросу повышения эффективности строительства и эксплуатации рисовых оросительных систем в условиях РД. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала, 2014. – Том 34 (3). – С.59-68.
6. Лурье А.Б. Автоматизация сельскохозяйственных агрегатов, Л., «Колос», 1967
7. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М. Издательство АСВ, 1995.- 568 с.
8. Варданян Г.С. Прикладная механика: применение методов теории подобия и анализа размерностей к моделированию задач механики деформируемого твердого тела. Учебное пособие, - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 174 с.
9. Гасанов Т.Г. Устройство термического кротового дренажа. Москва, Издательство «Колос», «Хлопководство», 1978. - С.40-41.

10. Краснощеков В.С. Критерии оценки равномерности полива при дождевании // Сб.науч.тр./ВНИИ механизации и техники полива,- 1975.- Т.8.- С.3-22. 38.
11. Краснощеков В.С. К вопросу размещения слоя осадков при дождевании // Новое в технике и технологии полива.- М., 1980. - С.72-81.
12. Рябенков Н.Г. О выполнении условий свободной границы торца связующего в теории слоистых конструкций// Матер. 4-го Междунар. Симпозиума, Дин.и техно. Проблемы механики констр. и сплошн. сред. Ярополец, 16-18 февр., 1998. М., 1998, с. 21-22.
13. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для вузов/С.М. Тарг. - 20-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2010. - 416 с.

References:

1. Barsky I.B. et al. Tractor dynamics, M., Mashinostroenie, 1973. (In Russ)
2. Lebedev B.M. Irrigation machines M., "Engineering", 1965. (In Russ)
3. Dubenok N.N., Borodychev V.V., Chechko R.A. Low-intensity sprinkling of potatoes in the conditions of the south of Russia. Monograph. Publisher: Prospect. 2017; 188. (In Russ)
4. Agakhanov E.K., Agakhanov G.E. Mathematical modeling of the impact of pore pressure on the soil skeleton. Construction: problems and prospects: a collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference, March 29-30, 2013. Makhachkala: DGINKh, 2013; 154. (In Russ)
5. Gasanov T.G., Guseynov M.R. On the issue of increasing the efficiency of construction and operation of rice irrigation systems in the conditions of the Republic of Daghestan. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical science*. Makhachkala, 2014; 34 (3):59-68. (In Russ)
6. Lurie A.B. Automation of agricultural units, L., "Kolos", 1967 (In Russ)
7. Vardanyan G.S., Andreev V.I., Atarov N.M., Gorshkov A.A. Resistance of materials with the fundamentals of the theory of elasticity and plasticity. M. DIA Publishing House, 1995; 568. (In Russ)
8. Vardanyan G.S. Applied mechanics: application of methods of similarity theory and dimensional analysis to the modeling of problems in the mechanics of a deformable solid body. Textbook, - M.: NITs IN-FRA-M, 2016; 174. (In Russ)
9. Gasanov T.G. Thermal mole drainage device. Moscow, *Kolos Publishing House, Cotton Growing*, 1978; 40-41. (In Russ)
10. Krasnoshchekov B.C. Criteria for assessing the uniformity of irrigation during sprinkling. *Sat.nauch.tr./All-Russian Research Institute of Mechanization and Irrigation Techniques*. 1975; .8 (3): 22. 38. (In Russ)
11. Krasnoshchekov B.C. On the issue of placing a layer of precipitation during sprinkling. *New in irrigation technology and technology*. M., 1980;72-81. (In Russ)
12. Ryabenkov N.G. On the fulfillment of the conditions of the free boundary of the butt end of the binder in the theory of layered structures//Mat. 4th Intern. Symposium, Dynamic and techno. Problems of constructive mechanics. and continuums. Yaropolets, February 16-18, 1998. M., 1998 21-22. (In Russ)
13. Targ S.M. A short course in theoretical mechanics: Proc. for higher educational institutions / S.M. Targ. - 20th ed., erased. M.: Higher. School, 2010; 416. (In Russ)

Сведения об авторах:

Гасанов Тельман Гамзатович, кандидат технических наук, доцент кафедры организации и безопасности движения g.telman2022@bk.ru

Батманов Эдвард Загидинович, кандидат технических наук, декан факультета права и управления на транспорте, batmanov.1978@mail.ru

Гусейнов Марат Рамизович, старший преподаватель кафедры транспортных сооружений и строительных материалов, Maratdgtu@mail.ru

Муталибов Магомедсалих Такидинович, аспирант кафедры организации и безопасности движения, mutalibovm98@mail.ru

Information about authors:

Telman G. Gasanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Organization and Traffic Safety g.telman2022@bk.ru
Edward Z. Batmanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Dean of the Faculty of Law and Management in Transport, batmanov.1978@mail.ru

Marat R. Guseynov, Senior Lecturer of the Department of Transport Structures and Building Materials, Maratdgtu@mail.ru

Magomedsalih T. Mutalibov, Post-graduate Student of the Department of Organization and Traffic Safety, mutalibovm98@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 23.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 16.05.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 16.05.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.056

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-48-57

Оригинальная статья /Original Paper

Тестирование работоспособности метода удаленного мониторинга, реализованного в HelpMeTracker на людях, и проверка реагирования приложения на отклонения в показателях здоровья

В.В. Гилка¹, А.С. Кузнецова^{1,2}

¹Волгоградский государственный технический университет,

¹400005, Волгоград, пр. им. В.И. Ленина 28, Россия,

²Волгоградский медицинский исследовательский центр,

²400131, Волгоград, площадь Павших борцов, 1, Россия

Резюме. Цель. Целью работы является проверка работоспособности предложенного нами метода для удалённого мониторинга пациентов. **Метод.** Для проведения проверки был поставлен эксперимент, в котором принимали участие различные категории людей разных возрастов, в том числе имеющие заболевания. В ходе эксперимента приложение должно фиксировать отклонения в различных показателях, получаемых с датчиков браслета, и осведомлять об этом. **Результат.** Проведенный эксперимент показал, что предложенный нами метод удаленного мониторинга пациентов является полностью пригодным для контроля текущего состояния здоровья. Работая по данной методике, приложение зафиксировало все аномалии в показателях, получаемых с датчиков браслета, и успешно осведомляло о них. **Вывод.** Применение предложенного нами метода достаточно для того, чтобы определять отклонения в показателях здоровья пациентов, отслеживать динамику их изменений и видеть в целом общую картину состояния здоровья человека.

Ключевые слова: метод, приложение, состояние, отклонения, показатели, браслет, датчики, УМП, ЖВП, уведомления, push

Для цитирования: В.В. Гилка, А.С. Кузнецова. Тестирование работоспособности метода удаленного мониторинга, реализованного в HelpMeTracker на людях, и проверка реагирования приложения на отклонения в показателях здоровья. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):48-57. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-48-57

Testing the operability of the remote monitoring method implemented in HelpMeTracker on people and checking the application's response to deviations in health indicators

V.V. Gilka¹, A.S. Kuznetsova^{1,2}

¹Volgograd State Technical University,

¹28 V.I. Lenin Ave., Volgograd 400005, Russia

²Volgograd Medical Research Center,

²1Fallen Fighters Square, Volgograd 400131, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the work is to check the operability of the proposed method for remote monitoring of patients. **Method.** To carry out the test, an experiment was set up in which various categories of people of different ages, including those with diseases. During the experiment, the application should record deviations in various indicators obtained from the sensors of the bracelet, and inform about it. **Result.** Thus, the experiment showed that the method of remote monitoring of patients proposed by us is fully suitable for monitoring the current condition. Working by this method, the application recorded all anomalies in the indicators obtained from the sensors of the bracelet, and successfully informed about them. **Conclusion.** The application of our proposed method is sufficient to determine deviations in health indicators of patients, track the dynamics of their changes and see the overall picture of human health.

Keywords: method, application, condition, deviations, indicators, bracelet, sensors, RMP, VSP, notifications, push.

For citation: V.V. Gilka, A.S. Kuznetsova. Testing the functionality of the remote monitoring method implemented in HelpMeTracker on humans and checking the application's response to deviations in health indicators. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):48-57. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-48-57

Введение. Развитие телемедицины является одним из самых важных направлений на сегодняшний день в области здравоохранения. Существуют различные способы отслеживания текущего состояния человека в телемедицине, и удаленный мониторинг пациента является одним из них. Согласно отчету о результатах анализа рынка мобильных приложений в сфере здравоохранения, мы можем видеть, что ежегодно в мире их использование становится все более и более популярным, и согласно показателю CAGR (совокупный среднегодовой темп роста), как ожидается, прирост их применения на период 2020 – 2027 годы составит 45.0%. Это свидетельствует о том, что разработка таких приложений очень важна для мониторинга состояния здоровья [1].

Постановка задачи. Произвести проверку предложенного нами метода УМП на возможность его применения для отслеживания текущего состояния человека. Провести эксперименты по проверке реагирования приложения на различные отклонения в показателях пульса. Удостовериться в работоспособности мобильного приложения «HelpMeTracker» (на примере, одного из жизненно важных показателей (далее ЖВП) – пульс), выделенного нами в ходе анализа возможностей современных устройств, таких как смарт-часы и фитнес-трекеры [2].

Методы исследования. В ходе исследования методов удаленного мониторинга пациентов (далее УМП), проведенного в 2021 году, нами был предложен новый метод (способ) отслеживания текущего состояния здоровья [3, 4], а после в результате разработки приложения были внесены корректировки, конечный результат которых приводится в соответствии с рис.1.

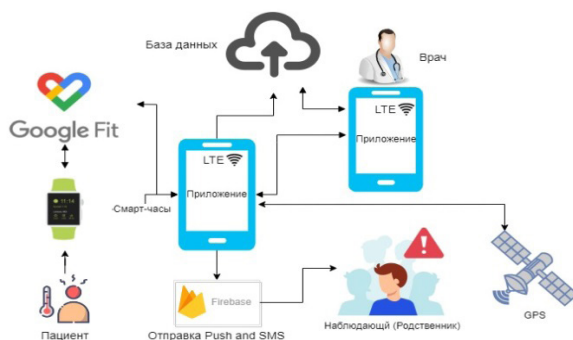


Рис. 1. Метод определения текущего состояния здоровья
Fig. 1. Method for determining the current state of health

В представленном нами методе мы можем увидеть то, каким образом происходит процесс получения данных с носимых устройств, таких как смарт-часы или фитнес-трекеры (браслеты). Было принято решение отказаться от web-интерфейса в пользу разработки единого приложения, которое в зависимости от выбранного профиля, будь то врач или пациент, для каждого из них будет отображать разные интерфейсы.

Увидеть внутреннюю структуру того, как это устроено в приложении можно на диаграмме классов концептуального уровня, представленной в соответствии с рис. 2. Приложением отправляется запрос к датчикам смарт-часов, используя API Google Fit [5]. Данное приложение разрабатывается компанией Google для Android с целью отслеживания своего здоровья, данная платформа предоставляет доступ к датчикам смарт-часов, фитнес-трекера и телефона без каких-либо ограничений в отличие от других IT-компаний, которые не дают возможность подключиться к API своих устройств, а если и позволяют, то только ограниченно.

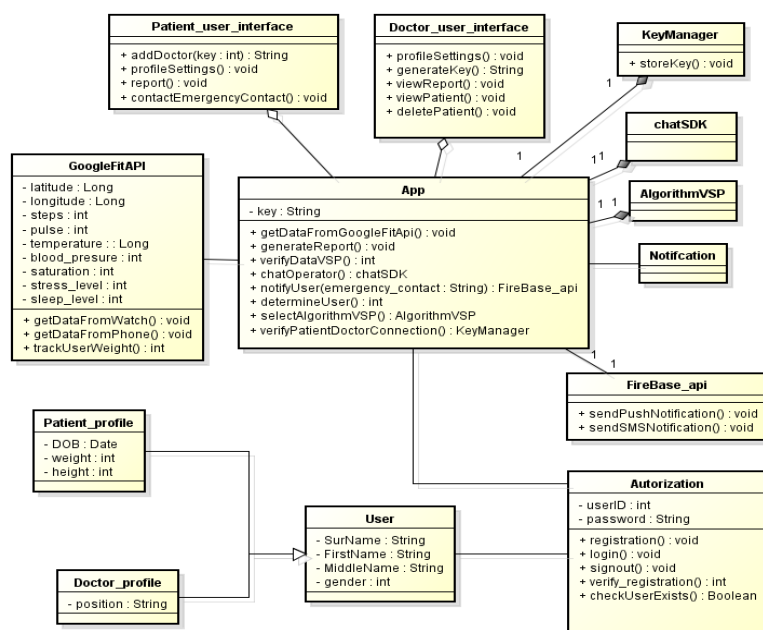


Рис. 2. Архитектура приложения в нотации UML

Fig. 2. Application architecture in UML notation

Датчики отправляют показания в Google Fit, мы их считываем, анализируем, перенаправляем в приложение в виде отчета, где они становятся видны пациенту и врачу. Также эти данные сохраняются на сервере. Далее, как мы можем увидеть, что приложение дублирует отчет о ЖВП наблюдателю (к примеру, родственник). Отправка отчета наблюдателю будет осуществляться с использованием Firebase [6-8], который предоставляет возможность отправлять Push и SMS уведомления. Такое дублирование необходимо для своевременной доставки отчета, если будет слабый сигнал LTE [9-11] или доступ к интернету отсутствует. Также наблюдателю доступен просмотр показателей из приложения наблюдаемого.

В случае экстренной ситуации, когда полученные ЖВП выходят за пределы нормы, приложение реагирует на это, и отправляет тревожный сигнал, наблюдаемому, наблюдателю и врачу, если данная опция активирована у него в приложении. На основе данных полученных с GPS [12, 13] мы сможем определять текущее местоположение человека (к примеру, это необходимо тогда, если приложение зафиксировало критические отклонения в ЖВП и при этом мы не можем установить связь с наблюдаемым, чтобы узнать по геолокации его местоположение) [3, 4]. Подробное описание архитектуры приводится в статье [3]. В ходе работы на основе анализа медицинской литературы и консультаций с врачами были определены возрастные границы, категории показателей, диапазоны верхних и нижних пределов значений, с которыми работает разрабатываемое приложение [14 -23].

В табл. 1 представлена выделенная классификация по возрастам. Такое разделение необходимо по причине того, что в зависимости от возраста те или иные ЖВП разнятся и не могут быть одинаковыми.

Таблица 1. Классификация возрастов

Table 1. Classification of ages

Название категории/ Name of category	Диапазон возрастов/ Age Range
Молодой возраст/ Young age	18-29
Зрелый возраст/ Mature age	30-39
Средний возраст/ Average age	40-59
Пожилой/ Elderly	60 +

В табл. 2 представлены категории показателей, а также диапазоны верхних и нижних границ для каждой из них.

Таблица 2. Границы показателей пульса
Table 2. Limits of heart rate indicators

Категории/ Categories	Норма Normal	В пределах нормы/ Within normal	Умеренные/ Limits		Критическое/ Moderate Critical	
Возраст/ Age			Ниж. гр.	Верх. гр.	Ниж. гр.	Верх. гр.
18-29	60-80	60-90	45-60	90-100	30-45	100 -120
30-39	60-80	55-90	45-55	90-100	30-45	100 -120
40-59	60-80	50-90	45-50	90-100	30-45	100 -120
60 +	60-80	60-90	45-60	90-100	30-45	100 -120

На основе данных полученных в табл.2, были определены значения в каждой возрастной группе и категории, при которых должно происходить реагирование приложения при фиксации датчиками отклонения в показателях пульса, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3. Границы показателей пульса
Table 3. Limits of heart rate indicators

Категории/ Categories	Норма Normal	В пределах нормы/ Within normal	Умеренные (Push)		Критическое (Push, SMS, SOS)	
Возраст/ Age			Ниж. гр.	Верх. гр.	Ниж. гр.	Верх. гр.
18-29	-	-	≥ 46 и ≤ 59	≥ 91 и ≤ 99	≤ 45	≥ 100
30-39	-	-	≥ 46 и ≤ 54	≥ 91 и ≤ 99	≤ 45	≥ 100
40-59	-	-	≥ 46 и ≤ 49	≥ 91 и ≤ 99	≤ 45	≥ 100
60 +	-	-	≥ 46 и ≤ 59	≥ 91 и ≤ 99	≤ 45	≥ 100

Из табл. 3 видно, что, если приложение получает с датчиков устройства показатель пульса, который попадает в диапазон нижних и верхних границ умеренных значений, будет отправляться push уведомление с отчетом как наблюдаемому, так и наблюдателю, врачу, если функция уведомления будет активирована для выбранного им пациента. Если полученное значение попадает в диапазон нижних и верхних границ критических значений, запускается режим экстренного реагирования (SOS), который будет отправляться push с отчетом наблюдаемому и наблюдателю, SMS уведомление с отчетом наблюдателю, а также будет запускаться у обоих сигнал тревоги на телефоне.

Далее для проверки работоспособности приложения HelpMeTracker и постановки эксперимента по определению реагирования его на различные отклонения в показателях, были найдены добровольцы, которых мы разделили по возрастам и группам заболеваний. В возрастную категорию 18-29 лет вошли 6 человек, 3 из которых страдают сердечно-сосудистыми заболеваниями (тахикардия), 2 здоровых и 1 с тревожно депрессивным расстройством. В категорию 30-39 лет вошли 9 человек, 2 из которых страдают сердечно-сосудистыми заболеваниями (тахикардия), 2 с невралгией, 2 здоровых, 2 с эндокринными заболеваниями (вызвавшими брадикардию).

В категорию 40-59 лет вошли 7 человек, из которых 4 с сердечно-сосудистыми заболеваниями (тахикардия, брадикардия), 1 с онкологией, 2 здоровых.

В категорию 60 + вошли 3 человека, 2 с сердечно-сосудистыми заболеваниями (тахикардия), 1 после инсульта. Также, каждым из добровольцев были привлечены люди, которые выполняли роль наблюдающего. В течение эксперимента испытуемые должны были соблюдать ряд простых условий: вести свою обычную повседневную деятельность; исключить физические нагрузки; полностью соблюдать предписания врача по приему лекарственных

препаратов, если таковые имеются. Наблюдатели во время эксперимента должны были выполнять следующие действия: фиксировать, когда приходит простое push уведомление или включается режим экстренного реагирования (SOS) и фиксировать показатели и время, когда это произошло, любым из удобных способов; установить связи с наблюдаемым в случае, когда приложение реагирует, чтобы уточнить состояние человека.

Обсуждение результатов. Эксперимент проводился в течение двух месяцев. Для его проведения применялись браслеты «Honor mi band 5» и смартфоны с предустановленным и настроенным для работы приложением. В настройках приложения частота запроса данных с датчиков браслета у всех испытуемых составляла один раз в полчаса. Данная частота отправки запросов является значением по умолчанию, которое было принято в ходе дискуссий и консультации с врачами. Данные, получаемые с устройств первые 3 дня, в расчет не брались, так как испытуемым необходима была адаптация к мысли о том, что они учувствуют в эксперименте. Это было необходимо для того, чтобы они начали вести себя естественно. Стоит отметить, что нами были представлены данные лишь тех дней, когда у пользователей наблюдались серьезные отклонения в здоровье, а в некоторых случаях незначительные, связанные с различными причинами и представляющие собой наиболее важную ценность.

В результате экспериментов были получены следующие результаты. В категории 18-29 лет приложением были зафиксированы отклонения у одного из трех людей, страдающих тахикардией, у одного из двух здоровых и у человека с тревожно депрессивным расстройством. Полученные данные представлены в соответствии с рис. 3.



Рис. 3. Данные испытуемых из возрастной категории 18-29 лет

а – данные больного тахикардией, б – данные здорового человека, в – данные человека с тревожно депрессивным расстройством.

Fig. 3. Data of subjects from the age category 18-29 years

а - data of a patient with tachycardia, б - data of a healthy person, в - data of a person with anxiety-depressive disorder

На рис. 3 мы можем увидеть следующее, что у испытуемого «а» произошли скачки пульса, которые были вызваны повышенной тревожностью в данный день. Первое отклонение было зафиксировано в 8-30 утра, где частота пульса составила 91. Согласно табл. 3, данный показатель для этой категории людей относится к верхней границе умеренных значений и, зафиксировав во время очередного запроса данных с браслета скачек пульса, приложение отправило push уведомление с соответствующим отчетом. У участника эксперимента «б» мы можем наблюдать повышенную динамику пульса на протяжении всех суток. Первое отклонение было зафиксировано приложением 00-30, где значение пульса составило 92 и оно успешно осведомило об этом наблюдателя посредством push уведомления. Далее зафиксировалось значение 102, которое согласно табл. 3, относится к верхней границе критических значений, и программа инициировала запуск режима экстренного реагирования, в ходе выполнения которого произошла успешная отправка push, SMS уведомлений с соответствующим отчетом, где наблюдателем было установлено, что человек находился в тревожном состоянии, которое в последующем спровоцировало бессонницу на протяжении всей ночи. У испытуемого «в» был зафиксирован скачек пульса в 15-00 на отметке 103 вы-

званный очередным расстройством. Приложение, зафиксировав данное значение, запустило режим экстренного реагирования и успешно уведомило наблюдателя об отклонении состояния здоровья наблюдаемого.

В категории 30-39 лет приложением были зафиксированы отклонения у двух людей, страдающих тахикардией, одного с неврологией и у одного с эндокринным заболеванием. Полученные данные представлены в соответствии с рис. 4 и 5.

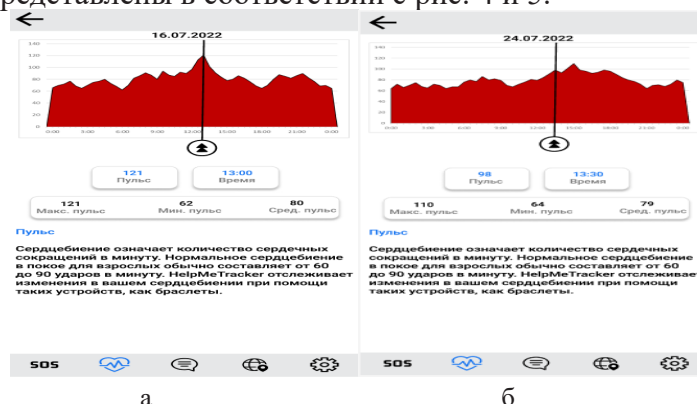


Рис. 4. Данные испытуемых из возрастной категории 30-39 лет

а – данные больного тахикардией, б – данные больного тахикардией

Fig. 4. Data of subjects from the age category of 30-39 years

a – data of a patient with tachycardia, b – data of a patient with tachycardia

Из представленных сведений мы можем увидеть следующее, что у наблюдаемого «а» был рост пульса ближе к обеденному времени и первое зафиксированное отклонение в его состоянии было в 9-30 на отметке 94 и приложение успешно отреагировало. Также приложением было зафиксировано отклонение пульса до 121 в 13-00, где согласно табл. 3 данный показатель выходит за пределы верхней границы определенных нами критических значений, но при этом программа с успехом выполнила все инструкции режима экстренного реагирования, и наблюдатель был осведомлен об этом.

В ходе выяснения обстоятельств повышенного пульса у человека, определили, что такое отклонение в состоянии было вызвано стрессовой ситуации, полученной в ходе работы. У наблюдаемого «б» в течение дня отклонение зафиксировалось на показателе 98, приложение успешно проинформировало об этом отправив push уведомление.

Из динамики графика мы можем наблюдать, что показатель пульса определенное время находился на высоком уровне. Самое высокое значение, зафиксированное датчиками устройств, составило 110. Приложение при таком значении на основе показателей из табл. 3 запустило режим экстренного реагирования и после была установлена связь с наблюдаемым, в ходе которой было определено, что он пропустил обеденный прием лекарства, забыв препарат дома, прописанный ему для поддержки нормального функционирования работы сердца. Из представленных данных приложений, наблюдаемых на рис. 5, мы можем увидеть, что у «в» больного невралгией в течение половины дня динамика пульса входила в пределы нормы, но после начались отклонения в его состоянии и первое, зафиксированное приложением значение было на отметке в 93 в 14-00, а максимальное на 108.

Приложение успешно определило данные отклонения и после выяснения причин такого поведения, было установлено, что у наблюдаемого началось обострение невралгических болей в области ребер с правой стороны, что вызвало волнение. У наблюдаемого «г» наблюдается низкая динамика изменения показателей пульса и это связано с наличием у больного эндокринного заболевания, которое в свою очередь провоцирует брадикардию [19]. В ходе эксперимента отклонение в состоянии пульса было зафиксировано на отметке 52, соответственно полученное значение выходит за пределы нормальных, установленных нами согласно данным табл. 3 для данной возрастной категории. Приложение, зафиксировав отклонение, успешно отреагировало, отправив push уведомление с отчетом.



Рис. 5. Данные испытуемых из возрастной категории 30-39 лет

в – данные больного невралгией, г – данные больного эндокринным заболеванием

Fig. 5. Data of subjects from the age category of 30-39 years

с – data of a patient with neuralgia, д – data of a patient with an endocrine disease

В категории 40-59 лет приложением были зафиксированы отклонения у двух больных сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также состояние перед летальным исходом пациента больного онкологией, у которого незадолго до этого была произведена операция по удалению простаты. Полученные данные с их приложений представлены в соответствии с рис. 6. Из полученных показаний наблюдаемого «а» видно, что в течение половины дня его показатели пульса снимаемые с датчиков устройства приложением находились в пределах нормы для данной возрастной категории и лишь в 13-30 произошло резкое падение до 47, которое программа зафиксировала и успешно осведомила об этом push уведомлением.



Рис. 6. Данные испытуемых из возрастной категории 40-59 лет

а – данные больного онкологией, б – данные больного брадикардией, в – данные человека с тахикардией

Fig. 6. Data of subjects from the age category 40-59 years

а – data of a patient with oncology, б - data of a patient with bradycardia, в – data of a person with tachycardia

После нескольких неудачных попыток установить связь с человеком, наблюдатель отправился, основываясь на данных геолокации текущего местоположения устройства (одна из функций нашего приложения), наблюдаемого в заданную точку, где в итоге он был найден в бессознательном состоянии, лежащем на земле. Была вызвана бригада скорой помощи, которая прибыла на место очень оперативно и забрала пациента, в дальнейшем определив его в реанимацию. Как мы можем увидеть, график обрывается и это связано с тем, что врачи во время транспортировки больного сняли с него браслет. С данного момента мы больше не могли получать данные о его текущем состоянии показателей пульса, а в последующие сутки человек скончался от метастаза, которые спровоцировали у него отек головного мозга и последующий инсульт. У больного «б» страдающего брадикардией отклонение приложением было зафиксировано лишь один раз на отметке 47 поздней ночью,

и чем оно могло быть обусловлено мы не можем сказать. У пациента «в» с тахикардией отклонение было зафиксировано всего лишь один раз на отметке 91, как и в предыдущем случае. Приложение успешно осведомило об этом наблюдателей отчетом, представленным в push уведомлении. Стоит отметить, что данные люди полностью соблюдали график приема лекарственных препаратов прописанные им их лечащими врачами и динамика их показателей всегда находилась в пределах нормы. В категории 60+ лет приложением были зафиксированы отклонения у двух людей, данные которых представлены в соответствии с рис. 7.



а – данные больного тахикардией, б – данные больного после инсульта

Рис. 7. Данные испытуемых из возрастной категории 60 + лет

Fig. 4. Data of subjects from the age category of 60 + years

а – data of a patient with tachycardia, б – data of a patient after a stroke

На основе полученных показаний мы можем увидеть, что у человека «а» наблюдалась повышенная динамика показателей пульса для ночного времени и первое отклонение приложение было зафиксировано на отметке в 92 в 4 часа утра. Соответственно было отправлено push уведомление наблюдателю, после чего было установлено, что человек не спал и испытывал тревожное состояние. Так же по тем же причинам произошел рост пульса в течение дня, который наше приложение успешно зафиксировало на отметке 101 и запустило режим экстренного реагирования при этом осведомило об этом наблюдателя. Из полученных данных наблюдаемого «б» отклонение было зафиксировано лишь один раз на отметке 94 в утреннее время и при этом наблюдатель был успешно уведомлен об этом. Чем был вызван данный скачек пульса не понятно, так как испытуемый чувствовал себя хорошо и жалоб при этом не имел.

Вывод. Эксперимент по тестированию работоспособности мобильного приложения «HelpMeTracker» для удаленного мониторинга состояния пациента, и эксперимент по проверке реагирования приложения на различные отклонения в показателях пульса на реальных людях можно считать успешным. Приложение зафиксировало все аномалии в показателях, получаемых с датчиков браслета помимо тех, которые обзоревались, и осведомляло наблюдателей об этом одним из способов, которые ранее описывались в статье.

Также в результате данного эксперимента мы убедились, что для получения общей картины текущего состояния пациента, отправлять запросы один раз в полчаса более чем достаточно, при использовании его в качестве значения по умолчанию.

Эксперимент показал, что предложенный нами метод удаленного мониторинга пациентов является полностью пригодным для контроля текущего состояния человека.

Библиографический список:

1. Healthcare Mobile Application Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Fitness Products Training, Appointment Booking & Construction), By Platform, By Technology, By End User, And Segment Forecasts, 2020 - 2027 // Grandviewresearch : сайт. – URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/healthcare-mobile-applications-market/methodology> (дата обращения: 01.02.2023).
2. Разработка метода и архитектуры мобильного приложения для удаленного мониторинга текущего состояния человека на основе данных жизненно важных показателей с датчиков / В. В. Гилка, Ю. А. Орлова, Д. Х. Хужахметова, А. С. Кузнецова // Известия Юго-Западного государственного

- университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 212-230.
3. Gilka, V.V., Kachanov, Y.A., Kuznetsova, A.S. (2023). Architecture of the Android Application for Monitoring Person's Condition Based on Data Readings from Sensors of Smart Watches and Mobile Devices. In: Krouska, A., Troussas, C., Caro, J. (eds) Novel & Intelligent Digital Systems: Proceedings of the 2nd International Conference (NiDS 2022). NiDS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 556. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17601-2_22
 4. Гилка, В.В. Общая архитектура взаимодействия компонентов Android приложения HelpMeTracker для удаленного отслеживания текущего состояния человека / В.В. Гилка // России – творческую молодежь : материалы XV Всерос. науч.-практ. студ. конф. (г. Камышин, 20-22 апреля 2022 г.). В 4 т. Т. 3 под общ. ред. И. В. Степанченко ; ВолгГТУ, КТИ (филиал) ВолгГТУ. Волгоград, 2022. С. 13-16.
 5. Научись вести более здоровую и активную жизнь // Google Fit URL: <https://www.google.ru/fit/> (дата обращения: 01.02.2023).
 6. Chougale, Pankaj & Yadav, Vaibhav & Gaikwad, Anil & Student, Bharati & Vidyapeeth., (2022). FIREBASE -OVERVIEW AND USAGE. Journal of Engineering and Technology Management. 2582-5208.
 7. Saraf, Prachi. (2022). A Review on Firebase (Backend as A Service) for Mobile Application Development. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 10. 967-971. 10.22214/ijraset.2022.39958.
 8. Therokar, Dhanshri & Pohare, Devshri & Kolte, Manjiri & Sonar, Priyal & Bute, Prof. (2022). Social Media Application Development in Android with Firebase. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. 36-41. 10.48175/IJARSC-3612.
 9. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл - 5-е изд. - СПб.: Питер, 2012. - 960 с.
 10. Грингард С. Интернет вещей: Будущее уже здесь / Сэмюэл Грингард Пер. с англ. — М. : Альпина Паблишер, 2016. — 188 с.
 11. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / Виктор Олифер, Наталья Олифер : Юбилейное издание. СПб.: Питер, 2020. — 1008 с.
 12. Mamdya, Miss & Sandupatla, Miss & Saka, I & Kothawale, J & Shirashayad, V & Kazi, K. (2022). GPS Tracking System. 2581-9429.
 13. Onyango, Oscar & Kamau, Solomon & Ng'etich, Stephen. (2022). Send GPS Location to Firebase Using GPS Neo 6M and SIM800L. 10.13140/RG.2.2.10230.47685.
 14. Покровский, В. М. Физиология человека : учебник / Под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротко - 3-е изд. - Москва : Медицина, 2011. - 664 с. - ISBN 978-5-225-10008-7.
 15. Физиология человека. В 3 т. Т. 1 / Й. Дудель, Й. Рюэгг, Р. Шмидт [и др.]. Москва : Мир, 1996. 323 с.
 16. Физиология человека. В 3 т. Т. 2 /М. Циммерман, В. Ениг, В. Вутке [и др.].Москва :Мир, 1996. 313с.
 17. Физиология человека. В 3 т. Т. 3 / Х. -Ф. Ульмер, К. Брюк, К. Эве [и др.]. Москва : Мир, 1996. 198 с.
 18. Анатомия и физиология человека: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования/ И. В. Гайворонский, Г. И. Ничипорук, А. И. Гайворонский. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательский центр «Академия», 2011. — 496 с.
 19. Нормальная физиология: Учебник / Н.А. Агаджанян, В.М. Смирнов. 3-е изд., испр. и доп. М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2012. 576 с.
 20. Наглядная физиология / С. Зильбернагель, А. Деспопулос ; пер. с англ. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 408 с.
 21. Орлов Р. С. Нормальная физиология:учебник. 2-е изд., испр, и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. — 832 с.
 22. Агаджанян Н. А., Смирнов В. М. Нормальная физиология: Учебник для студентов медицинских вузов. М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2009. 520 с.
 23. Солодков А. С, Сологуб Е. Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возраст С60 : учебник. - 7-е издание. - М.: Спорт, 2017. -620 с.

References:

1. Healthcare Mobile Application Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Fitness Products Training, Appointment Booking & Construction), By Platform, By Technology, By End User, And Segment Forecasts, 2020 – 2027.Grandviewresearch : сайт. – URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/healthcare-mobile-applications-market/methodology> (accessed: 01.02.2023).
2. Development of a method and architecture of a mobile application for remote monitoring of the current state of a person based on vital signs data from sensors. V. V. Gilka, Y. A. Orlova, D. H. Khuzhakhmetova, A. S. Kuznetsova. *Proceedings of the Southwestern State University. Series: Management, Computer engineering, Computer science. Medical instrumentation.* 2021; 11(4): 212-230. (In Russ)
3. Gilka, V.V., Kachanov, Y.A., Kuznetsova, A.S. (2023). Architecture of the Android Application for Monitoring Person's Condition Based on Data Readings from Sensors of Smart Watches and Mobile

- Devices. In: Krouska, A., Troussas, C., Caro, J. (eds) Novel & Intelligent Digital Systems: Proceedings of the 2nd International Conference (NiDS 2022). NiDS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 556. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17601-2_22
4. Gilka, V.V. The general architecture of interaction of components of the Android application HelpMeTracker for remote tracking of the current state of a person / V.V. Gilka // Russia – creative youth : materials of the XV All-Russian Scientific and Practical. student. conf. (Kamyshin, April 20-22, 2022). In 4 t. T. 3 / under the general editorship of I. V. Stepanchenko ; VolgSTU, KTI (branch) VolgSTU. Volgograd, 2022; 13-16. (In Russ)
 5. Learn to lead a healthier and more active life/ Google It URL: <https://www.google.ru/fit/> (accessed: 01.02.2023). (In Russ)
 6. Chougale, Pankaj & Yadav, Vaibhav & Gaikwad, Anil & Student, Bharati & Vidyapeeth,. (2022). FIREBASE -OVERVIEW AND USAGE. Journal of Engineering and Technology Management. 2582-5208.
 7. Saraf, Prachi. (2022). A Review on Firebase (Backend as A Service) for Mobile Application Development. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 10. 967-971. 10.22214/ijraset.2022.39958.
 8. Therokar, Dhanshri & Pohare, Devshri & Kolte, Manjiri & Sonar, Priyal & Bute, Prof. (2022). Social Media Application Development in Android with Firebase. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 36-41. 10.48175/IJARSC-3612
 9. Tanenbaum E., Weatherall D. Computer networks. - 5th ed. St. Petersburg: Piter, 2012; 960 . (In Russ)
 10. Gringard S. The Internet of Things: The Future is already here. *Samuel Gringard Translated from English - M. : Alpina Publisher*, 2016;188. (In Russ)
 11. Olifer V., Olifer N. Computer networks. Principles, technologies, protocols / Victor Olifer, Natalia Olifer : Anniversary edition. - St. Petersburg: Piter, 2020;1008. (In Russ)
 12. Mamdya, Miss & Sandapatla, Miss & Saka, I & Kothawale, J & Shirashayad, V & Kazi, K. (2022). GPS Tracking System. 2581-9429/
 13. Onyango, Oscar & Kamau, Solomon & Ng'etich, Stephen. (2022). Send GPS Location to Firebase Using GPS Neo 6M and SIM800L. 10.13140/RG.2.2.10230.47685.
 14. Pokrovsky, V. M. Human physiology : textbook / Edited by V. M. Pokrovsky, G. F. Korotko 3th ed. Moscow : Medicine, 2011; 664. (In Russ)
 15. Human physiology. In 3 t. V. 1.J. Dudel, J. Ruegg, R. Schmidt [et al.]. Moscow: Mir, 1996; 323. (In Russ)
 16. Human physiology. In 3 t. V. 2.M. Zimmerman, V. Enig, V.Vutke [et al.]Moscow:Mir, 1996;313. (In Russ)
 17. Human Physiology. In 3 t. V 3.H. -F. Ulmer, K. Brück, K. Ewe [et al.]. Moscow: Mir, 1996; 198. (In Russ)
 18. Human anatomy and physiology: studies. for students. institutions sred. Prof. education / I. V. Gaivoronsky, G. I. Nichiporuk, A. I. Gaivoronsky. 6th ed., reprint. and additional. M. : Publishing center "Academy", 2011; 496. (In Russ)
 19. Normal physiology: Textbook / N.A. Aghajanyan, V.M. Smirnov. 3th ed., corr. and add. M.: LLC "Publishing House "Medical Information Agency", 2012; 576. (In Russ)
 20. Visual physiology. S. Silbernagl, A. Despopoulos ; trans. from English M. : BINOM. Laboratory of Knowledge, 2013; 408. (In Russ)
 21. Orlov R. S. Normal physiology : textbook. 2nd ed., corr. and add. — M.: GEOTAR-Media, 2010; 832.
 22. Aghajanyan N. A., Smirnov V. M. Normal physiology: Textbook for medical university students. Moscow: Publishing House "Medical Information Agency" LLC, 2009; 520. (In Russ)
 23. Solodkov A. S., Sologub E. B. Human physiology. General. Sports. Age From 60 : textbook. - 7th edition. - Moscow: Sport, 2017; 620. (In Russ)

Сведения об авторах:

Гилка Вадим Викторович, старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», gilka_vv@mail.ru

Кузнецова Агнесса Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», agnessakyz@yandex.ru

Information about authors:

Vadim V. Gilka, Senior Lecturer of the Department "Software of automated systems", gilka_vv@mail.ru
Agnessa S. Kuznetsova, Senior Lecturer of the Department "Software of automated systems," agnessakyz@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 08.02.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 26.03.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 26.03.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 519.85

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-58-66

Оригинальная статья /Original Paper

Программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов
Н.В.Губанов

Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, Новокузнецк, ул. Бардина, 42, Россия

Резюме. Цель. Цель работы посвящена разработке и описанию математической модели системы распознавания китайских иероглифов, с учетом всех особенностей написания китайского языка. Приложение для изучения китайского языка с модулем распознавания иероглифов может помочь заменить носителя языка или преподавателя на дому при самостоятельном обучении. Однако разработанные программные приложения основываются лишь на создании нейронной сети и не могут обеспечить распознавание, учитывая все особенности языка, что так важно при изучении, поэтому данная тема актуальна до сих пор. **Метод.** Модель обучения нейронной сети основывается на использовании искусственных нейронных сетей с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. **Результат.** В статье представлена программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов с учетом особенностей написания, направления каждой черты и ее точное определение с учетом правильной последовательности и нахождения в иероглифе, а также с контролем длины черт. **Вывод.** Каждая из особенностей написания является неотъемлемой частью при изучении языка, поскольку может не только полностью поменять смысл написанного иероглифа, но и помочь структурированно запомнить иероглиф самому обучающемуся, дав ему четкую структуру и алгоритм действий для написания иероглифа. При выявлении ошибок при написании, система укажет пользователю, где конкретно и в какой области была совершена ошибка, какую особенность языка он не учел, и следует обратить на нее внимание.

Ключевые слова: нейронные сети, китайский язык, системы распознавания, алгоритм распознавания, каллиграфия

Для цитирования: Н.В.Губанов. Программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):58-66. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-58-66

Software implementation of the system for learning to write Chinese characters
N.V. Gubanov

Siberian State Industrial University,
42 Bardina St., Novokuznetsk 654007, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the work is devoted to the development and description of the mathematical model of the Chinese character recognition system, taking into account all the features of writing the Chinese language. The Chinese language learning app with character recognition module can help you replace a native speaker or home teacher for self-study. However, the developed software applications are based only on the creation of a neural network and cannot provide recognition, taking into account all the features of the language, which is so important when studying, therefore this topic is still relevant. **Method.** The neural network training model is based on the use of artificial neural networks using the backpropagation algorithm. **Result.** The article presents a software implementation of a system for teaching Chinese characters, taking into account the peculiarities of writing, the direction of each feature and its exact definition, taking into account the correct sequence and location in the character, as well as controlling the length of the features. **Conclusion.** Each of the writing features is an integral part of learning a language, since it can not only completely change the meaning of the written hieroglyph, but also help the learner to

memorize the hieroglyph in a structured way, giving him a clear structure and algorithm of actions for writing the hieroglyph. When errors are detected when writing, the system will indicate to the user where exactly and in what area the error was made, what feature of the language he did not take into account, and attention should be paid to it.

Keywords: Neural networks, Chinese language, recognition systems, recognition algorithm, calligraphy

For citation: N.V. Gubanov. Software implementation of the system for learning to write Chinese characters. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):58-66. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-58-66

Введение. Изучение иностранных языков с каждым годом становится все более популярным и доступным занятием для человека. Росту популярности изучения иностранных языков способствуют такие факторы, как развитие кинематографии, доступность туристических поездок, а также спрос от работодателей в знании хотя бы одного иностранного языка. Все эти факторы благоприятно сказываются на умственных способностях, памяти и развитии человека в целом. Знание иностранного языка делает человека конкурентоспособным на рынке труда, а также является весомым показателем трудового и умственного потенциала работника и т.д.

Система обучения написания китайских иероглифов может помочь заменить носителя языка или преподавателя на дому при самостоятельном обучении. Однако разработанные программные приложения основываются лишь на создании нейронной сети и не могут обеспечить распознавание, учитывая все особенности языка, что так важно при изучении, поэтому данная тема актуальна до сих пор, не смотря на большой скачок в развитии этого направления. Даже во время групповых языковых курсов на одного преподавателя приходится порядка 5, а то и 20 человек, при этом у преподавателя физически нет возможности проверить корректность написания студентом правильного направления черт.

Постановка задачи. Работа посвящена разработке и описанию программной реализации системы обучения написания китайских иероглифов с учетом всех особенностей написания китайского языка.

Методы исследования. Реализация алгоритма распознавания китайских иероглифов. Перед началом распознавания китайского иероглифа пользователю подается слово или словосочетание на русском языке, которое требуется ввести на экране. Написание иероглифа происходит по одной иероглифической черте.

Распознавание направления китайской иероглифической черты. При попытке ввести иероглифическую черту, при прикосновении к экрану для дальнейшего распознавания направления написания китайской иероглифической черты системой будут считаны координаты первого прикосновения к экрану. Полученные координаты (x_1, y_1) и будут обозначать начало начертания иероглифической черты, черта вводится одним движением, согласно правилам каллиграфии китайского языка. Как только пользователь уберет палец с экрана, это будет сигнализировать системе о том, что иероглифическая черта написана и готова к распознаванию направления, системой будут получены координаты (x_2, y_2) , конца написания черты. На основе полученных координат происходит вычисление направления черты. Каждая черта обладает собственными условиями корректного направления написания, например: условиями корректного направления написания иероглифической черты «Точка», «Вертикальная черта», является то, что координата ординат начала написания черты (y_1) , должна быть больше, чем ордината окончания написания (y_2) . Так как во время записи черты, в зависимости от почерка пользователя, координата абсцисс точки окончания начертания (x_2) может быть как меньше точки абсцисс начала начертания (x_1) , так и равна или больше. Поэтому, вне зависимости от x_1 и x_2 , система сумеет правильно распознать направление написания иероглифической черты китайского языка [5].

В случае с написанием иероглифических черт, таких как «Горизонтальная черта», x_1 должен быть меньше x_2 , так как в написании учитывается только координата абсцисс, а координата ординат может варьироваться от дрожи в руках.

Условиями корректного направления написания иероглифических черт «Откидная влево», «Откидная вправо», «Вертикальная с крюком влево», «Изогнутая с крюком влево», является то, что координата y_1 должна быть больше y_2 . Несмотря на то, что «Откидная влево» и «Откидная вправо» являются чертами с противоположным направлением написания по абсциссе, для распознавания корректного написания черты - это не имеет значения, поскольку за определение корректного написания самого иероглифа отвечает распознавание черты при помощи искусственной нейронной сети.

Иероглифическая черта «Откидная вверх» является уникальным случаем, это единственная черта с условием распознавания, где y_1 должен быть меньше y_2 , поскольку это единственная черта, написание которой происходит снизу вверх.

Условиями написания направлений иероглифических черт «Горизонтальная с ломаной», «Вертикальная с ломаной» и «Горизонтальная с крюком вниз» согласно правилам каллиграфии является соблюдение правил о том, что x_1 должно быть меньше x_2 , несмотря на тот факт, что во всех трех чертах присутствуют вертикальные элементы, поскольку данные элементы слишком малы для значимости в распознавании конкретных черт, ведь естественный наклон горизонтальной черты может перекрывать длину вертикальных элементов черты, от чего сравнение координат ординат полностью теряет свою значимость.

Написание черты «Откидная вправо с крюком вверх» начинается с левого верхнего угла, а заканчивается в нижнем правом углу, относительно своего начала. Несмотря на это, координата ординат в данном случае не является важной в распознавании, поскольку при правильном написании черты исключается возможность написания черты в другую сторону, поскольку это будет уже совершенно другая черта. Поэтому координата x_1 в данном случае должна быть меньше координаты x_2 .

Черта «Лежащий крюк» представляет собой «лежачую» черту, а значит, располагается почти параллельно горизонтали, несмотря на то, что не содержит подобных элементов, поэтому для распознавания данной черты достаточно соблюдение условия $x_1 < x_2$.

«Откидная влево с точкой» является чертой, состоящей из двух элементов, где первый элемент по диагонали стремится в одну сторону, а последующий элемент стремится по диагонали в противоположную сторону. На основе строения данной черты не возможно корректно определить ее направление по оси абсцисс, поскольку длина обоих элементов иероглифической черты определяются пользователем не точно, почти произвольно, в пределах соблюдения правил написания черт в иероглифе. Поэтому для корректного распознавания направления, требуется узнать координаты ординат, где y_1 должен быть больше y_2 .

Несмотря на то, что «Горизонтальная с откидной влево» имеет структуру, которая отличается от черты «Откидная влево с точкой», поскольку первый элемент иероглифической черты является горизонтальным, написание данной черты по своей логике написания совпадает, поскольку оба элемента иероглифа также стремятся в разные стороны. Поэтому, условием распознавания направления данной черты является то, что y_1 должен быть больше y_2 . «Откидная влево с ломаной» является третьим примером, где иероглифическая черта, разделенная на два элемента, стремится в разные стороны, однако, в данном варианте, второй элемент стремится к началу первого элемента, при этом, не соприкасаясь, поскольку второй элемент всегда будет находиться ниже первого.

Условиями корректного направления написания иероглифической черты Иероглифические черты, такие как «Горизонтальная ломаная с крюком вправо», «Горизонтальная ломаная с изгибом», Горизонтальная ломаная с откидной вправо и крюком вверх», «Горизонтальная ломаная с крюком вправо и изгибом» являются трехсоставными чертами, где второй элемент черты является вертикальной прямой, а первый и последний элемент находятся по разные стороны от вертикальной прямой, таким образом, не суще-

ствует возможности правильного написания иероглифических черт такого вида, где при написании координата абсцисс конца начертания хоть как-то приближалась к ее началу. Данные черты можно визуальнo представить как вертикальные черты, которые равноудалены друг от друга вертикальной чертой, условием корректного написания является условие $x_1 < x_2$. Несмотря на то, что «Горизонтальная ломаная с крюком влево» и «Горизонтальная ломаная с крюком вправо» являются противоположными только последним элементом, данная черта не подпадает под предыдущий случай, поскольку третий элемент, как и первый, находится левее среднего вертикального элемента. Несмотря на незначительный размер третьего элемента иероглифа, он может быть изображен пользователем чуть больших размеров, чем приблизится конечная и начальная координата абсцисс, поэтому для распознавания конкретной черты достаточно условия: y_1 должен быть больше y_2 .

Говоря о правильном написании направления для черты «Вертикальная с откидной вверх», можно заметить, что данный случай похож на распознавание черты «Откидная влево с ломаной». Черта также состоит из двух элементов, которые стремятся в разные стороны, почти возвращаясь в начальную точку, однако в данной вариации иероглифическая черта расположена вертикально, отсюда условия ее распознавания меняются. Для распознавания этой черты координата абсцисс начала должна быть меньше координаты абсцисс конца написания черты.

«Горизонтальная с откидной влево», Горизонтальная дважды ломаная с откидной влево» и «Горизонтальная трижды ломаная с вертикальной и крюком влево» являются сложносоставными чертами. Однако, при подробном рассмотрении каждой из черт, можно заметить, что первый и последний элементы расположены на одной стороне, разделителем которой является многосоставная часть черты, состоящая из множества средних элементов, которые составляют черту, визуальнo похожую на вертикальную. В данных условиях распознавание черты по оси абсцисс не имеет смысла, поэтому этими данными при распознавании система пренебрегает, обращая внимание на координаты ординат. Условием распознавания данных черт является то, что y_1 должен быть больше y_2 .

Иероглифическая черта «Вертикальная с изогнутой» является примером черты, в которой первый элемент является вертикальным, а второй – горизонтальным. Однако горизонтальный элемент в данной черте является достаточно малым для сравнения направления по оси абсцисс, поэтому направление для данной черты определяется по нахождению разности координат ординат, где y_1 должен быть больше y_2 .

В случае с «Вертикальная с изогнутой и крюком вверх» в отличие от предыдущего случая, черта имеет третий элемент, который пользователем может быть написан визуальнo больше требуемого, а второй элемент является разделительным горизонтальным между двумя вертикальными элементами, на основе чего можно сделать вывод о том, что при распознавании направления «Вертикальная с изогнутой и крюком вверх» x_1 должен быть меньше x_2 . «Вертикальная ломаная с откидной влево» и «Вертикальная дважды ломаная с крюком влево» являются ломаными чертами с разделительным горизонтальным элементом, тогда как первый и последний элемент иероглифа являются вертикальными, поэтому данные черты сравниваются по принципу вертикальной черты, где y_1 должен быть больше y_2 . Направление для каждой введенной пользователем черты записывается в лист направлений, для последующего сравнения. Если условия верны, то направление считается верным. После записи направления написания первой черты, происходит распознавание китайской иероглифической черты, модель которого описана в пункте 1.2.

Распознавание иероглифической черты в китайском иероглифе осуществляется посредством обученной нейронной сети. Нейронная сеть – это одно из направлений научных исследований в области создания искусственного интеллекта, в основе которого лежит стремление имитировать нервную систему человека [6, 7]. Нейронная сеть представляет собой нейроны, связанные между собой синапсами.

Нейрон является составной частью нейронной сети [8]. Он состоит из элементов трех типов: умножителей (синапсов), сумматора и функции насыщения. Синапсы осуществляют связь между нейронами и являются результатом умножения входного сигнала на вес синапса (число, характеризующее силу связи). Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих по синаптическим связям других нейронов, и внешних входных сигналов. Функция активации реализует нелинейную функцию одного аргумента – выхода сумматора. Эта функция называется функцией активации, насыщения или передаточной функцией нейрона [9].

В общем случае входной сигнал, весовые коэффициенты и смещение могут принимать действительные значения, а во многих практических задачах – лишь некоторые фиксированные значения. Выход определяется видом функций активации и может быть как действительным, так и целым. Синаптические связи с положительными весами называют возбуждающими, с отрицательными весами – тормозящими [10].

Математическая модель нейрона имеет вид:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b, \quad (1)$$

$$y = f(s), \quad (2)$$

где x_i – компонент входного вектора (входной сигнал), $i = 1 \dots n$;
 w_i – вес (weight) синапса, $i = 1 \dots n$;
 b – значение смещения (bias);
 n – число входов нейрона;
 s – результат суммирования (sum);
 f – нелинейное преобразование (функция активации);
 y – выходной сигнал нейрона.

На входной сигнал нелинейный преобразователь отвечает выходным сигналом $f(s)$, который представляет собой выход y нейрона. Нейронная сеть состоит из трех видов слоев нейронов: входной слой; внутренний слой; выходной слой.

При объяснении и использовании нейронной сети зачастую скрытые слои (внутренние) представляются как «черный ящик», а количество скрытых слоев и количество нейронов на них либо принимают как произвольные значения, либо высчитывают по общепринятым формулам, не вдаваясь в логический смысл внутренних слоев, ссылаясь лишь на математические формулы. Черный ящик – это термин, использующийся для обозначения системы, сложность которой очень высока, либо механизм работы данной системы не важен [11 – 13].

Входной слой представляет собой входные данные, например, для распознавания иероглифической черты (или иероглифа), введенная в виде изображения черта рассматривается попиксельно, каждый пиксель изображения оценивается числом от 0 до 1, в зависимости от цвета пикселя, где 0 – это белый цвет, а 1 – это черный цвет. Для идентификации иероглифической черты требуется найти все значения на внутренних слоях нейронной сети, для данной модели изображение выбрано размером $x \times y$ пикселей, нейронная сеть имеет n -внутренних слоев, каждый слой имеет собственное количество нейронов.

Для определения количества внутренних слоев и количества нейронов в каждом слое требуется логическое понимание этих слоев. Рассматривая входные данные, мы опираемся на яркость пикселей, при распознавании изображения размером 100×100 пикселей, мы получаем 10000 входных данных на входном слое. Результатом распознавания должно получиться значение на выходном слое, при распознавании иероглифической черты нейронов на выходном слое будет равно 29, в прямой зависимости от количества иероглифических черт в китайском языке.

Связи, веса нейронов показывают насколько яркость конкретного набора пикселей влияет на активацию нейрона в первом внутреннем слое, тогда каждый нейрон первого внутреннего слоя нейронной сети будет представлять собой небольшую группу пикселей, тогда активация нейронов на втором внутреннем слое будет напрямую зависеть от того, какие нейроны были активированы на первом слое, таким образом, каждый нейрон второ-

го выходного слоя будет содержать группу групп пикселей, неся в себе информацию о большей части изображения. Теоретически, чем больше внутренних слоев и нейронов внутри внутренних слоев будет иметь нейронная сеть, тем более точная она будет, однако, при двух слоях, где в каждом внутреннем слое содержится всего несколько нейронов, количество связей будет приумножаться в разы. При 10000 входных данных, количество связей будет равно нескольким миллионам, отчего сложность и время обучения нейронной сети возрастает в геометрической прогрессии.

Перед обучением нейронной сети все веса создаются случайно в заданном диапазоне. Для распознавания иероглифической черты при получении изображения во входной слой системе потребуется найти значения нейронов на внутренних слоях, в результате чего получится значение на выходном слое, соответствующее идентификатору соответствующей иероглифической черты.

Для нахождения нейронов на первом внутреннем слое воспользуемся формулой:

$$\varphi_i^{(q)} = \sigma(\sum (w_i^q a_j) + b_i^q), \quad (3)$$

где $\varphi_i^{(q)}$ – значение нейрона i -го нейрона в слое q ;

σ – функция активации;

a_j – значение яркости j -го пикселя;

w_i^q – вес связи i -го нейрона q -го слоя;

b – смещение i -го нейрона q -го слоя.

Формула функции активации σ вычисляется данным образом:

$$\sigma = f(S) = \frac{1}{1 + e^{-aS}}, \quad (4)$$

где a – константа;

S – взвешенная сумма входных сигналов нейрона $\varphi_i^{(q)}$.

В результате вычисления значений каждого нейрона на первом внутреннем слое получается значение, зависящее от количества пикселей изображения, для придания значения нейрона в диапазоне от 0 до 1 используется функция активации.

Для нахождения значения нейронов на остальных внутренних слоях формула 3 приобретает вид:

$$\varphi_i^{(q)} = \sigma(\sum (w_i^q \varphi_i^{(q-1)}) + b_i^q), \quad (5)$$

где $\varphi_i^{(q)}$ – значение i -го нейрона в слое q ;

σ – функция активации;

$\varphi_i^{(q-1)}$ – значение i -го нейрона $(q-1)$ -го внутреннего слоя;

w_i^q – вес связи i -го нейрона q -го слоя;

b – смещение i -го нейрона q -го слоя.

Выходной слой содержит значения распознавания, например, для распознавания иероглифической черты выходной слой будет равен 29 нейронам, каждый нейрон соответствует конкретной иероглифической черте. Значение выходного слоя вычисляется по заданной формуле:

$$\varphi_i^{\text{вых}} = \sigma(\sum (w_i^{qn} \varphi_i^{(qn)}) + b_i^{\text{вых}}), \quad (6)$$

где $\varphi_i^{\text{вых}}$ – значение i -го нейрона в выходном слое;

σ – функция активации;

$\varphi_i^{(qn)}$ – значение i -го нейрона последнего внутреннего слоя;

w_i^{qn} – вес связи i -го нейрона последнего внутреннего слоя;

b – смещение i -го нейрона выходного слоя.

После получения всех значений нейронов выходного слоя, находится наибольшее значение среди всех нейронов, например, если наибольшее значение нейрона у нейрона № 13, значит, система распознает иероглифическую черту как черту с идентификационным номером 13.

Обсуждение результатов. После распознавания иероглифической черты, результат распознавания записывается в лист иероглифических черт иероглифа $L^{\text{рез}}$.

Данный цикл распознавания каждой черты продолжается до тех пор, пока иероглиф не будет написан целиком, после завершения написания всех иероглифических черт в иероглифе происходит сравнение количества черт в листе иероглифических черт $L^{\text{точ}}$, из которых состоит иероглиф с листом распознанных черт $L^{\text{рез}}$.

Если количество черт не совпадает, то пользователь получает сообщение о том, что количество черт не совпадает. После этого, каждая i -я черта листа распознанных иероглифических черт сравнивается с i -й чертой иероглифа, в случае несоответствия распознанной черты, пользователь получит сообщение о том, какая конкретная черта написана неправильно:

$$L_i^{\text{рез}} = L_i^{\text{точ}}. \quad (7)$$

Следующим шагом системы является сравнение i -го направлений правильно распознанных черт $D_i^{\text{рез}}$ с i -ми точными направлениями черт в иероглифе $D_i^{\text{точ}}$:

$$D_i^{\text{рез}} = D_i^{\text{точ}}. \quad (8)$$

В случае несоответствия направления черты пользователь получит сообщение о том, какая конкретно черта по направлению написана некорректно. После определения корректности количества черт, их направлений и написания происходит распознавание иероглифа в целом, аналогичное по формулам с распознаванием иероглифической черты, описанное в пункте 1.2, разницей распознавания будет являться лишь количество внутренних слоев, количество нейронов на внутренних слоях и на выходном слое.

После распознавания иероглифа в целом, в случае корректного распознавания пользователь получит сообщение, что иероглиф написан корректно, однако это не исключает тот факт, что направление черт, их написание и количество черт может не совпадать, в результате пользователь получит множество корректирующих сообщений о том, как усовершенствовать свои навыки написания иероглифических черт.

Модель обучения нейронной сети с использованием алгоритма обратного распространения ошибки представляет собой по классификации нейронную сеть с учителем.

При обучении с учителем предполагается, что есть внешняя среда, которая предоставляет обучающие примеры (значения входов и соответствующие им значения выходов) на этапе обучения или оценивает правильность функционирования нейронной сети и в соответствии со своими критериями меняет состояние нейронной сети или поощряет (наказывает) нейронную сеть, запуская тем самым механизм изменения ее состояния. При обучении без учителя примеры подаются без выходных значений, из-за чего нейронная сеть при распознавании определяет лишь конкретную группу, без обозначения того, что эта группа из себя представляет [14, 15].

В данной системе на вход подается изображение размером 100x100 пикселей, из-за чего входной слой состоит из 10000 нейронов, сеть имеет 2 внутренних слоя по 50 нейронов, выходной слой состоит из 29 нейронов на выходе. Для реализации обучения нейронной сети требуется на вход системы подать изображение с чертой и явно указать на выходное значение нейронной сети. После чего система выполнит первое распознавание, а так как система не обучена, результат, скорее всего, окажется неверным после выполнения всех действий распознавания из пункта 1.2, после получения всех значений на выходном слое вычисляется функция ошибки искусственной нейронной сети $E(w)$ (ИНС):

$$E(w) = \frac{1}{2} (1 - \varphi_i^{\text{вых}})^2 \quad (9)$$

Значение ошибки ИНС задается изначально и является условием остановки обучения нейронной сети. Если значение ошибки превышает требуемый порог, система считается необученной, значит, обучение должно продолжаться. После чего, находится ошибка на выходном слое $\partial_{\text{вых}}: \partial_{\text{вых}} = \varphi_i^{\text{вых}}(1 - \varphi_i^{\text{вых}}) * (\varphi_i^{\text{вых}} - 1)$. (10)

Ошибка выходного слоя несет в себе информацию о том, насколько наша система неправильно распознала черту или иероглиф, от нее зависит то, насколько сильно нужно

корректировать веса и смещения нейронной сети. На основе ошибки выходного слоя находим ошибки последнего (q-го) внутреннего слоя:

$$\partial_{\text{полс}} = \varphi_i^q (1 - \varphi_i^q) * \partial_i^{\text{вых}} * w_i^q, \quad (11)$$

и ошибки остальных внутренних слоев:

$$\partial_q = \varphi_i^{q+1} (1 - \varphi_i^{q+1}) * (\varphi_i^{(q)} + w_i^q * \partial_i^{q+1}). \quad (12)$$

Зная ошибки значений нейронов на слоях, можно провести корректировку весов и смещений нейронной сети. Изменение веса между выходным значением и значением значения нейрона на последнем внутреннем слое вычисляется следующим образом:

$$w_i^{\text{вых}} = -0.1 * \partial_{\text{вых}} * \varphi_i^q + w_i^{\text{вых}}. \quad (13)$$

Корректировка смещения для всех слоев вычисляется по формуле:

$$b^q = b^q - 0.1 * \varphi_i^q * 1. \quad (14)$$

Изменение веса между остальными слоями:

$$w_i^q = -0.1 * \partial^{q+1} * \varphi_i^q + w_i^q. \quad (15)$$

После завершения корректировки весов и смещений считается, что произошло обучение нейронной сети на одном примере, обучение происходит до тех пор, пока ошибка ИНС по формуле 9 не станет меньше заданной [16-18].

Вывод. Описана программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов, включающая контроль написания китайских иероглифов с учетом большинства особенностей китайской письменности, таких как направление написания черт, учет количества черт в написанном иероглифе, корректное написание каждой черты иероглифа и иероглифа в целом.

Представлено описание распознавания китайской иероглифической черты и ее направления, а также иероглифа в целом, модель обучения нейронной сети с использованием алгоритма обратного распространения ошибки [19,20].

Библиографический список:

1. Лучшие приложения для изучения китайского языка. Топ 7. [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://studyinchinas.com/ru/приложения-для-изучения-китайского/>, свободный (дата обращения 27.01.20).
2. 15 мобильных приложений для изучения китайского языка [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://kj.media/obuchenie/prilozheniya-dlya-izucheniya-kitayskogo-yazyka/>, свободный (дата обращения 29.01.20).
3. Учим китайский! 9 лучших приложений [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://laowai.ru/uchim-kitajskij-9-luchshix-prilozhenij/>, свободный (дата обращения 29.01.20).
4. World Intellectual Property Organization [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://laowai.ru/uchim-kitajskij-9-luchshix-prilozhenij/>, свободный (дата обращения 03.05.20).
5. Ивченко Т.В. Новые горизонты интегральный курс китайского языка [Текст] / Т.В. Ивченко. – Пекин : «EducationalSciencePublishingHouse», 2012 – 184с.
6. ComputerWorld : История глубинного машинного обучения [Электронный ресурс] : электронный журнал. – Режим доступа: <http://www.computerworld.ru/articles/Istoriya-glubinno-go-mashinnogo-obucheniya>, свободный (дата обращения 17.06.18).
7. MachineLearning.ru: Профессиональный информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных [Электронный ресурс] : электронная энциклопедия. Режим доступа: <http://www.machinelearning.ru>, свободный (дата обращения 13.06.17).
8. Горбачевская Е. Н. Классификация нейронных сетей [Текст] / Е. Н. Горбачевская // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2012. – № 2. – с. 128–134.
9. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика [Текст] / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – 2-е изд. // Горячая линия – Телеком. – Москва. – 2002. – 382 с. – ISBN 5-93517-031-0.
10. The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction [Текст] / Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman // Springer. – 2009. – 764с. – ISBN-10: 0387848576.
11. Лагунов Н.А. Применение сверточных нейронных сетей в задачах распознавания многопараметрических объектов [Текст] / Н. А. Лагунов. // Пространство и время – Москва. – Институт философии РАН. – 2013. – №3 – с. 194–197.
12. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений [Текст] / сост. : Сикорский О.С. // МГТУ им. Н.Э. Баумана – 7с.
13. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Текст] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba // The International Conference on Learning Representations. – San Diego. – 2015. – 15 с.

14. Рейнгольд Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика [Текст] / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део. – М. : Мир, 1980. – 476 с.
15. Левитин А.В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ [Текст] / А. В. Левитин – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 576 с.
16. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Текст] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba // The International Conference on Learning Representations.–San Diego. – 2015. – 15 с.
17. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation Simon [Текст] / S. Haykin. : Macmillan, 1994. – 696 с.
18. Scansi S. Introduction to Deep Learning [Текст] / S. Scansi. : Springer, 2018. – 204 с.
19. Rojas R. Neural Networks: A Systematic Introduction [Текст] / R. Rojas : Springer, 1996. – 522 с.
20. Bishop M. Pattern Recognition and Machine Learning [Текст] / M. Bishop : Springer, 2006. – 738 с.

References:

1. The best apps for learning Chinese. Top 7. Electronic resource]: site. Access mode: <https://studyinchinas.com/ru/apps-learning-Chinese/>, free (accessed 27.01.20). (In Russ)
2. 15 mobile applications for learning Chinese [Electronic resource]: site. Access mode: <https://kj.media/obuchenie/prilozheniya-dlya-izucheniya-kitayskogo-yazyka/>, free (accessed 29.01.20). (In Russ)
3. Learn Chinese! 9 best applications [Electronic resource]: site. - Access mode: <https://laowai.ru/uchim-kitajskij-9-luchshix-prilozhenij/>, free (accessed 29.01.20). (In Russ)
4. World Intellectual Property Organization [Электронный ресурс]: site.– Access mode: <https://laowai.ru/uchim-kitajskij-9-luchshix-prilozhenij/>, free (accessed 03.05.20).
5. Ivchenko T.B. New Horizons Integral Chinese Course [Text] / T.B. Ivchenko. – Beijing : «EducationalSciencePublishingHouse», 2012 – 184p.
6. ComputerWorld : History of deep machine learning [Electronic resource] : electronic journal. – Access mode: <http://www.computerworld.ru/articles/Istoriya-glubinnogo-mashinnogo-obucheniya>, free (date of the application 17.06.18).
7. MachineLearning.ru: Professional information and analytical resource dedicated to machine learning, pattern recognition and data mining [Electronic resource] : electronic encyclopedia. Access mode: <http://www.machinelearning.ru>, free (date of the application 13.06.17).
8. Gorbachevskaya E. N. Classification of neural networks [Text] / E. N. Gorbachevskaya , V.N. Tatishchev *Volga University Bulletin*. 2012; 2: 128–134. (In Russ)
9. Kruglov V. V. Artificial neural networks. Theory and practice [Text] / B. B. Kruglov, V. V. Borisov. – 2-edition. Hot line . Telecom. Moscow. 2002; 382 . (In Russ)
10. The Elements of Statistical Learning. DataMining, Inference, and Prediction [Text] TrevorHastie, RobertTibshirani, JeromeFriedman. *Springer*: 2009; 764. - ISBN-10: 0387848576.
11. Lagunov N.A. Application of convolutional neural networks in problems of recognition of multiparameter objects [Text] *Space and time*. Moscow. Institute of Philosophy RAS. 2013; 3: 194–197. (In Russ)
12. An Overview of Convolutional Neural Networks for Image Classification Problem [Text] / made. : Sikorsky O.S. Bauman Moscow State Technical University.7. (In Russ)
13. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Text] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba. The International Conference on Learning Representations.–San Diego 2015; 15 .
14. Reingold E. Combinatorial algorithms. Theory and practice [Text] / E. Reingold, Yu. Nivergelt, N. Deo. – М. : World, 1980; 476. (In Russ)
15. Levitin A.V. Algorithms: An Introduction to Design and Analysis[Text]M.: Publishing House «Williams», 2006; 576. (In Russ)
16. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Text] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba. The International Conference on Learning Representations.–San Diego. 2015; 15.
17. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation Simon [Text] : Macmillan, 1994; 696.
18. Scansi S. Introduction to Deep Learning [Text] / S. Scansi. : Springer, 2018; 204 .
19. Rojas R. Neural Networks: A Systematic Introduction [Text] / R. Rojas : Springer, 1996; 522.
20. Bishop M. Pattern Recognition and Machine Learning [Text] / M. Bishop : Springer, 2006; 738.

Сведения об авторе:

Губанов Николай Владимирович, аспирант, кафедра прикладных информационных технологий и программирования, ragecapicorn@gmail.com

Information about author:

Nikolai V.Gubanov, Postgraduate Student, Department of Applied Information Technologies and Programming, ragecapicorn@gmail.com

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 18.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reved 16.05.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 16.05.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 519.81

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-67-75

Обзорная статья / Review Paper

Некоторые вопросы многокритериальной оптимизации параметров сложных систем

Р.В. Гусейнов, М.Р. Гусейнова, К.А. Алиева

Дагестанский государственный технический университет

367026, г. Махачкала, пр. Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является обоснование проектных критериев оптимальности, учитывающей многокритериальное назначение и функционирование объекта. **Метод.** Исследование проведено на основе методов многокритериальной оптимизации, метода анализа иерархий, метода сверток, эвристических методов. **Результат.** В работе описаны общие задачи многокритериальной оптимизации механических систем. Указано на важность проблемы обоснования проектных критериев оптимальности, учитывающей многокритериальное назначение и функционирование объекта и введения количественно измеряемых целей из множества альтернативных вариантов. Отмечается, что выбор и формирование обобщенного критерия оптимальности является наиболее ответственным при решении оптимизационных задач. Указано на необходимость обеспечения корректности применения того или иного метода свертки. Анализированы различные подходы при формировании обобщенного критерия оптимальности. Приведены их особенности, преимущества и недостатки. Указано на возможность коррекции параметрических ограничений в задачах улучшения оптимальных решений. **Вывод.** При решении многокритериальных задач необходимо с большим вниманием относиться как к постановке задачи, так и к выбору системы критериев и реализуемому методу решения проблемы.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, критерии оптимальности, Парето-оптимальные решения, свертка критериев, многовекторная оптимизация

Для цитирования: Р.В. Гусейнов, М.Р. Гусейнова, К.А. Алиева. Некоторые вопросы многокритериальной оптимизации параметров сложных систем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2): 67-75. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-67-75

Some issues of multi-criteria optimization of parameters of complex systems

R.V. Guseynov, M.R. Guseynova, K.A. Alieva

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to substantiate the design criteria for optimality, taking into account the multi-criteria purpose and functioning of the object. **Method.** The study was carried out on the basis of multicriteria optimization methods, the hierarchy analysis method, the convolution method, and heuristic methods. **Result.** The paper describes general problems of multicriteria optimization of mechanical systems. The importance of the problem of substantiating the design criteria for optimality, taking into account the multi-criteria purpose and functioning of the object, and introducing quantitatively measurable goals from a variety of alternative options is indicated. It is noted that the choice and formation of a generalized optimality criterion is the most responsible in solving optimization problems. The need to ensure the correctness of the application of one or another convolution method is indicated. Various approaches to the formation of a generalized optimality criterion are analyzed. Their features, advantages and disadvantages are given. The possibility of correcting parametric constraints in problems of improving optimal solutions is pointed out. **Conclusion.** When solving multi-criteria problems, it is necessary to pay great attention to both

the formulation of the problem and the choice of a system of criteria and the implemented method for solving the problem.

Keywords: multi-criteria optimization, optimality criteria, Pareto-optimal solutions, criteria convolution, multi-vector optimization

For citation: R.V. Guseynov, M.R. Guseynova, K. A. Alieva. Some issues of multicriteria optimization of parameters of complex systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2): 67-75. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-67-75

Введение. В общем виде многокритериальная оптимизация системы направлена на поиск ее оптимальных параметров с целью формирования оптимального управления этой системы, которая реализует оптимальные режимы функционирования с учетом воздействия внешних и внутренних факторов, характеристик системы и требуемых показателей качества.

Основной проблемой при проектировании сложных систем является то, что невозможно выбрать один единственный критерий оптимальности. Часто локальные критерии оптимальности противоречат друг другу, поэтому многокритериальный подход является, несомненно, необходимым.

Постановка задачи. Проблема многокритериальности не существовала бы, если бы все локальные критерии могли быть сведены к единому (общему) критерию оптимальности или, как отмечалось выше, если бы локальные критерии были бы не противоречивы, то есть если бы изменение управляемых конструктивных параметров объекта приводило к одновременному экстремуму всех локальных критериев. Часто в задачах оптимизации всегда присутствуют противоречивые критерии, при которых максимизация одного локального критерия приводит к минимизации другого и наоборот.

Методы исследования. Современные технические устройства являются достаточно сложными, так как представляет собой большой комплекс различных механизмов, имеющих свои входные и выходные параметры, и функционируют совместно для достижения своего функционального назначения. Существуют различные подходы при решении задач многокритериальности оптимизации механических систем. Для выбора того или иного варианта проектируемого устройства необходимо определить общий критерий оптимальности технического решения, удовлетворяющего как заказчика так и проектировщика.

В качестве основных критериев (компонент) можно выделить:

1. Максимальное качество;
2. Минимальная себестоимость разработки и изготовления;
3. Минимальные расходы на эксплуатацию;
4. Максимальная безопасность функционирования.

Каждая компонента также является многокритериальной. Так, например, многокритериальность первой компоненты обусловлена тем, что к проектируемому устройству предъявляются комплекс таких технических требований, как надежность, точность, быстрейшее действие, габаритные параметры и т.д.

Реализация такого комплекса требований на основе выбора вектора параметров устройства связана с рядом проблем, который возникает при одновременном учете всех компонент. Важнейшей проблемой, обеспечивающей оптимальное качество технической продукции, является проблема обоснования проектных критериев оптимальности, учитывающей многокритериальное назначение и функционирование объекта. Практическая значимость данной задачи заключается в том, что ее правильное решение может оказать определяющее влияние на конструкцию.

При выборе критериев оптимальности наиболее желательными являются введение количественно измеряемых целей из множества альтернативных вариантов. Если известен набор количественно измеряемых целей, то возникает задача определения для каждой цели

вещественной функции. Сложность процесса заключается в том, что даже при наличии этого набора вещественных функций решение задачи оптимизации по большой совокупности количественно измеряемых целей в количественной форме является трудноразрешимым и в некоторых случаях практически невозможным.

Сложность выбора критерия оптимальности заключается в том, что неправильный выбор приведет к построению неоптимальных, иногда неработоспособных систем.

Количественным показателем критерия оптимальности можно использовать некий функционал (функцию). При выборе такого функционала большое внимание необходимо уделить степени адекватности критерия сформулированной цели и насколько экстремальное его значение соответствует выбору варианта с оптимальной конструкцией. Критерий оптимальности позволит оценивать результаты принимаемых проектных решений. Правильно выбранный критерий оптимальности может отражать или определять сущность влияния основных факторов, встречающихся в процессе проектирования, на результат принятия оптимального проектного решения.

На практике проблема принципа оптимальности нашла широкое применение в форме проблемы скаляризации векторного критерия, то есть в форме сведения векторного критерия оптимальности к некоторому обобщенному скалярному критерию, являющемуся функцией локальных критериев.

При проектировании несложных устройств все критерии, кроме одного, выбранного в качестве основного, принимаются в качестве ограничений, и оптимизация производится по одному выбранному главному критерию. Такой подход имеет свои недостатки, снижает эффективность принимаемых решений, но допустимо с точки зрения оперативности принятия решений. В таком случае из четырех приведенных выше локальных критериев в качестве основного принимается качество продукции, а остальные три принимаются в качестве ограничений. Такая постановка актуальна в случаях улучшения качества уже существующих устройств. Задача векторной оптимизации представляется следующим образом

$$\begin{cases} F(x) \rightarrow \max \\ x \in D \end{cases}$$

где D - множество допустимых решений. $F(x)$ – векторная функция векторного аргумента x , которую можно представить как $\{ F(x) = f_1(x) \dots f_n(x) \}$, где $F(x) = f_1(x) \dots f_n(x)$ – скалярные функции векторного аргумента x , каждая из которых является математическим выражением одного критерия оптимальности.

Обсуждение результатов. В общем виде многокритериальная оптимизация от обычной отличается тем, что здесь имеется несколько целевых функций вместо одной функции, которые вместе образуют векторный критерий.

При решении задач векторной оптимизации необходимо с самого начала выделить область компромиссов или множества эффективных решений (множества Парето). Оптимальное проектное решение, выбираемое на основе многокритериального подхода независимо от избираемого принципа оптимальности, всегда должно принадлежать области компромиссов, иначе оно может быть улучшено и, следовательно, не является оптимальным. Существует много способов нахождения области Парето [1-3].

Решение $x \in D$ оптимально по Парето, если не существует такого решения $x_0 \in D$ при условиях $f(x_0) \geq f(x)$. Любой другой вектор, который не является оптимальным по Парето превалируется оптимальным вектором.

Понятие оптимальных по Парето проектных решений представляет собой обобщение понятия точки максимума числовой функции для нескольких функций. Область оптимальных по Парето проектных решений характеризуется тем свойством, что все принадлежащие ей решения не могут быть улучшены одновременно по всем локальным критериям. Выделение множества Парето значительно сужает область поиска оптимального решения и

во многом упрощает задачу выбора принципа оптимальности и нахождения оптимального проектного решения. Поэтому построение множества Парето оптимальных проектных решений должно стать одним из первых этапов большого числа процедур (особенно интерактивных) и методов многокритериальной оптимизации.

В качестве примера рассмотрим нахождение Парето оптимальных решений на основании метода двух критериев $F_1 - F_2$. Допустим значение критерия F_1 желательно максимизировать, а значение критерия F_2 минимизировать. Один из вариантов этого метода, широко применяемого для решения задач выбора лучшего из нескольких конкурирующих вариантов систем, в общих чертах состоит в следующем.

1. Каждый вариант оценивается по двум локальным критериям F_1 и F_2 .
2. Строится график оценок, соответствующих всем рассматриваемым вариантам системы, и из него выделяются те варианты, из которых и должен быть выбран оптимальный вариант (рис. 1). Поскольку значение критерия F_1 желательно максимизировать, а значение критерия F_2 минимизировать, то, например, вариант 3 предпочтительнее варианта 2 (последний имеет меньшее значение F_1 и большее значение F_2).

Таким образом, из шести представленных вариантов лишь три (1-й, 5-й, 3-й) могут претендовать на роль лучшего.

3. Окончательный выбор оптимального варианта из оставшихся трех вариантов производится лишь эвристически по результатам анализа построенного графика, либо путем разработки специальных количественных методов достижения компромисса на множестве $P(\vec{X})$.

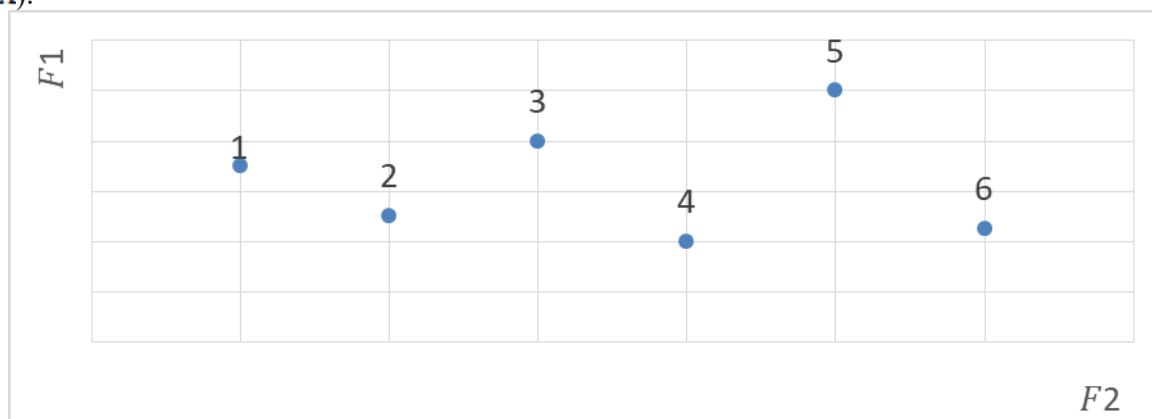


Рис. 1. Парето оптимальные решения по двум противоречивым критериям F_1 и F_2
 Fig. 1. Pareto optimal solutions according to two conflicting criteria F_1 и F_2

По существу вопрос о выборе решающего правила, позволяющего отдать предпочтение той или иной модели из множества Парето, составляет трудную задачу. В ситуациях нестрогой противоречивости локальных критериев оптимальности выделение области компромисса обязательно. В задачах, где встречается строгая противоречивость локальных критериев оптимальности, областью компромиссов будет все допустимое множество $D(\vec{X})$ проектных решений.

В области компромиссов $P(\vec{X})$ выбор и сравнение качества проектных решений возможны только на основе представления принципа компромисса в виде некоторой схемы компромисса между локальными критериями оптимальности. Наиболее часто применяют две группы принципа компромисса: принцип справедливой и абсолютной уступки и принцип равномерности. Они позволяют компенсировать увеличение влияния одной группы локальных критериев за счет уменьшения влияния другой группы локальных критериев на векторный критерий оптимальности.

На практике проблема выбора принципа оптимальности находит применение в форме сведения векторного критерия оптимальности к некоторому обобщенному скалярному критерию, являющемуся функцией локальных критериев.

Если относительный уровень снижения качества по одной группе локальных критериев не превосходит относительно повышения по остальным критериям, то оптимизация проектных решений согласно принципу справедливого компромисса можно проводить с критерием в виде скалярного произведения локальных критериев F_k [4]

$$\text{Opt } F(\vec{X}) = \max \prod_k F_k.$$

Недостатком данного подхода является тот факт, что в случаях, когда локальные критерии имеют различные единицы измерения, обобщенный критерий оптимальности теряет физический смысл.

Для оптимизации векторного критерия также используются и другие принципы: равенства, Чебышева, минимизации суммы приведенных отклонений и др. [5,6,7].

Принцип равенства предусматривает формирование векторного критерия оптимальности из локальных критериев оптимальности, имеющих одинаковую величину

$$\text{Opt } F(\vec{X}) = F_1(\vec{X}) = F_2(\vec{X}) = \dots = F_k(\vec{X}).$$

Этот критерий может не давать оптимальных решений, так как данное условие не обязательно выполняется на области возможных решений.

Принцип квазиравенства допускает формирование глобального критерия оптимальности из неравных локальных критериев оптимальности, но разница между ними по величине не должна превосходить некоторую небольшую относительную величину δ . Проблема здесь состоит в определении этой величины δ , что, в конечном счете, зависит от специфики решаемой задачи.

Принцип Чебышева требует, чтобы оптимальная величина векторного критерия оптимальности определялась наибольшей величиной наименьшего локального критерия оптимальности. В качестве множества допустимых решений берется множество Парето $P(\vec{X})$.

$$\text{Opt } F(\vec{X}) = \max \min F_k(\vec{X}).$$

Принцип минимизации суммы приведенных отклонений предусматривает оптимизацию векторного критерия оптимальности, в качестве аргументов которого используются не локальные критерии оптимальности, а отклонения локальных критериев оптимальности от их оптимальных. Такая оптимизация правомочна, если они имеют одинаковую важность. В ином случае необходимо вводить коррективы.

Одним из удобных приемов решения является введение вектора распределения важности критериев. Такая ситуация возникает, например, когда и исследователь, и заказчик мало имеет информацию о возможностях достижения экстремальных значений по каждому из локальных критериев [8].

Значительную помощь в выборе оптимального решения обеспечивает метод планируемого поиска, достаточно просто реализуемого на ЭВМ [9].

Весь процесс принятия решения строится как диалог лица, принимающего решение (ЛПР) с ЭВМ, т.е. интерактивным методом [10]. Как вариант, можно предложить интерактивную процедуру улучшения оптимальных решений за счет коррекции ограничений [11]. Эффективность диалога существенно повышается при использовании метода планирования экспериментов [12].

В работе [13] описаны методы решения задач линейной многокритериальной оптимизации, основанных на принципе приближения к векторной оптимизации по всем локальным критериям с учетом типа взаимодействия между ними. Такой метод является самым распространенным методом векторной многокритериальной оптимизации при решении прикладных задач.

Сущность метода заключается в назначении коэффициентов $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ и последующей максимизации линейной комбинации критериев $\sum_{i=1}^n \lambda_i f_i(x)$ на множестве X , причем

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1.$$

Меняя значения коэффициентов λ_i можно получить различные варианты решения задач многокритериальной оптимизации. От правильного назначения коэффициентов $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ зависит точность решения оптимизационной задачи, так как они характеризуют «вес» того или иного критерия. При отсутствии информации о приоритете рассматриваемых критериев коэффициенты λ_i назначаются одинаковыми. Такая аддитивная постановка весов критериев возможна только при условии взаимной независимости критериев по предпочтению [14]

Более гибким является метод определения коэффициентов λ_i , основанный на попарном сравнении «весов» критериев и последующем использовании метода анализа иерархий [15].

Сущность метода заключается в следующем:

Вначале строится многоуровневая иерархическая структура на основе декомпозиции задачи на простые составляющие: в вершине иерархии - цель исследования (1 уровень); на втором уровне критерии, которые могут влиять на цель; на третьем уровне - альтернативные варианты.

Затем эксперты попарно сравнивают элементы на каждом уровне. Для определения значимости альтернативных вариантов их мнения обрабатывают с использованием специально разработанного автором алгоритма. Количественным выражением относительной значимости является вектор приоритетов.

Главным недостатком данного метода является необходимость наличия значительного количества информации об объекте исследования, представляющей собой множество оценок предпочтительности, полученных в процессе парного сравнения критериев.

Использование принципа Эджворта является желательным при подборе экспертов, когда создаются несколько групп высококвалифицированных специалистов с различными мнениями по обсуждаемой проблеме, каждой из которых невыгодно отменять свое решение. В соответствии с этим принципом любой вариант за пределами множества Парето должен иметь нулевую степень принадлежности выбираемому множеству.

Значения λ_i можно также определить на основе прямого сравнения по предпочтению реальных или гипотетических альтернатив [16].

В некоторых случаях применяется эвристические методы, когда эксперт определяет «вес критерия». К ним относятся методы: мозгового штурма, свободных ассоциаций, Дельфи, инверсии, синектики, ключевых вопросов. Недостатком методов является наличие субъективности при принятии решения экспертом.

В условиях нечеткости исходной информации экспертные методы являются основными [17–21], так как «экспертные системы» основываются на аппарате нечеткой логики и позволяют полностью или частично заменить ЛПР при поиске решений возникающих проблем.

Следует заметить, что выбор и формирование обобщенного критерия оптимальности является наиболее ответственным при решении оптимизационных задач. Поэтому в каждом случае необходимо обеспечить корректность применения того или иного метода свертки. Наиболее распространенным методом формирования обобщенного критерия оптимальности является метод линейной свертки.

В работе [22] анализируется круг задач, в котором использование линейной многокритериальной оптимизации обосновано и предлагается подход, состоящий в предварительном сужении множества Парето за счет информации об отношении предпочтения ЛПР с последующей экстремизацией линейной свертки исходных критериев на более узком множестве. Предлагается следующий алгоритм решения задачи линейной многокритериальной оптимизации:

1. Для каждой функции решить задачу максимизации с исходными ограничениями, получив оптимальное решение x_p^* и соответствующее значение целевой функции $f_p^*(x_p^*)$.

2. Получив вектор оптимальных решений проводить их ранжирование точек-решений x_p^* по предпочтительности в зависимости от значений целевых функций. Соответствующим образом упорядочить целевые функции.

3. Определить, какие целевые функции доминируются другими целевыми функциями, и в зависимости от этого исключить доминируемые целевые функции, таким образом, получив недоминируемые критерии, то есть получить оптимальные по Парето векторы.

4. Решить задачу многокритериальной оптимизации с исходными ограничениями и недоминируемыми альтернативами с помощью одного из методов многокритериальной оптимизации.

Автор [23] предлагает комбинированный метод, согласно которому на основе аксиоматического подхода, осуществляется предварительное сужение множества Парето при помощи квантов информации об отношении предпочтения лица, принимающего решение, после чего применяется линейная свертка критериев.

Необходимо отметить, что указанное предварительное сужение позволяет, во-первых, учесть имеющуюся дополнительную информацию, а во-вторых, – сократить возможные негативные последствия, связанные с применением метода линейной свертки критериев.

Метод сверток, несмотря на его достаточно широкую популярность, имеет ряд недостатков [24]: не всегда потеря качества по одному критерию компенсируется приращением по-другому. «Оптимальное» по свертке решение может характеризоваться низким качеством некоторых частных критериев и, следовательно, будет неприемлемым, не всегда можно достаточно корректно задать веса критериев. Зачастую известна лишь сравнительная важность критериев, величина обобщенного критерия, полученная по свертке не имеет никакого физического смысла, многократный запуск алгоритма свертки может выдавать только несколько наиболее легко достижимых Парето точек, даже если в действительности существенно больше.

Вывод. При решении многокритериальных задач необходимо с большим вниманием относиться как к постановке задачи, так и к выбору системы критериев и реализуемому методу решения проблемы. Рассматриваемые вопросы относятся не только к механическим системам. Описаны различные подходы при решении конкретных многокритериальных задач.

Библиографический список:

1. Зайченко Ю.П. Исследование операций. Нечеткая оптимизация.- Киев. Выща школа. 1991.-191 с.
2. Marler R.T., Arora J.S. Multi-Objective Optimization: Concepts and ethods for Engineering. VDM Verlag. 2009. 208 p.
3. Ehrgott M. Multicriteria Optimization. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 328 p.
4. Гамидов Г.С., Колосов В.Г., Османов Н.О. Основы инноватики и инновационной деятельности. - СПб.: Политехника.,2000.-328 с.
5. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето оптимальные решения многокритериальных задач. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.-256 с.
6. Федулов А.А., Федулов Ю.Г., Цыгичко В.Н. Введение в теорию статистических ненадежных решений.- М.: Статистик, 1972.-279 с.
7. Матвеевский С.Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов.-М.: Машиностроение, 1987.-240 с.
8. Овчинникова Н.Ф., Поболь О.Н., Статников И.Н., Фирсов Г.И. Планирование имитационных экспериментов при исследовании многокритериальных динамических систем// В кн. Исследование динамических систем на ЭВМ.- М.: Наука, 1982.- С.8-14.
9. Денисов С.И., Медник А.И., Сергеев В.И., Статников И.Н. ПЛП-поиск как метод оптимизационного проектирования на предварительном этапе.- в кн.: Методы решения задач машиноведения на вычислительных машинах. М.:Наука, 1979.
10. Артоболовский И.И., Емельянов С.В., Сергеев В.И., Статников Р.Б., Шестаков О.А. Интерактивный метод решения задачи оптимального проектирования машины.-ДАН СССР, 1977, т.237, №4.
11. Статников Р.Б., Фейгин Г.Л. О коррекции параметрических ограничений в задаче улучшения оптимальных решений. В кн. Исследование динамических систем на ЭВМ. - М.: Наука, 1982.- С.50-59.

12. Гусейнов Р.В., Ахмедова М.Р. Использование методов оптимизации для анализа и обработки информации. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016; Т.41. №2. - С.17-21.
13. Аристова Е.М. Учет взаимодействия между целевыми функциями и их агрегирования в задачах оптимизации. Автореф. дисс. ... на соискание уч. степени канд. техн. наук. Воронеж, 2012.
14. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решения при многих критериях: предпочтения и замещения.-М.: Радио и связь, 1981.-560 с.
15. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Советское радио, 1993, 278 с.
16. Мисюрин С.Ю., Нелюбин А.П. Многокритериальная оптимизация параметров механических систем на примере плоского подъемного механизма // Машиностроение и инженерное образование, 2012, №4.- С.41-48.
17. Джарратино Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. 4-е изд. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.
18. Gronostajski Z. The expert system supporting the assessment of the durability of forging tools // International journal of advanced manufacturing technology. – 2016. – V. 82. – No 9. –P. 1973–1991.
19. Sabzi H.Z. Developing an intelligent expert system for streamflow prediction, integrated in a dynamic decision support system for managing multiple reservoirs: a case study // Expert systems with applications. – 2017. – V. 82. – No 3. – P. 145–163.
20. Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаева К.Н., Серимбетов Б.А. Многокритериальная оптимизация при управлении химико-технологической системой производства бензола при нечеткой информации. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг биоресурсов. 2019. Т.330. №7.- С.182-194.
21. Волин Ю.М., Островский Г.М. Многокритериальная оптимизация технологических процессов в условиях неопределенности //Автоматика и телемеханика.- 2007.-Т.53. - №3.- С.165-178.
22. Мелькумова Е.Н. Один из подходов решения задачи многокритериальной оптимизации //Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии.- 2010. №2.-С.39-42.
23. В.Д. Ногин Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации //Искусственный интеллект и принятие решений.2014. №4.-С.73-83.
24. Гарипов В.Р. Многокритериальная оптимизация систем управления сложными объектами методами эволюционного поиска : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 Красноярск, 1999.-23 с.

References:

1. Zaichenko Yu.P. Operations research. Fuzzy optimization.- Kiev. You are a school. 1991;191.
2. Marler R.T., Arora J.S. Multi-Objective Optimization: Concepts and methods for Engineering. VDM Verlag. 2009; 208.
3. Ehrgott M. Multicriteria Optimization. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2010; 328.
4. Gamidov G.S., Kolosov V.G., Osmanov N.O. Fundamentals of innovation and innovation activity. St. Petersburg: Polytechnic., 2000; 328. (In Russ)
5. Podinovsky V.V., Nogin V.D. Pareto optimal solutions of multicriteria problems. M.: Fizmatlit, 2007;256 (In Russ)
6. Fedulov A.A., Fedulov Yu.G., Tsygichko V.N. Introduction to the theory of statistical unreliable solutions. M.: Statistician, 1972; 279. (In Russ)
7. Matveevsky S.F. Fundamentals of system design of aircraft complexes. M.: Mechanical Engineering, 1987; 240. (In Russ)
8. Ovchinnikova N.F., Pobol O.N., Statnikov I.N., Firsov G.I. Planning of simulation experiments in the study of multicriteria dynamical systems// In the book. The study of dynamic systems on a computer. M.: Nauka, 1982; 8-14. (In Russ)
9. Denisov S.I., Mednik A.I., Sergeev V.I., Statnikov I.N. PLP-search as a method of optimization design at the preliminary stage. In the book: Methods for solving problems of machine science on computers. Moscow: Nauka, 1979. (In Russ)
10. Artobolevsky I.I., Emelyanov S.V., Sergeev V.I., Statnikov R.B., Shestakov O.A. Interactive method for solving the problem of optimal machine design.-DAN USSR, 1977; 237(4). (In Russ)
11. Statnikov R.B., Feigin G.L. On the correction of parametric constraints in the problem of improving optimal solutions. In the book. The study of dynamic systems on a computer. M.: Nauka, 1982;50-59. (In Russ)
12. Guseynov R.V., Akhmedova M.R. The use of optimization methods for information analysis and processing. Herald of Daghestan State Technical University. Technical sciences. 2016; 41 (2):17-21. (In Russ)
13. Aristova E.M. Accounting for the interaction between objective functions and their aggregation in optimization problems. Autoref. diss. ... for the degree of Candidate of Technical Sciences. Voronezh, 2012. (In Russ)
14. Kini R.L., Raifa H. Decision-making under many criteria: preferences and substitutions.-M.: Radio and Communications, 1981;560. (In Russ)

15. Saati T. Decision-making. Method of hierarchy analysis. Moscow: Sovetskoe Radio, 1993; 278. (In Russ)
16. Misyurin S.Yu., Nelyubin A.P. Multicriteria optimization of parameters of mechanical systems on the example of a flat lifting mechanism. *Mechanical engineering and engineering education*, 2012; 4:41-48. (In Russ)
17. Djarratino D. Expert systems: principles of development and programming. 4th ed. Moscow: I.D. Williams LLC, 2007; 1152. (In Russ)
18. Gronostajski Z. The expert system supporting the assessment of the durability of forging tools. *International journal of advanced manufacturing technology*. 2016; 82 (9):1973–1991. (In Russ)
19. Sabzi H.Z. Developing an intelligent expert system for streamflow prediction, integrated in a dynamic decision support system for managing multiple reservoirs: a case study. *Expert systems with applications*. 2017; 82(3): 145–163.
20. Orazbayev B.B., Ospanov E.A., Orazbayeva K.N., Serimbetov B.A. Multi-criteria optimization in the management of chemical-technological system of benzene production with fuzzy information. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Bioresource engineering*. 2019; 330(7):182-194. (In Russ)
21. Volin Yu.M., Ostrovsky G.M. Multicriteria optimization of technological processes under uncertainty. *Automation and telemechanics*. 2007; 53(3):165-178. (In Russ)
22. Melkumova E.N. One of the approaches to solving the problem of multi-criteria optimization. *Bulletin of the VSU. Series: System Analysis and Information Technologies*. 2010; 2:39-42. (In Russ)
23. V.D. Nogin Linear convolution of criteria in multi-criteria optimization. *Artificial intelligence and decision-making*. 2014; 4:73-83. (In Russ)
24. Garipov V.R. Multicriteria optimization of control systems for complex objects by methods of evolutionary search : Abstract. dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.13.01 Krasnoyarsk, 1999; 23. (In Russ)

Сведения об авторах:

Гусейнов Расул Вагидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации и безопасности движения; ragus05@mail.ru

Гусейнова Мадина Расуловна, специалист отдела международного сотрудничества и маркетинга; ragus05@mail.ru

Алиева Карина Абдурахмановна, аспирант кафедры организации и безопасности движения; ragus05@mail.ru

Information about the authors:

Rasul V. Guseynov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof., Department of Organization and Traffic Safety; ragus05@mail.ru

Madina R. Guseynova, Specialist of the Department of International Cooperation and Marketing; ragus05@mail.ru

Karina A. Aliyeva, Postgraduate Student of the Department of Organization and Traffic Safety; ragus05@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 28.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 19.05.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 19.05.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.056

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-76-82

Оригинальная статья /Original Paper

Разработка компьютерной имитационной модели трехфазного асинхронного электропривода с использованием регулируемого транзисторного редуктора

С.Ю. Еремочкин, А.А. Жуков, Д.В. Дорохов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, Россия

Резюме. Цель. Целью данной работы является исследование характеристик электропривода с использованием транзисторного редуктора асинхронного двигателя с помощью средств компьютерного имитационного моделирования. **Метод.** Исследование основано на методах имитационного моделирования. **Результат.** Определены значения угловой скорости при фиксированных значениях момента сопротивления для построения статической механической характеристики, а также значения коэффициента полезного действия и коэффициента мощности при увеличивающейся активной мощности на валу электродвигателя. Определены значения аналогичных величин для электродвигателя, питание которого осуществляется с помощью фазосдвигающего конденсатора. Определены зависимости коэффициента мощности и коэффициента полезного действия от активной мощности на валу электродвигателя. **Вывод.** Полученные в результате компьютерного имитационного моделирования данные свидетельствуют об эффективности предлагаемого транзисторного редуктора.

Ключевые слова: имитационное моделирование, компьютерное моделирование, программное обеспечение.

Для цитирования: С.Ю. Еремочкин, А.А. Жуков, Д.В. Дорохов. Разработка компьютерной имитационной модели трехфазного асинхронного электропривода с использованием регулируемого транзисторного редуктора. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2): 76-82. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-76-82

Development of a computer simulation model of a three-phase asynchronous electric drive using an adjustable transistor reducer

S.Yu. Eremochkin, A.A. Zhukov, D.V. Dorokhov

I.I. Polzunova Altai State Technical University,
46 Lenin Ave., Barnaul 656038, Russia

Abstract. Objective. The purpose of this work is to study the characteristics of an electric drive using a transistor reducer of an induction motor using computer simulation tools. **Method.** The study is based on simulation methods. **Result.** The values of the angular velocity are determined at fixed values of the moment of resistance for constructing a static mechanical characteristic, as well as the values of the efficiency and power factor with increasing active power on the motor shaft. The values of similar quantities for the electric motor, which is powered by a phase-shifting capacitor, are determined. The dependences of the power factor and efficiency on the active power on the motor shaft are determined. **Conclusion.** The data obtained as a result of computer simulation testify to the effectiveness of the proposed transistor reducer.

Keywords: simulation modeling, computer modeling, software.

For citation: S.Yu. Eremochkin, A.A. Zhukov, D.V. Dorokhov. Development of a computer simulation model of a three-phase asynchronous electric drive using an adjustable transistor reducer. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2): 76-82. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-76-82

Введение. Основопологающим элементом повышения качества труда и высокой производительности в сельском хозяйстве является повсеместная механизация и автоматизация производственных процессов. В настоящее время асинхронные электрические машины занимают лидирующее положение среди используемых средств автоматизации. Это обусловлено простотой передачи электрической энергии на большие расстояния и высокой надёжностью асинхронных двигателей. При этом главным условием для использования трехфазных асинхронных машин является наличие трехфазной питающей сети, что не всегда представляется возможным [1-5]. В таком случае, предлагается использование оригинального устройства – полупроводникового редуктора, позволяющего осуществлять питание трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети переменного тока [6, 7].

Постановка задачи. Данная работа посвящена вопросу разработки устройства питания трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети переменного тока. Целью данной работы является исследование характеристик электропривода с использованием транзисторного редуктора асинхронного двигателя с помощью средств компьютерного имитационного моделирования. В статье представлено решение сопутствующих задач, а именно: построения имитационной модели трехфазного асинхронного электродвигателя с подключением к однофазной сети переменного тока с помощью транзисторного редуктора, сравнительный анализ характеристик устройства, а также их количественная и качественная оценка.

Методы исследования. В понимании имитационного моделирования существует определенная специализация его задач, поэтому, одним из наиболее важных решений, которые приходится принимать исследователям или разработчикам моделей, является выбор программного обеспечения, в котором будет создана компьютерная имитационная модель. Выбор программного обеспечения для имитационного моделирования должен удовлетворять условиям простоты и гибкости для решения поставленных задач, в противном случае, результаты моделирования будут значительно отличаться от реальности, или его проведение окажется вовсе невозможным [8 - 10].

В табл. 1 представлены направления метода имитационного моделирования и наиболее соответствующее им программное обеспечение.

Таблица 1. Направления имитационного моделирования
Table 1. Directions of simulation modeling

Направление/Destination	Программное обеспечение/ Software
Моделирование динамических систем/ Simulation of dynamic systems	MATLAB, VisSim, SimInTech,
Дискретное-событийное моделирование/ Discrete-Event Simulation	GPSS, SYMULA, Arena
Агентное моделирование/ Agent based modeling	Net Logo, Swarm, Repast, ASCAPE
Системная динамика/ System Dynamics	VenSim, PowerSim, iSink

Для решения задач имитационного моделирования в области электротехники и электропривода необходимо использовать программное обеспечение, позволяющее выполнять динамическое моделирование технических систем [11 - 13]. Как было отмечено в табл. 1, таковым программным обеспечением является разработка российской компании «SimInTech».

Программное обеспечение SimInTech предназначено для подробного исследования и анализа динамических процессов в различных объектах управления. Разработка имитационных моделей выполняется в виде построения структурных схем логико-динамических систем, которые описываются во входо-выходных отношениях в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений или дифференциально-алгебраических уравнений. В качестве объекта имитационного моделирования был выбран электродвигатель марки «4АА50В4У3».

Согласно справочной информации, данный электродвигатель имеет следующие паспортные данные, необходимые для создания имитационной модели в среде SimInTech:

- мощность в номинальном режиме работы $P_n = 90$ Вт;
- номинальный момент $M_n = 0,62$ Нм;
- пусковой момент $M_{п} = 1,25$ Нм;
- критический (максимальный момент) $M_k = 1,36$ Нм;
- сопротивление ротора $r_r = 125$ Ом;
- сопротивление статора $r_s = 77,38$ Ом;
- индуктивность главной намагничивающей цепи $L = 2,27$ Гн ;
- индуктивность обмотки ротора $L_r = 3,222$ Гн;
- индуктивность обмотки статора $L_s = 3,033$ Гн;
- число пар полюсов $Z_p = 2$ [14].

На рис. 1 представлена принципиальная электрическая схема регулируемого транзисторного редуктора трехфазного асинхронного двигателя, питающегося от однофазной сети.

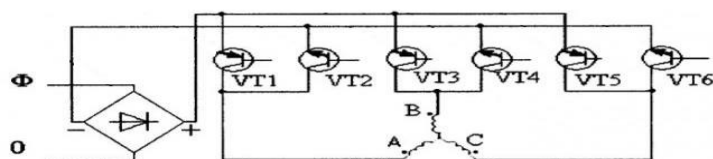


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема устройства
Fig. 1. Schematic electrical diagram of the device

Работа электродвигателя при использовании данного устройства основана на возможности создания вращающегося магнитного поля статора за счет использования векторно-алгоритмического метода управления. Базы транзисторов VT1-VT6 подключаются к системе управления, которая позволяет обеспечивать их открытие по заданному алгоритму, за счет чего происходит управление напряжением сети поступающего к каждой обмотке. Например, работа по одному из таких алгоритмов обеспечивает вращение вектора магнитной индукции кругового поля статора, подключенного к устройству, в соответствии с векторной диаграммой, изображенной на рис. 2, по часовой стрелке от вектора «I» до вектора «VI» [15].

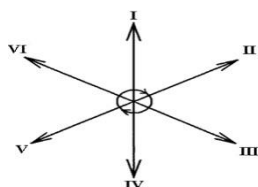


Рис. 2. Векторная диаграмма вращения вектора магнитного потока поля статора
Fig. 2. Vector diagram of the rotation of the magnetic flux vector of the stator field

Для выполнения моделирования была разработана базовая имитационная модель трехфазного асинхронного электродвигателя, которая позволяет получать характеристики исследуемого электропривода [16-18]. На рис. 3 представлена имитационная модель для прямого пуска асинхронного электродвигателя «4AA50B4Y3», созданная в среде «SimInTech».

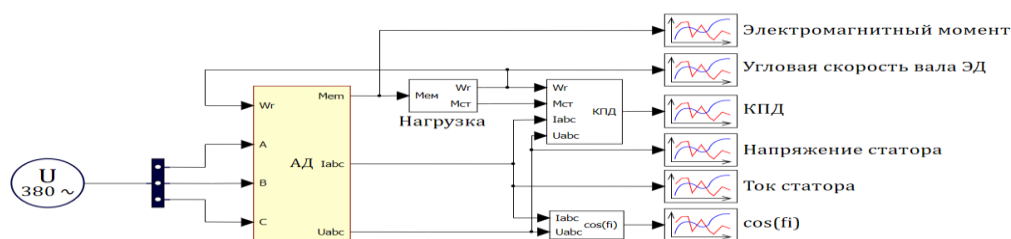


Рис. 3. Имитационная модель пуска асинхронного электродвигателя марки «4AA50B4Y3»
Fig. 3. Simulation model of starting an asynchronous electric motor of the brand "4AA50V4U3"

На рис. 4 представлена имитационная модель регулируемого транзисторного редуктора трехфазного асинхронного двигателя, питающегося от однофазной сети.

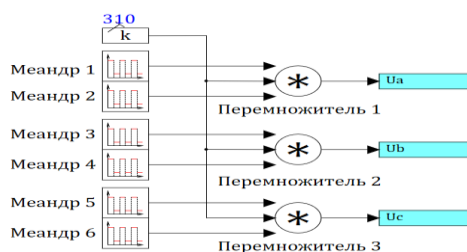


Рис. 4. Имитационная модель регулируемого транзисторного редуктора трехфазного асинхронного двигателя, питающегося от однофазной сети

Fig. 4. Simulation model of an adjustable transistor gearbox of a three-phase asynchronous motor powered by a single-phase network

На рис. 5 представлена имитационная модель, позволяющая моделировать работу трехфазного асинхронного электродвигателя с помощью регулируемого транзисторного редуктора трехфазного асинхронного двигателя.

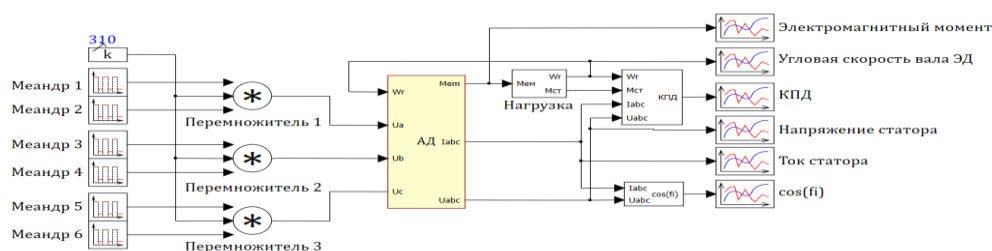


Рис. 5. Имитационная модель асинхронного электропривода при использовании регулируемого транзисторного редуктора трехфазного асинхронного двигателя

Fig. 5. Simulation model of an asynchronous electric drive using an adjustable transistor gearbox of a three-phase asynchronous motor

С помощью имитационной модели, представленной на рис. 5, были получены значения угловой скорости при фиксированных значениях момента сопротивления для построения статической механической характеристики (табл. 2), а также значения коэффициента полезного действия и коэффициента мощности при увеличивающейся активной мощности на валу электродвигателя (табл. 3) [19, 20].

Таблица 2. Точки для построения естественной статической механической характеристики

Table 2. Points for constructing a natural static mechanical characteristic

№ точки	1	2	3	4	5
М, Нм	0,62	0,67	0,62	0,4	0
ω , рад/с	0	70	98	127	151

Таблица 3. Точки для построения рабочих характеристик

Table 3. Points for building performance characteristics

№ точки	1	2	3	4	5
P_2 , Вт	0	20	40	57	60
η	0	0,15	0,31	0,45	0,42
$\cos \varphi$	0,05	0,14	0,27	0,41	0,4

Для сравнительного анализа результатов моделирования данного устройства, были получены значения аналогичных величин для электродвигателя, питание которого осуществляется с помощью фазосдвигающего конденсатора (табл. 4, табл. 5).

Таблица 4. Точки для построения естественной статической механической характеристики

Table 4. Points for constructing a natural static mechanical characteristic

№ точки	1	2	3	4	5
М, Нм	0,41	0,55	0,5	0,4	0
ω , рад/с	0	100	122	133	151

Таблица 5. Точки для построения рабочих характеристик

Table 5. Points for building performance characteristics

№ точки	1	2	3	4	5
P_2 , Вт	0	20	40	57	60
η	0	0,17	0,31	0,38	0,36
$\cos \varphi$	0,05	0,15	0,27	0,39	0,35

Обсуждение результатов. На основании значений, представленных в табл. 2 и табл. 4, были получены естественные статические механические характеристики для рассматриваемых электроприводов.

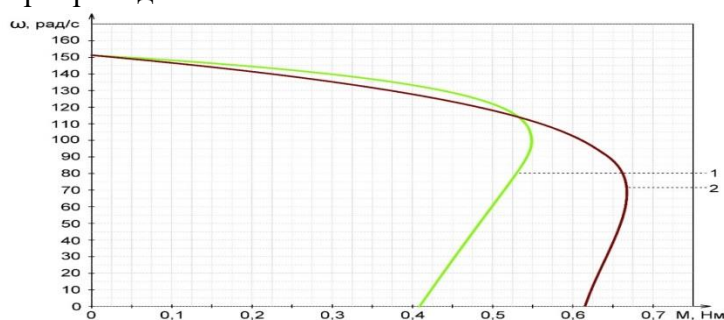


Рис. 6. Статические механические характеристики электродвигателей: 1 – при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора; 2 – при питании с помощью транзисторного редуктора

Fig. 6. Static mechanical characteristics of electric motors: 1 – when powered by a phase-shifting capacitor; 2 - when powered by a transistor reducer

Также, на основании значений, представленных в табл. 3 и табл. 5, для рассматриваемых электроприводов были получены зависимости коэффициента мощности (рис. 7) и коэффициента полезного действия (рис. 8) от активной мощности на валу электродвигателя.

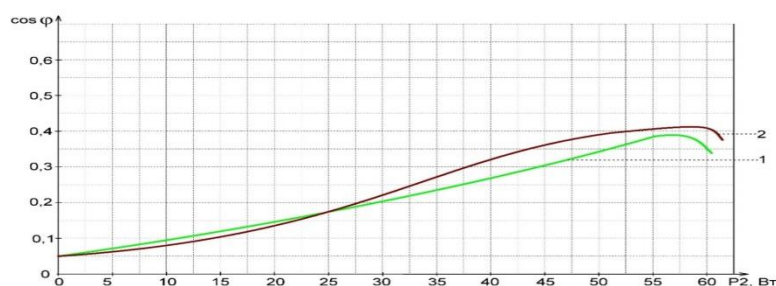


Рис. 7. Зависимость коэффициента мощности от активной мощности на валу электродвигателя: 1 – при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора; 2 – при питании с помощью транзисторного редуктора

Fig. 7. The dependence of the power factor on the active power on the motor shaft: 1 – when powered by a phase-shifting capacitor; 2 - when powered by a transistor reducer

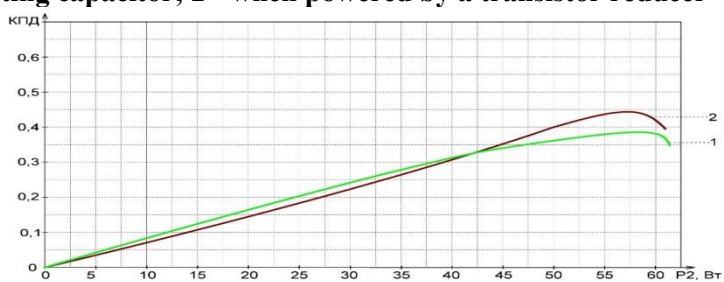


Рис. 8. Зависимость коэффициента полезного действия от активной мощности на валу электродвигателя: 1 – при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора; 2 – при питании с помощью транзисторного редуктора

Fig. 8. The dependence of the efficiency on the active power on the motor shaft: 1 – when powered by a phase-shifting capacitor; 2 - when powered by a transistor gearbox

В результате проведенного моделирования были получены следующие результаты: при питании электродвигателя с помощью транзисторного редуктора значение пускового момента составляет 0,62 Нм, значение критического момента составляет 0,67 Нм, значение номинального момента развивается при угловой скорости вращения вала электродвигателя 98 рад/с, максимальное значение коэффициента мощности (0,41) достигается при значении активной мощности на валу равной 57 Вт, максимальное значение коэффициента полезного действия (0,45) достигается при значении активной мощности на валу равной

57 Вт. В результате сравнения установлено, что при питании электродвигателя с помощью полупроводникового редуктора, величина пускового и критического момента составляет 151% и 121% от соответствующих величин при питании электродвигателя с помощью фазосдвигающего конденсатора, а значения коэффициента мощности и коэффициента полезного действия составляют 105% и 118% от соответствующих величин при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора.

Вывод. Полученные в результате компьютерного имитационного моделирования данные свидетельствуют об эффективности предлагаемого транзисторного редуктора. Разработанное устройство может с успехом быть использовано в электроприводе сельскохозяйственных электрифицированных машин с использованием трехфазного асинхронного двигателя при питании от однофазной сети переменного тока.

Библиографический список:

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учеб. пособие. М. : Академия, 2006. 272 с.
2. Бирюков С. Три фазы – без потери мощности // Радио. 2000. № 7. С. 37.
3. Макаров В. Г. Актуальные проблемы асинхронного электропривода и методы их решения // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 6. С. 79–93.
4. Макаров В. Г. Анализ современного состояния теории и практики асинхронного электропривода // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 6. С. 109–120.
5. Грязев М. В., Кузнецова О. А. Оптимальное управление асинхронным электроприводом // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 5. С. 212–220.
6. Халина Т. М., Стальная М. И. Исследование характеристик электропривода с преобразователем векторно-алгоритмического типа // Электротехника. 2018. № 12. С. 48–52.
7. Халина Т.М., Стальная М.И. К вопросу об эффективном использовании мобильных машин в АПК / Достижения науки и техники АПК. 2017. № 31 с. 76-80.
8. Цвенгер И. Г. Сравнительный анализ программных средств моделирования электромеханических процессов в электроприводе // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 12. С. 246–251.
9. Омельченко Е. Я., Харламов А. В. Моделирование на ЭВМ переходных процессов в асинхронном электроприводе // Электротехнические системы и комплексы. Магнитогорск. 1998. С. 36–42.
10. Куприяшкин А.Г. Основы моделирования систем : учеб. пособие. Норильск : НИИ, 2015. 135 с.
11. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты // Вестник УРО РАН. 2000. С. 254.
12. Козярук А. Е. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов // Санкт-Петербургская электротехническая компания. 2004. С. 127.
13. Денисов В. А., Третьякова М. Н., Бородин О. А. Математическое моделирование асинхронных электроприводов с векторным управлением // Электротехнические комплексы и системы. 2016. № 1. С. 5–11.
14. Кацман М.М. Электрические машины : учеб. пособие. М : Академия, 2013. 496 с.
15. Пат. 2402864 Российская федерация, МПК H02P 1/42, H02P 1/26, H02M 5/27. Регулируемый транзисторный редуктор трехфазного асинхронного двигателя, питающегося от однофазной сети / М. И. Стальная, А. П. Борисов, П. С. Черемисин, А. С. Фомин ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». № 2009129723/07 ; заявл. . 03.08.2009; опубл. 27.10.2010, Бюл. № 30.
16. Даниленко А. Ф., Змиевской В. А. Управление асинхронным электроприводом // Вестник Национального технического университета Харьковского политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2005. С. 48–51.
17. Акопов А.С. Имитационное моделирование : учеб. пособие. Люберцы : Юрайт, 2016. 389 с.
18. Библиотеки блоков [Электронный ресурс] // Справочная система SimInTech. URL: https://help.simintech.ru/#o_simintech/browsers.html / (дата обращения: 01.11.2022).
19. Khalina T.M., Eremochkin S. Yu., Dorokhov D. V. The development of an energy efficient electric drive for agricultural machines IX International Scientific and Practical Conference: Energy and Resource Saving XXI Century (ERS 2021), 10-12 November 2021. DOI: 10.1088/1757-899X/1211/1/012018.
20. Eremochkin, Sergey, Dorokhov Danil. Characteristics Research of the Semiconductor Frequency Converter in Matlab Simulink / XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE), 19-21 November 2021. DOI: 10.1109/APEIE52976.2021.9647561.

References:

1. Sokolovsky G.G. Alternating current electric drives with frequency control : textbook. manual. Academy; 2006; 272. (In Russ)

2. Biryukov S. Three phases – without loss of power . Radio. 2000; 7; 37. (In Russ)
3. Makarov V. G. Actual problems of asynchronous electric drive and methods of their solution. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2011; 6; 79-93. (In Russ)
4. Makarov V. G. Analysis of the current state of the theory and practice of asynchronous electric drive. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2011; 6; 109-120. (In Russ)
5. Gryazev M. V., Kuznetsova O. A. Optimal control of asynchronous electric drive. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2011; 5; 212-220. (In Russ)
6. Khalina T. M., Stalnaya M. I. Investigation of the characteristics of an electric drive with a vector-algorithmic type converter. *Electrical Engineering*. 2018; 12; 48-52. (In Russ)
7. Halina T.M., Stalnaya M.I. On the question of the effective use of mobile machines in the agro-industrial complex. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2017; 31; 76-80. (In Russ)
8. Tsvenger I. G. Comparative analysis of software tools for modeling electromechanical processes in an electric drive. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2014; 12; 246-251. (In Russ)
9. Omelchenko E. Ya., Kharlamov A.V. Computer simulation of transients in asynchronous electric drive. *Electrotechnical systems and complexes*. Magnitogorsk. 1998; 36-42. (In Russ)
10. Kupriyashkin A.G. Fundamentals of systems modeling : textbook. stipend. *Norilsk. Research Institute*; 2015; 135. (In Russ)
11. Schreiner R. T. Mathematical modeling of AC electric drives with semiconductor frequency converters *Bulletin of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2000; 254. (In Russ)
12. Kozyaruk A. E. Modern and promising algorithmic support of frequency-controlled electric drives . St. Petersburg Electrotechnical Company. 2004; 127. (In Russ)
13. Denisov V. A., Tretyakova M. N., Borodin O. A. Mathematical modeling of asynchronous electric drives with vector control. *Electrotechnical complexes and systems*. 2016; 1; 5-11. (In Russ)
14. Katsman M.M. Electric machines : textbook. stipend. Moscow. Academy; 2013; 496. (In Russ)
15. Pat. 2402864 Russian Federation, IPC N02R 1/42, N02R 1/26, N02M 5/27. Adjustable transistor reducer of a three-phase asynchronous motor powered by a single-phase network / M. I. Stalnaya, A. P. Borisov, P. S. Cheremisin, A. S. Fomin; applicant and patent holder of the Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. No. 2009129723/07 ; application. 03.08.2009; publ. 27.10.2010; (30). (In Russ)
16. Danilenko A. F., Zmievskey V. A. Asynchronous electric drive control. *Bulletin of the National Technical University of Kharkiv Polytechnic Institute. Series: Computer Science and Modeling*; 2005; 48-51. (In Russ)
17. Akopov A.S. Simulation modeling : textbook. stipend. Lyubertsy. Yurait; 2016; 389. (In Russ)
18. Block libraries [Electronic resource] SimInTech reference system. URL: https://help.simintech.ru/#o_simintech/browsers.html / (accessed: 01.11.2022). (In Russ)
19. Halina T.M., Eremochkin S. Yu., Dorokhov D. V. Development of an energy-efficient electric drive for agricultural machines IX International Scientific and Practical Conference: Energy and Resource conservation XXI century (ERS 2021), November 10-12, 2021 DOI: 10.1088/1757-899X/1211/1/012018. (In Russ)
20. Eremochkin Sergey, Dorokhov Danil. Investigation of the characteristics of a semiconductor frequency converter in Matlab Simulink / XV International Scientific and Technical Conference on Current Problems of Electronic Instrumentation (APEIE), November 19-21, 2021. DOI: 10.1109/APEIE52976.2021.9647561. (In Russ)

Сведения об авторах:

Еремочкин Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Электротехника и автоматизированный электропривод», S.Eremochkin@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6753-8305

Жуков Алексей Андреевич, магистрант, кафедра «Электротехника и автоматизированный электропривод»; zh_astu@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3098-8905

Дорохов Данил Валерьевич, магистрант, кафедра «Электротехника и автоматизированный электропривод»; danil.dorokhov.2000@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6564-5879

Information about authors:

Sergey Yu. Eremochkin, Cand.Sci.(Eng), Assoc. Prof., Department of Electrical Engineering and Automated Electric Drive, S.Eremochkin@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6753-8305

Aleksey A. Zhukov, Undergraduate, Department of Electrical Engineering and Automated Electric Drive; zh_astu@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3098-8905

Danil V. Dorokhov, Undergraduate, Department of Electrical Engineering and Automated Electric Drive; danil.dorokhov.2000@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6564-5879

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 18.03.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 20.04.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 20.04.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.056.57

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-83-89

Оригинальная статья /Original Paper

**Оценка уровня защищенности (безопасности функционирования)
автоматизированных систем на основе их уязвимостей,
формализованная при помощи теории систем массового обслуживания**

А.О. Ефимов, Е.А. Рогозин

Воронежский институт МВД России,
394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. Целью работы является разработка методологического аппарата, а также математической модели на основе теории систем массового обслуживания, предназначенных для оценки уровня защищенности автоматизированных систем. **Метод.** В качестве математического аппарата рассматривается теория систем массового обслуживания. В частности, проблема устранения уязвимостей рассматривалась как многоканальная СМО с неограниченной очередью. В качестве входящего потока заявок рассматривался поток обнаруженных уязвимостей автоматизированной системы. Система за счет возможности обнаружения множества уязвимостей за короткий срок обладает очередью из уязвимостей. В качестве каналов обслуживания рассматриваются специалисты информационной безопасности, ответственные за устранение уязвимостей в данной системе. Несмотря на возможность взаимопомощи между специалистами, в данной работе рассматривается ситуация, когда каждому сотруднику ставится задача по устранению конкретной уязвимости. Выходящим потоком заявок является поток устраненных уязвимостей автоматизированной системы. **Результат.** Разработан методологический и математический аппарат оценки уровня защищенности автоматизированных систем на основе их уязвимостей и процесса устранения уязвимостей. В качестве основы применялась теория систем массового обслуживания. Дана оценка уровней защищенности в зависимости от вероятности возникновения очереди из не устраненных уязвимостей. **Вывод.** Разработанная методика может применяться в целях оценки уровня защищенности автоматизированных систем. А также позволяет производить оценку достаточности ресурсов, затрачиваемых на устранение уязвимостей конкретной автоматизированной системы.

Ключевые слова: автоматизированная система, защита информации, система массового обслуживания, оценка защищенности, уязвимость

Для цитирования: А.О. Ефимов, Е.А. Рогозин. Оценка уровня защищенности (безопасности функционирования) автоматизированных систем на основе их уязвимостей, формализованная при помощи теории систем массового обслуживания. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):83-89. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-83-89

**Assessment of the level of security (safety of functioning) of automated systems based
on their vulnerabilities, formalized using the theory of queuing systems**

A.O. Efimov, E.A. Rogozin

Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
53 Patriotov Str., Voronezh 394065, Russia

Abstract. Objective. The aim of the work is to develop a methodological apparatus, as well as a mathematical model based on the theory of queuing systems designed to assess the level of security of automated systems. **Method.** The theory of queuing systems is considered as a mathematical apparatus. In particular, the problem of eliminating vulnerabilities was considered as a multi-channel CFR with an unlimited queue. The flow of detected

vulnerabilities of the automated system was considered as an incoming flow of applications. The system, due to the possibility of detecting many vulnerabilities in a short time, has a queue of vulnerabilities. Information security specialists responsible for eliminating vulnerabilities in this system are considered as service channels. Despite the possibility of mutual assistance between specialists, this paper considers a situation where each employee is tasked with eliminating a specific vulnerability. The outgoing flow of applications is the flow of eliminated vulnerabilities of the automated system. **Result.** A methodological and mathematical apparatus for assessing the level of security of automated systems based on their vulnerabilities and the process of eliminating vulnerabilities has been developed. The theory of queuing systems was used as a basis. The assessment of security levels is given depending on the probability of a queue of unresolved vulnerabilities. **Conclusion.** The developed methodology can be used to assess the level of security of automated systems. And also allows you to assess the sufficiency of resources spent on eliminating vulnerabilities of a specific automated system.

Keywords: automated system, information security, queuing system, security assessment, vulnerability

For citation: A.O. Efimov, E.A. Rogozin. Assessment of the level of security (operational safety) of automated systems based on their vulnerabilities, formalized using the theory of queuing systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):83-89. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-83-89

Введение. В настоящее время актуальными являются вопросы оценки защищенности автоматизированных систем. Благодаря огромному множеству вариаций средств вычислительной техники и программного обеспечения данных средств, может расходоваться огромное число ресурсов для поддержания автоматизированных систем в защищенном состоянии.

Ряд вопросов уже ранее рассматривался в работе К.А. Щеглова, А. Ю. Щеглова «Защита атак на уязвимости приложений. Модели контроля доступа» опубликованной во втором номере журнала «Вопросы защиты информации» в 2013 году [1]. Авторы данной работы представили модель оценки вероятности наличия не устранённых уязвимостей в системе, а также вероятность нахождения системы в безопасном состоянии. В качестве математического базиса исследования была использована теория системы массового обслуживания. Если говорить конкретнее, рассматривалась модель системы с бесконечным числом обслуживающих приборов – что, по мнению авторов, являлось изначальным допущением [1]. То есть, рассматривалась ситуация, когда уязвимости в системе устранялись по мере их обнаружения, и наличия способа нейтрализации обнаруженной уязвимости. Несмотря на, безусловно, достигнутый высокий результат, допущение, осуществленное в работе, к сожалению, позволяет рассматривать только «идеальную» систему, и не позволяет проводить полноценную фактическую оценку защищенности с точки зрения наличия уязвимостей.

Данная работа выполнена с учетом результатов вышеприведенного исследования, для построения модели с меньшей неопределенностью исходных данных.

Постановка задачи. Необходимо осуществить построение модели оценки защищенности автоматизированной системы на основе уязвимости используемого программного обеспечения автоматизированной системы.

В качестве математического аппарата рассматривается теория систем массового обслуживания (СМО). В частности, проблема устранения уязвимостей рассматривалась как многоканальная СМО с неограниченной очередью [2-5].

В качестве входящего потока заявок рассматривался поток обнаруженных уязвимостей автоматизированной системы. Система за счет возможности обнаружения множества уязвимостей за короткий срок обладает очередью из уязвимостей.

В качестве каналов обслуживания рассматриваются специалисты информационной

безопасности, ответственные за устранение уязвимостей в данной системе. Несмотря на возможность взаимопомощи между специалистами, в данной работе рассматривается ситуация, когда каждому сотруднику ставится задача по устранению конкретной уязвимости, и он может заниматься только ей.

Выходящим потоком заявок является поток устраненных уязвимостей автоматизированной системы. Заявки обслуживаются в соответствии с приоритетом, а именно в зависимости от оценки критичности уязвимости, рассчитанной по методике CVSS, и методике, представленной ФСТЭК России [6-7]. Наиболее критичные уязвимости обслуживаются в первую очередь.

Стоит отдельно отметить, что в качестве предельно допустимого времени обслуживания заявок принимаются временные значения, указанные в п. 3.2 «Методики оценки уровня критичности уязвимостей программных, программно-аппаратных средств» ФСТЭК России, в части сроков принятия мер по устранению уязвимостей различного уровня критичности [7].

При наличии одной или нескольких не устранённых заявок в системе без превышения вышеуказанных временных значений, полагается, что система функционирует условно безопасно. При наличии одной или нескольких не устраненных уязвимостей, с превышением указанных временных значений, полагается, что система находится под угрозой, и эксплуатация системы должна быть прекращена, до устранения всех заявок с превышением времени нахождения в системе.

Поток заявок случайный, информация об обнаружении новых уязвимостей может быть получена в любое время работы системы.

Рассматриваемая система представлена ниже, в виде структурной схемы на рис. 1:

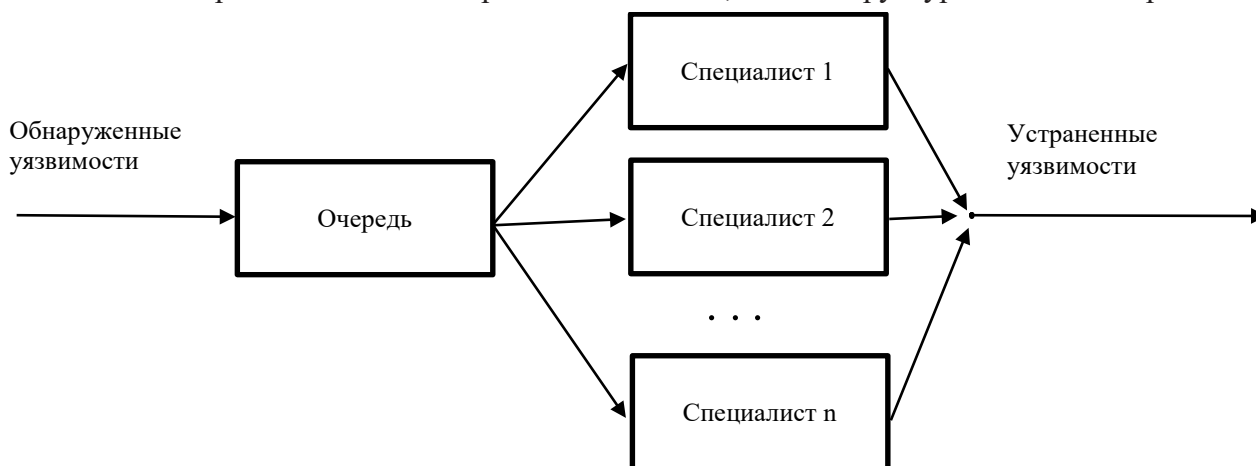


Рис. 1. Структурная схема системы устранения уязвимостей

Fig. 1. A block diagram of the vulnerability elimination system

Отдельно стоит отметить, что число специалистов всегда конечное, а очередь без ограничений по размерам. Устранение уязвимостей может осуществляться различными способами, не оказывающими серьёзного влияния на приведенную СМО.

Методы исследования. Так как необходимо устранение любых уязвимостей, обнаруженных в автоматизированной системе, то берется во внимание тот факт, что по своей сути на очереди нет никаких ограничений. Длина очереди и время нахождения заявок в очереди не оказывают влияние на функционирование СМО. Указанные ранее, временные промежутки, данные на устранение уязвимостей отслеживаются специалистами, и оказывают логическое влияние на уровень защищенности автоматизированной системы.

Как правило, состояния системы нумеруются по числу занятых каналов и числу заявок, находящихся в очереди, т. е. по числу заявок, находящихся в системе [2-5]:

- S_0 — система свободна, т. е. каналы не заняты, очереди нет;
- S_1 — один канал занят, обслуживается одна заявка, очереди нет;
- S_2 — заняты два канала, обслуживаются две заявки, очереди нет;
- S_3 — три канала заняты, система обслуживает три заявки, очереди нет; ...;

S_n — все n каналов заняты обслуживанием заявок, очереди нет;
 S_{n+1} — все n каналов заняты обслуживанием, в очереди стоит одна заявка; ...;
 S_{n+r} — n каналов заняты обслуживанием, в очереди стоят r заявок; и т.д.

Так как очередь в нашей системе не имеет ограничений, то число состояний стремится к бесконечности, а переход между состояниями происходит с постоянной интенсивностью (интенсивностью заявок) [2-5].

Размеченный граф системы будет выглядеть следующим образом [2-5]:

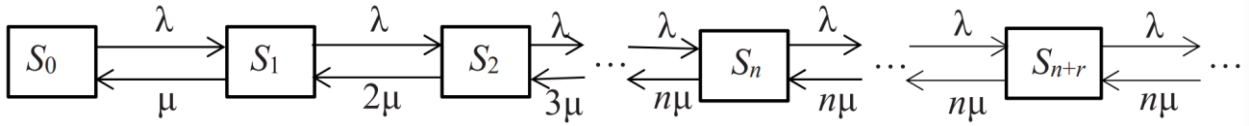


Рис. 2. Размеченный граф системы
 Fig. 2. The marked-up graph of the system

Следующая формула обозначает интенсивность обслуживания заявок (загрузки каналов обслуживания).

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda * \bar{t}_{об} \quad (1)$$

где, λ – интенсивность потока уязвимостей в ед. времени, μ – интенсивность потока обслуживаний, $\bar{t}_{об}$ – средняя продолжительность устранения уязвимости.

В целях того, чтобы очередь не возрастала до бесконечности, необходимо соблюдение следующего условия: число исполнителей заявок (специалистов) больше, чем число поступающих заявок:

$$\frac{\rho}{n} < 1 \quad (2)$$

где, ρ – интенсивность обслуживания заявок, n – число каналов СМО.

Определим предельную вероятность того, что система свободна, т.е. в системе отсутствуют не устранённые уязвимости:

$$p_0 = (1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \frac{\rho^3}{3!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-p)})^{-1} \quad (3)$$

Так как отказ от обслуживания исполнителем невозможен, то получаем [2]:

$$P_{отк} = 0 \quad (4)$$

Вероятность возникновения очереди из числа не устраненных уязвимостей будет определяться по следующей формуле:

$$P_{оч} = \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-p)} p_0 \quad (5)$$

При этом относительная пропускная способность системы равна стопроцентному обслуживанию заявок. Потерь среди поступающих заявок нет. Абсолютная пропускная способность будет равна интенсивности входящего потока заявок. Логично, что интенсивность исходящего потока будет равна интенсивности входящего потока [2-5].

Коэффициент загрузки специалиста отражает среднюю долю времени, в течение которого каждый специалист занят устранением уязвимости. Также он показывает вероятность того, с какой вероятностью выбранный специалист окажется занятым устранением уязвимости в данный момент времени [2]:

$$P_{зан} = k_{заг} = \frac{\rho}{n} \quad (6)$$

Среднее число уязвимостей, ожидающих устранения, будет определяться следующей формулой:

$$L_{оч} = \frac{n}{n-p} P_{оч} \quad (7)$$

Число устраняемых в настоящий момент уязвимостей будет равно числу специалистов (каналов обслуживания).

Среднее число уязвимостей в системе будет определяться как сумма среднего числа устраняемых уязвимостей и среднее число уязвимостей в очереди:

$$L_{сист} = P_{оч} + \rho \quad (8)$$

Определим среднее время устранения уязвимости специалистом:

$$T_{об} = \frac{L_{об}}{\lambda} = \frac{\rho}{\lambda} = \frac{1}{\mu} \quad (9)$$

То есть для данного типа систем, среднее время устранения уязвимости по отношению ко всем обнаруженным уязвимостям равно среднему времени устранения одной уязвимости.

Среднее время пребывания уязвимости в очереди на устранение:

$$T_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda} \quad (10)$$

Среднее время пребывания уязвимости в системе:

$$T_{сист} = \frac{L_{сист}}{\lambda} \quad (11)$$

Именно этот показатель и указывает на защищенность в целом, и определяет безопасность функционирования автоматизированной системы. В случае если обнаруженные уязвимости не находятся в автоматизированной системе (как в СМО) более 24 часов, то можно сделать вывод об условно безопасном функционировании автоматизированной системы вне зависимости от критичности обнаруживаемых уязвимостей [7].

В дополнение к этому может применяться формула (5), по которой можно определить вероятность наличия очереди из не устранённых уязвимостей. Что даст объективную количественную оценку защищенности автоматизированной системы с точки зрения уязвимостей. На основе вероятности наличия очереди, а также превышения времени устранения уязвимостей, можно определить несколько уровней защищенности. Значения $P_{оч}$, будут отражать уровень защищенности АС в зависимости от конфигурации системы устранения уязвимостей и уязвимости компонент. Для перевода количественной оценки в качественную может применяться следующая таблица значений:

Таблица 1. Соответствие оценок защищенности

Table 1. Compliance with security assessments

№	Количественная оценка Quantification	Оценка уровня защищенности Evaluation of the level of security
1.	$0,7 \leq P_{оч} \leq 1,0$	Низкий/ Short
2.	$0,45 \leq P_{оч} < 0,7$	Средний/ Average
3.	$0,15 \leq P_{оч} < 0,45$	Выше среднего/ Above average
4.	$P_{оч} < 0,15$	Высокий/ High

Примечание: В случае превышения времени, данного на устранение уязвимости различной критичности, дается оценка «низкий уровень защищенности».

Обсуждение результатов. Применение данной математической модели позволяет производить оценку состояния защищенности автоматизированной системы, как со стороны числа специалистов защиты информации с получением необходимого уровня защищенности, так и от необходимого уровня защищенности в сторону выбора числа необходимого числа специалистов.

Под устранением уязвимости в данной работе понимается как устранение путем обновления программных средств, так и принятие достаточных компенсирующих мер [7].

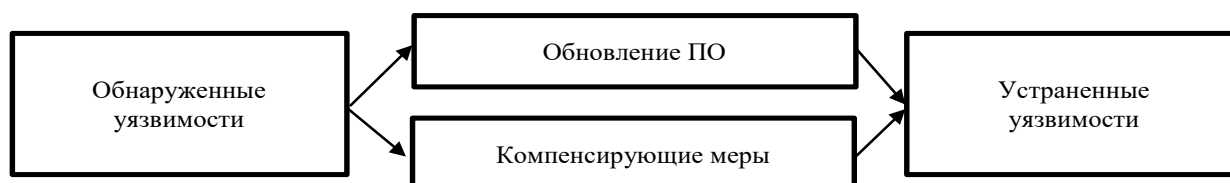


Рис. 3. Схема устранения уязвимостей

Fig. 3. Vulnerability elimination scheme

Недостатком разработанной методики является рассмотрение системы без явной классификации уязвимостей по степени критичности. Предусматривается, что наиболее критичные уязвимости устраняются в первую очередь. Под временем нахождения (нали-

чия) уязвимости в системе, подразумевается временной промежуток с момента обнаружения уязвимости в данной конкретной автоматизированной системе, либо публикация в базах данных уязвимостей об уязвимости конкретного применяемого программного продукта, до момента устранения этих уязвимостей, либо принятия достаточных компенсирующих мер.

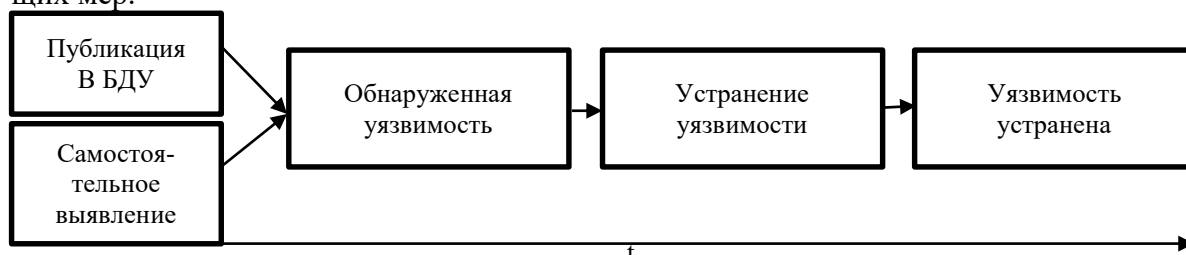


Рис. 4. Схема времени нахождения уязвимости в системе

Fig. 4. The scheme of the time of the vulnerability in the system

Вывод. Разработанная методика может применяться в целях оценки уровня защищенности автоматизированных систем, а также позволяет производить оценку достаточности ресурсов затрачиваемых на устранение уязвимостей конкретной автоматизированной системы. Одним из ключевых аспектов оценки остаются временные интервалы, в рамках которых должны устраняться уязвимости различной критичности.

Библиографический список:

1. Щеглов, К. А. Защита от атак на уязвимости приложений. Модели контроля доступа / К. А. Щеглов, А. Ю. Щеглов // Вопросы защиты информации. – 2013. – № 2(101). – С. 36-43. – EDN QAVHRX.
2. Плескунов, М. А. Теория массового обслуживания: Учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по УГН 01.00.00 «Математика и механика» / М. А. Плескунов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2022. – 264 с. – ISBN 978-5-7996-3539-8. – EDN RSQUKA.
3. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – Москва: Советское радио, 1972. – 552 с.
4. Вентцель, Е.С. Исследование операций: Задачи, принципы, методология: учеб. пособие / Е.С. Вентцель. – 5-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2010. – 192 с.
5. Саати, Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т.Л. Саати. – Москва: Советское радио, 1965. – 510 с.
6. Common Vulnerability Scoring System v3.0: Specification Document. FIRST Org. Inc, 2015. -21 p. (<https://www.first.org/cvss/specification-document>).
7. Методика оценки уровня критичности уязвимостей программных, программно-аппаратных средств: утв. ФСТЭК России 28 октября 2022 г.: Методический документ ФСТЭК России от 28.02.2022 г.
8. Коноваленко С.А., Королев И.Д. Выявление уязвимостей информационных систем посредством комбинированного метода анализа параметрических данных, определяемых системами мониторинга вычислительных сетей. Альманах современной науки и образования. 2016, № 11(113), с. 60–66. – EDN XEEDXH.
9. Сердечный А.Л., Тарелкин М.А., Ломов А.А., Симонов К.В. Карты источников, содержащих сведения об уязвимостях программного обеспечения. Информация и безопасность. 2019, т. 22, № 3, с. 411–422. – EDN ZOUMGN.
10. Федорченк А.В., Чечулин А.А., Котенко И.В. Исследование открытых баз уязвимостей и оценка возможности их применения в системах анализа защищенности компьютерных сетей. Информационно-управляющие системы. 2014, № 5(72), с. 72–79. – EDN SXXXKH.
11. Сердечный А.Л., Герасимов И.В., Макаров О.Ю и др. Технология выявления сведений об уязвимостях сторонних компонентов программного обеспечения с открытым исходным кодом. Информация и безопасность. 2020, т. 23, № 3, с. 347–364. DOI: <http://dx.doi.org/10.36622/VSTU.2020.23.3.003>. – EDN PYXOUT.
12. Аветисян А.И., Белеванцев А.А., Чукляев И.И. Технологии статического и динамического анализа уязвимостей программного обеспечения. Вопросы кибербезопасности. 2014, № 3(4), с. 20–28. – EDN SSYPXV.
13. Russell R. et al. Automated Vulnerability Detection in Source Code Using Deep Representation Learning. 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), Orlando, FL, USA. 2018, p. 757–762. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICMLA.2018.00120>.

14. Wang T., Wei T., Gu G. and Zou W. TaintScope: A Checksum-Aware Directed Fuzzing Tool for Automatic Software Vulnerability Detection. IEEE Symposium on Security and Privacy, Oakland, CA, USA. 2010, p. 497–512. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SP.2010.37>.
15. Lin G., Wen S., Han Q. -L., Zhang J. and Xiang Y. Software Vulnerability Detection Using Deep Neural Networks: A Survey in Proceedings of the IEEE. Oct. 2020, vol. 108, no. 10, p. 1825–1848. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2020.2993293>.

References:

1. Shcheglov, K. A. Protection against attacks on application vulnerabilities. Access control models / K. A. Shcheglov, A. Yu. Shcheglov. *Questions of information protection*. 2013; 2(101):36-43. (In Russ)
2. Pleskunov, M. A. Theory of queuing: A textbook for university students studying at the USN 01.00.00 "Mathematics and Mechanics"; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. – Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2022; 264. – ISBN 978-5-7996-3539-8.
3. Wentzel, E.S. Operations research / E.S. Wentzel. Moscow: Soviet Radio, 1972; 552 .
4. Wentzel, E.S. Operations research: Tasks, principles, methodology: textbook. manual / E.S. Wentzel. – 5th ed., revised. Moscow: KnoRus, 2010; 192.
5. Saati T.L. Elements of queuing theory and its application. Moscow: Sovetskoe radio, 1965; 510.
6. Common Vulnerability Scoring System v3.0: Specification Document. FIRST Org. Inc, 2015; 21. (<https://www.first.org/cvss/specification-document>).
7. Methodology for assessing the level of criticality of vulnerabilities of software, hardware and software: approved by the FSTEC of Russia on October 28, 2022: Methodological Document of the FSTEC of Russia dated 02/28/2022.
8. Konovalenko S.A., Korolev I.D. Identification of vulnerabilities of information systems by means of a combined method of analysis of parametric data determined by monitoring systems of computer networks, *AI'manah sovremennoj nauki i obrazovaniya*. 2016; 11(113): 60–66 (in Russ)
9. Serdechnyj A.L., Tarelkin M.A., Lomov A.A., Simonov K.V. Maps of sources containing information about software vulnerabilities. *Informaciya i bezopasnost'*. 2019; 22(3): 411–422 (in Russ).
10. Fedorchenko A.V., CHEchulin A.A., Kotenko I.V. Research of open databases of vulnerabilities and assessment of the possibility of their application in systems of security analysis of computer networks. *Informacionno-upravlyayushchie sistemy*. 2014; 5(72):72–79 (in Russ).
11. Serdechnyj A.L., Gerasimov I.V., Makarov O.YU. i dr. Technology for identifying information about vulnerabilities of third-party components of open source software. *Informaciya i bezopasnost'*. 2020; 23(3):347–364 (in Russ.).
12. Avetisyan A.I., Belevancev A.A., Chuklyaev I.I. Technologies of static and dynamic analysis of software vulnerabilities. *Voprosy kiberbezopasnosti*. 2014; 3(4): 20–28 (in Russ).
13. Russell R. et al. Automated Vulnerability Detection in Source Code Using Deep Representation Learning. 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), Orlando, FL, USA. 2018; 757–762. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICMLA.2018.00120>.
14. Wang T., Wei T., Gu G. and Zou W. TaintScope: A Checksum-Aware Directed Fuzzing Tool for Automatic Software Vulnerability Detection. IEEE Symposium on Security and Privacy, Oakland, CA, USA. 2010;. 497–512. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SP.2010.37>.
15. Lin G., Wen S., Han Q. -L., Zhang J. and Xiang Y. Software Vulnerability Detection Using Deep Neural Networks: A Survey in Proceedings of the IEEE. Oct. 2020;108(10):1825–1848. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2020.2993293>.

Сведения об авторах:

Ефимов Алексей Олегович, адъюнкт очной формы обучения; ea.aleksei@yandex.ru

Рогозин Евгений Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; evgenirogozin@yandex.ru

Information about authors:

Aleksey O. Yefimov, Full-time adjunct; ea.aleksei@yandex.ru

Evgeny A. Rogozin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof., Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; evgenirogozin@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 28.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 20.05.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 20.05.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.421

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-90-97

Оригинальная статья /Original Paper

**Применение модифицированных генетических алгоритмов для решения
эволюционных задач теории расписаний**

Д.С. Захаров

Волгоградский государственный технический университет,
400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28, Россия

Резюме. Цель. В статье рассмотрены способы модификации генетических алгоритмов, применяемых для автоматизации процесса составления расписаний. **Метод.** В работе использованы методы эволюционных вычислений, теории расписаний, генетические алгоритмы (ГА), разработанный программный продукт. **Результат.** Установлено, что построение начальной популяции генетических алгоритмов для решения задачи является крайне важным критерием схождения результата. Установлено, что двухэтапная мутация также позволяет корректировать особи в нужном направлении, тем самым сокращая время выполнения работы генетических алгоритмов. **Вывод.** Исследования показывают, что разработанные способы модификации генетических алгоритмов могут сильно влиять на производительность программного обеспечения при автоматизированном составлении расписаний учебных заведений. Разработана схема работы ГА, представлены и апробированы способы модификации генетических алгоритмов.

Ключевые слова: многоуровневый ВУЗ, составление расписаний, генетический алгоритм

Для цитирования: Д.С. Захаров. Применение модифицированных генетических алгоритмов для решения эволюционных задач теории расписаний. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):90-97. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-90-97

**Application of modified genetic algorithms for solving evolutionary problems of the theory
of schedules**

D.S. Zakharov

Volgograd State Technical University,
28, Lenin Ave., Volgograd 400005, Russia

Abstract. Objective. The article proposes ways to modify genetic algorithms used to automate the process of scheduling. **Method.** The methods of evolutionary calculations, the theory of schedules, genetic algorithms, the developed software product are used in the work. **Result.** It is established that the construction of the initial GA population for solving the problem is an extremely important criterion for the convergence of the result. It has been established that the two-stage mutation also allows individuals to be adjusted in the right direction, thereby reducing the time required to perform GA work. **Conclusion.** Studies show that the developed methods of GA modification can greatly affect the performance of software in the automated scheduling of educational institutions, a scheme of GA operation has been developed, methods of GA modification have been presented and tested.

Keywords: multilevel university, scheduling, genetic algorithm

For citation: D.S. Zakharov. Application of modified genetic algorithms for solving evolutionary problems of the theory of schedules. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50 (2): 90-97. DOI: 10.21822 /2073-6185-2023-50-2-90-97

Введение. Основной задачей системы образования при ведении учебного процесса является грамотное и точное составление расписания занятий. При формировании расписания учебных занятий многоуровневого образовательного учреждения имеется ряд ограничений и тонкостей, что приводит к большим трудовым, временным и материальным затратам. В учебном заведении высшего образования Себряковский филиал ВолгГТУ большое количество преподавателей (около 90%) работают по внешнему или внутреннему совместительству на разных уровнях образования, поэтому очень важно, чтобы их график по основному месту работы не пересекался с графиком работы по совместительству. Также следует помнить о выполнении правил организации учебного процесса и обязательных санитарных нормах.

Постановка задачи. Составление рабочих расписаний в любой сфере деятельности невероятно сложная и нетривиальная задача. Каждый учебный год методисты учебных заведений тратят до нескольких недель на составление только ориентировочного расписания, которое затем подлежит определенной доработке во время учебного процесса. Сложности также добавляет тот факт, что некоторые учебные заведения стараются предоставлять более широкий спектр услуг, в котором задействованы преподаватели, например дополнительное образование, всевозможные кружки для учащихся, и прочее. Также существенным фактором возрастающей сложности составления расписания может стать многоуровневость учебного заведения.

Необходимо подчеркнуть, что составление расписания занятий в многоуровневом ВУЗе задача невероятно трудная, т.к. в одном учебном заведении обычно общий штат сотрудников, преподаватели которого в меньшей или большей степени задействованы на каждом уровне образования. Расписание в таком ВУЗе составляется одновременно и с учетом каждого уровня профессиональной подготовки.

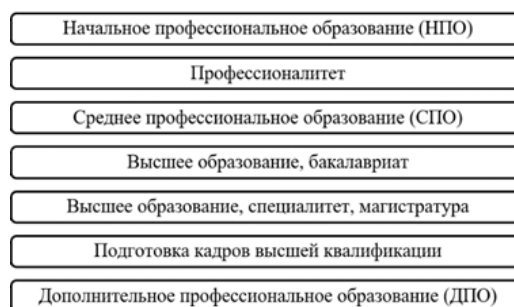


Рис. 1. Уровни профессионального образования

Fig. 1. Vocational education levels

В большинстве своем высшие учебные заведения не реализуют программы более низких уровней профессионального обучения. В Себряковском филиале ВолгГТУ многоуровневое профессиональное обучение реализуется по программам и направлениям начального профессионального обучения - 2 специальности; среднего профессионального - 5 специальностей; 5 направлений бакалавриата, 2 направления магистратуры и порядка 22 программ дополнительного профессионального образования. Итого в нашем учебном заведении реализуется 5 уровней профессионального обучения.

Также в 2022 году в России стартовала новая программа для специальностей среднего профессионального образования «Профессионалитет». «Профессионалитет» в скором времени может стать новым уровнем среднего профессионального образования, либо заменить его. Профессионалитет — это один из этапов проводимой Министерством Просвещения модернизации системы среднего профессионального образования.

Система, при которой студенты на специальностях среднего профессионального обучения обучаются четыре года, признается устаревшей, вместо этого студенты станут обучаться два-три года в зависимости от выбранного направления деятельности. Благодаря такой интенсификации образования и внедрению современных информационных технологий в учебные заведения нужные профессиональные навыки студента будут осваиваться в более

короткие сроки, а также подготовка специалистов станет менее затратной.

В своем послании Федеральному Собранию в 2023 году президент Российской Федерации В.В. Путин подчеркнул важность проекта «Профессионалитет», а также заявил, что данная программа будет расширена в ближайшем будущем [1].

Такая многоуровневость ВУЗа обусловлена необходимостью непрерывного профессионального образования в рамках одного заведения, которое обеспечивает высокое качество профессиональной подготовки, сокращение расходов на содержание инфраструктуры и студентов, а также позволяет более гибко подходить к решению актуальных задач развития экономики.

Многоуровневое профессиональное образование осуществляется в одном учебном заведении, поэтому имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- сокращаются расходы на студента, практически в два раза;
- есть возможность сократить сроки обучения за счет переаттестации некоторых пройденных дисциплин, при условии смежности специальности или направления подготовки;
- сокращается влияние демографии на набор абитуриентов, т.к. контингент на более высоких уровнях компенсируется на 20-25% за счет своих же выпускников по предыдущим этапам;
- оптимально используются имеющиеся в учебном заведении кадровые, учебно-лабораторные, методические и финансовые ресурсы.

Далее остро встает вопрос о непосредственной организации учебного процесса в многоуровневом высшем учебном заведении. Данный процесс основывается на грамотном составлении расписания занятий, которое должно связывать такие элементы информационной системы ВУЗа, как: общие службы, факультеты, отделения, кафедры, материально техническое обеспечение, федеральные и региональные стандарты, специальности, учебные планы, преподаватели, студенты, и прочие.

Ежегодно заведующие выпускающими кафедрами совместно с директором института (деканом факультета) составляют учебный план специальности/направления. Учебный план подписывают заведующий кафедрой и директор института (декан), проверяет начальник учебного отдела вуза, визирует проректор по учебно-методической работе, затем утверждает ректор [2, С. 92].

Методы исследования. Процесс разработки расписания и его последующая оптимизация является многокритериальным и многовариативным. Использовать точные математические методы не представляется возможным. В данном случае необходимо использовать стохастические (рандомизированные) методы оптимизации решения задач в теории расписаний.

Стохастические эвристические методы позволяют отыскать довольно близкие решения за относительно небольшое время. При этом большинство стохастических методов требуют тонкой настройки гиперпараметров и специальной модификации под конкретные задачи, что обеспечивает повышенную эффективность и быстродействие работ алгоритма.

Стоит упомянуть и простые стохастические методы случайного поиска, однако, по причине огромного количества ограничений и вариантов решения задачи использовать их не представляется возможности. Оптимальное расписание может быть найдено путем перебора конечного множества возможных вариантов. Однако количество возможных вариантов в любом случае окажется недопустимо огромным, по причине большой размерности задачи. К решению данной проблемы как ничто лучше подходит генетический алгоритм.

Генетические алгоритмы — это адаптивные методы поиска, которые в последнее время используются для решения задач оптимизации. В них используются как аналог механизма генетического наследования, так и аналог естественного отбора. При этом сохраняется биологическая терминология в упрощенном виде и основные понятия линейной алгебры [3, с. 6]. Основные принципы генетического алгоритма были сформулированы Джоном

Холландом в его книге «Адаптация в естественных и искусственных системах» в 1975 году и хорошо описаны во многих работах [4].

Генетические алгоритмы активно применяются в робототехнике, обучении нейронных сетей, составлении расписаний, оптимизации запросов к базам данных, поиске оптимальных маршрутов и т.д. Такие алгоритмы могут стать хорошим помощником в бизнесе, сократить убытки и увеличить прибыль за счёт выбора оптимальных стратегий [5]. К основным отличиям и преимуществам генетического алгоритма в сравнении с классическими методами следует отнести:

- генетический алгоритм работает с кодами, в которых представлен набор параметров, напрямую зависящих от аргументов целевой функции;
- в процессе поиска генетический алгоритм использует несколько точек поискового пространства (процесс распараллеливается), а не переходит от точки к точке, как это происходит в традиционных методах, т.е. генетический алгоритм оперирует со всей совокупностью допустимых решений;
- генетический алгоритм в процессе работы не использует никакой дополнительной информации, что повышает скорость его работы;
- генетический алгоритм использует как вероятностные правила для порождения новых точек поиска, так и детерминированные правила для перехода от одних точек к другим и др. [6].

Генетический алгоритм основан на итерационном подходе: алгоритм выполняется до тех пор, пока не выполнено условие останова, например, найдено подходящее значение функции пригодности, либо исчерпано количество поколений, заданное до начала работы алгоритма. Простой генетический алгоритм случайным образом генерирует начальную популяцию структур. Условия работы ГА задаются на этапе установки гиперпараметров [7-20]. К недостаткам генетических алгоритмов можно отнести следующее:

- оптимальное решение не гарантировано;
- сложность определения критериев отбора хромосом;
- высокая вычислительная ресурсоемкость генетических алгоритмов (устраняется путем размещения основной части вычислений в облачные сервисы);
- низкая эффективность на последних этапах работы алгоритма.

При составлении расписания существуют несколько типов требований и ограничений:

Обязательные требования:

- полное выполнение учебного плана;
- отсутствие пересечений дисциплин, преподавателей и аудиторий одно время;
- полная вместимость обучающихся в аудиторный фонд;
- оборудование аудиторий должно соответствовать рабочей программе учебной дисциплины;
- нагрузка обучающихся должна быть равномерно распределена по всей неделе.

Дополнительные требования:

- исключить перерывы между занятиями у преподавателей и обучающихся;
- не более пяти занятий в день;
- занятия должны начинаться с 1 пары;
- выполнение министерских рекомендаций, например, сначала проводить лекционные занятия, затем практические;
- минимальное количество и расстояние переходов между корпусами/аудиториями;
- учет занятости преподавателей.

Желательные требования:

- равномерная нагрузка в неделю;
- временная продолжительность расписания (расписание желательно составить, например на неделю для повторения в течение четверти/семестра)
- желательно не расставлять занятия таким образом, чтобы в один день проходили 3

одинаковых предмета;

- равномерная нагрузка на аудитории;
- учет пожеланий преподавателей;
- занятия в один день в одном корпусе.

Исходя из вышеизложенного, генетический алгоритм в чистом виде может быть применен, однако, эффективность нахождения окончательного решения задачи будет крайне низкой. На рис. 2 представлена схема работы генетического алгоритма, примененного к составлению расписаний занятий

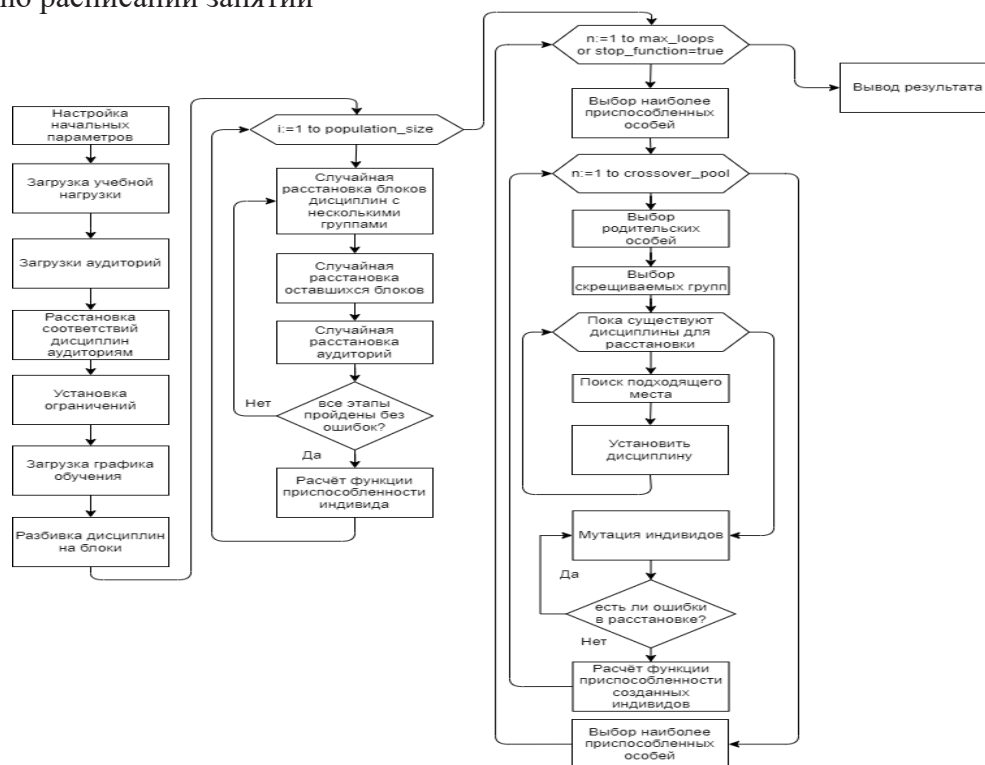


Рис. 2. Схема работы генетического алгоритма для составления расписаний

Fig. 2. Scheme of operation of the genetic algorithm for scheduling

Для оптимизации составления расписания на каждом этапе работы генетического алгоритма необходимо внедрить модификации.

1. Во-первых, в общем случае генетического алгоритма на первом этапе осуществляется формирование начальной популяции в случайном порядке. Такой подход не совсем подходит к текущей задаче, т.к. у нас имеется огромное количество ограничений, поэтому начальная популяция будет наполнена нерелевантными расписаниями с множеством пересечений дисциплин, преподавателей и кабинетов. В этом случае предлагается начальную популяцию составлять также случайным образом, но сразу с соблюдением выстраиваемых примитивов (например, чтобы в одной аудитории не велось два занятия).
2. Селекция. На втором этапе селекции особей происходит выборка особей с максимальной функцией пригодности. Модифицировать этот этап предлагается следующим образом: будем запоминать среднюю функцию пригодности всей популяции для отслеживания процесса приближения к оптимальному решению. В случае если функция пригодности не будет улучшаться на нескольких поколениях, то предлагается использовать механизм «встряски популяции» и «внезапной мутации».
3. Кроссинговер. Третий этап заключается в скрещивании родительских особей для создания хромосом потомков. Пары родительских особей подбираются случайным образом, затем в случайной позиции гена происходит обмен участками генетического материала. При скрещивании предлагается скрещивать не пару особей, а при определенных условиях даже три или четыре особи. В ходе программной реализа-

ции было решено, что особи будут обмениваться погруппно, т.к. это наиболее логичное решение для многоуровневого вуза с большим количеством групп. Больше двух «родителей» для составления расписания позволит произвести ту самую «встряску популяции», о которой говорилось выше.

4. Мутация. Этот оператор позволяет случайным образом изменить особь по определенным требованиям. Данной этап работы ГА предстоит провести в два этапа: на первом этапе, после скрещивания особей в любом случае придется немного подредактировать особь для устранения возникших коллизий и пересечений. Вторым этапом мутации будет являться перемещение случайной дисциплины случайной группы в случайное доступное место в расписании. Также при стагнации среднего показателя функции пригодности будет выполняться мутация всего поколения в соответствии с естественным процессом эволюции при резком изменении природных условий среды обитания.
5. Остановка. Выполняется проверка выполнения условия остановки работы алгоритма. В случае достигнутого допустимого значения функции пригодности процесс останавливается.
6. Вывод результата. На последней итерации определяется конечная особь, которая максимально удовлетворяет установленным гиперпараметрам и функции пригодности.

Эти модификации могут помочь производительности алгоритма при условии, что они соответствуют конкретным требованиям схемы расписания учебного заведения.

Обсуждение результатов. Представленные шаги по модификации ГА привели к тому, что некоторые модификации имеют небольшой эффект для улучшения особей из поколения в поколение, другие же напротив приводят к очень хорошим результатам. Например, выяснено, что создание готовых расписаний в качестве исходной популяции позволяет сократить время работы алгоритма в разы. Также модификация в виде вынужденной мутации при перестановке групп в расписании позволяет более точно расставлять занятия в окна между занятиями, что также способствует улучшению последующих популяций (рис.3).

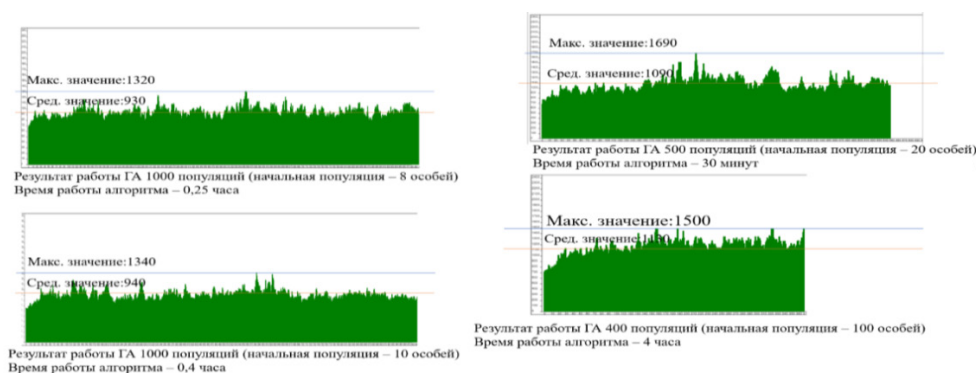


Рис. 3. Результаты испытаний
Fig. 3. Test results

Такие гиперпараметры способствуют увеличению времени работы алгоритма из-за обработки больших массивов данных. Именно эту проблему может решить использование параллелизации вычислений и облачные технологии.

Вывод. Многоуровневый ВУЗ обладает неоспоримыми преимуществами относительно классических в образовательном плане, однако в плане организации информационного взаимодействия между структурами требует специального подхода. Построив четкую алгоритмическую модель и реализовав программный комплекс на основе генетического алгоритма можно автоматизировать большую часть работ по созданию расписаний учебных занятий многоуровневого высшего учебного заведения. Данная автоматизация позволит сократить трудовые, временные и материальные затраты персонала высшего учебного заведения с нескольких недель до нескольких минут. Сократится влияние человеческого фактора. Модификация генетического алгоритма оптимизации автоматизированного составления расписания

многоуровневого ВУЗа способна решить сложности разработки программных комплексов подобного класса. Предлагаемые методы модификации генетического алгоритма позволяют сократить время работы алгоритма и оптимизировать процесс поиска результата.

Библиографический список:

1. Минпросвещения России: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://edu.gov.ru/press/6567/vladimir-putin-poruchil-v-techenie-pyati-let-podgotovit-poryadka-1-mln-rabochih-kadrov/> (Дата обращения: 10.04.2023)
2. Космачева И. М. Автоматизированная система формирования рабочих программ учебных дисциплин / И. М. Космачева, И. Ю., И. В. Сибикина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 1. – С. 90-97.
3. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. Учеб. пособ., Изд. дом «Астраханский университет», 2007.
4. Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. USA: University of Michigan, 1975.
5. А. Ф. Рогачев, Д. С. Захаров. Использование модифицированных генетических алгоритмов для составления расписаний// Инновационное развитие строительного комплекса региона: задачи, состояние, перспективы : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции Себряковского филиала ФГБОУ ВО «ВолГТУ», Михайловка-Волгоград, 15 октября 2019 года / Редколлегия: С.Е. Карпушова (отв. ред.) [и др.]. – Михайловка-Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2020. – С. 238-240.
6. Васильев, В.И. Интеллектуальные системы управления с использованием генетических алгоритмов: Учебное пособие / В.И. Васильев // УГАТУ. Уфа: Изд-во УГАТУ, 1999. – 105 с.
7. Мясников, А. С. Островной генетический алгоритм с динамическим распределением вероятностей выбора генетических операторов / А. С. Мясников // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – № 1. – С. 3.
8. Частикова, В. А. Исследование основных параметров генетического алгоритма метода генетических схем в интеллектуальных системах, основанных на знаниях / В. А. Частикова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 69. – С. 151-163.
9. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям «Информатика и вычислительная техника» и «Информационные системы» / Л. А. Гладков, В. М. Курейчик, В. В. Курейчик; под ред. В.М. Курейчика. – Издание 2-е, исправленное и дополненное. – Москва : Физматлит, 2006. – 319 с. – ISBN 5-9221-0510-8.
10. Емельянов, В. В. Теория и практика эволюционного моделирования / В. В. Емельянов, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – Москва : ООО Издательская фирма «Физико-математическая литература», 2003. – 431 с. – ISBN 5-9221-0337-7.
11. Курейчик, В. М. Генетические алгоритмы и их применение / В. М. Курейчик ; Таганрогский радиотехнический университет. – 2-е издание, дополненное. – Таганрог : Таганрогский государственный радиотехнический университет, 2002. – 242 с.
12. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов// Информационные технологии. – 2012. – № S7. – С. 1-32.
13. Тененев, В. А. Генетические алгоритмы в моделировании систем : монография / В. А. Тененев; В.А. Тененев, Б.А. Якимович ; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Ижевский гос. технический ун-т». – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – 306 с. – ISBN 978-5-7526-0472-0.
14. Бураков, М.В. Генетический алгоритм: теория и практика / М. В. Бураков ; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2008. – 164 с.
15. Шайтура, С. В. Интеллектуальные системы и технологии / С. В. Шайтура ; Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий. – Бургаз : Институт за хуманитарни науки, икономика и информационни технологии=Институт гуманитарных наук, экономики и информационных наук, 2016. – 83 с.
16. Ярушкина, Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем / Н. Г. Ярушкина. – Москва : Издательство «Финансы и статистика», 2004. – 320 с. – ISBN 5-279-02776-6.
17. Карпенко, А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой / А. П. Карпенко. – Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2014. – 448 с.
18. Сологуб, Е. Б. Спортивная генетика : учебное пособие для высших учебных заведений физической культуры / Е. Б. Сологуб, В. А. Таймазов. – Москва : Терра-Спорт, 2000. – 127 с.
19. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – Москва : Горячая линия–Телеком, 2013. – 384 с.

20. Курейчик, В. М. Модифицированные генетические операторы / В. М. Курейчик // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 12(101). – С. 7-14.

References:

1. Within five years, about 1 million workers will be trained . The ministry of education of the russian federation. 2023. URL: <https://edu.gov.ru/press/6567/vladimir-putin-poruchil-v-techenie-pyati-let-podgotovit-poryadka-1-mln-rabochih-kadrov/>. (accessed: 10.04.23) (In Russ)
2. Kosmacheva I.M. Automated system of creation of working programs of academic disciplines / I.M. Kosmacheva, I.Yu. Kvyatkovskaya, I.V. Sibikina. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2016; 1: 90-97. (In Russ)
3. Panchenko T.V. Genetic algorithms Astrakhan:Izdatelskii dom «Astrakhanskii universitet»,2007; 88(In Russ)
4. Holland J.H Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence. Michigan: University of Michigan, 1975; 208.
5. Rogachev A.F. Using modified genetic algorithms for scheduling / A.F. Rogachev, D.S. Zakharov // Innovative development of the construction complex of the region: tasks, state, prospects : Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference of the Sebyakovsky branch VSTU; edited by Karpushova S.E. Mikhailovka-Volgograd: Volgogradskii gosudarstvennii universitet, 2020; 238-240. (In Russ)
6. Vasilev V.I. Intelligent control systems using genetic algorithms.UFA: UGATU, 1999; 105. (In Russ)
7. Myasnikov A.S. Island genetic algorithm with dynamic probability distribution of selection of genetic operators. *Science and Education of Bauman MSTU*. 2010; 1: 3. (In Russ.)
8. Chastikova V.A. Research of key genetic algorithm parameters of the genetic schemes method in intelligent systems, based on knowledge. *Scientific Journal of KubSAU*. 2011; 69: 151-163. (in Russ)
9. Gladkov L.A. Genetic algorithms : a textbook for university students studying in the areas of “Computer Science and Computer Engineering” and “Information Systems” L.A. Gladkov, V.M. Kureichik, V.V. Kureichik. Moskva : Fizmatlit, 2006; 319. (In Russ)
10. Yemelyanov V.V. Theory and practice of evolutionary modeling. V.V. Yemelyanov, V.V. Kureichik, V.M. Kureichik. M.: OOO Izdatelskaya firma “Fiziko-matematicheskaya literatura”, 2003;431 (In Russ)
11. Kureychik, V. M. Genetic algorithms and their application; Taganrog Radio Engineering University. 2nd edition, supplemented. Taganrog : Taganrog State Radio Engineering University, 2002; 242. (In Russ)
12. Karpenko, A. P. Population algorithms of global search optimization. Review of new and little-known algorithms. *Information Technologies*. 2012; 7:1-32. (In Russ)
13. Tenenev, V. A. Genetic algorithms in system modeling : monograph / V. A. Tenenev; V. A. Tenenev, B.A. Yakimovich ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, State Educational Institution of Higher Education. Prof. education “Izhevsk State Technical University”. Izhevsk : Publishing House of IzhSTU, 2010; 306. (In Russ)
14. Burakov M. V. Genetic algorithm: theory and practice. St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2008; 164. (In Russ)
15. Shaitura S. V. Intelligent systems and technologies; Institute of Humanities, Economics and Information Technologies. Burgas : Institute for Humanitarianism of Science, Economics and Information Technology=Institute of Humanities, Economics and Information Sciences, 2016; 83. (In Russ)
16. Yarushkina, N. G. Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems. Moscow : Publishing House “Finance and Statistics”, 2004; 320. (In Russ)
17. Karpenko, A. P. Modern search engine optimization algorithms. Algorithms inspired by nature Moscow : Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2014; 448. (In Russ)
18. Sologub, E. B. Sports genetics : a textbook for higher educational institutions of physical culture / E.B. Sologub, V. A. Taymazov. Moscow : Terra-Sport, 2000; 127. (In Russ)
19. Rutkovskaya, D. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. D. Rutkovskaya, M. Pilinsky, L. Rutkovsky. Moscow : Hotline–Telecom, 2013; 384. (In Russ)
20. Kureychik, V. M. Modified genetic operators. *Izvestiya SFU. Technical sciences*. 2009; 12 (101): 7-14. (In Russ)

Сведения об авторе:

Захаров Дмитрий Сергеевич, аспирант, zakator@bk.ru, ORCID: 0009-0009-6665-510X

Information about authors:

Dmitriy S. Zakahrov, Postgraduate student, zakator@bk.ru, ORCID: 0009-0009-6665-510X

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 12.05.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 30.05.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 30.05.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 519.72

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-98-108

Оригинальная статья /Original Paper

Анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности

В.В. Конобеевских, А.О. Ефимов

Воронежский институт МВД России,
394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является проведение анализа показателей эффективности программного обеспечения, направленное на повышение уровня безопасности на объектах особой важности. На сегодняшний день является достаточно актуальным вопрос совершенствования аппаратной и программной компоненты системы безопасности на особо важном объекте с учетом его специфики и необходимости обеспечения антитеррористических мер. Возникает актуальная задача оценки программного обеспечения системы физической защиты (СФЗ) объекта особой важности, при этом одним из основных является вопрос, заключающийся в том, какие показатели качества учитывать и какие методы использовать при получении объективных данных с учетом специфики объекта исследования и необходимости повышения антитеррористических мер. В данной статье предлагается провести анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности. **Метод.** Для достижения поставленной цели применены такие методы как системный, расчетный и экспертно-статистический анализ. **Результат.** В работе представлен альтернативный подход к анализу параметров эффективности программного обеспечения применительно к компонентам интегрированного комплекса (ИК) СФЗ, который заключается в переходе от количественных оценок к качественным, использовании знаний экспертов и статистической обработке информации, полученной от них. Предлагаемый подход позволяет использовать единую шкалу измерений, а также упростить процедуру измерения значений единичных показателей эффективности программного обеспечения подсистем ИК СФЗ в процессе эксплуатации на объекте особой важности. **Вывод.** Полученные результаты могут быть использованы для комплексной оценки эксплуатации программного обеспечения на объектах особой важности, а также повышения его уровня безопасности.

Ключевые слова: эффективность, программное обеспечение вычислительных систем, экспертно-статистический метод, метрика качества, комплексный показатель качества

Для цитирования: В.В. Конобеевских, А.О. Ефимов. Анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):98-108. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-98-108

Analysis of performance indicators of computer systems software on objects of special importance

V.V. Konobeevskikh, A.O. Efimov

Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
53 Patriotov St., Voronezh 394065, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the article is to study the performance indicators of software aimed at improving the level of security at objects of particular importance. To date, the issue of improving the hardware and software components of the security system at a particularly important facility, taking into account its specifics and ensuring anti-terrorist measures, is quite urgent. There is an urgent task of evaluating the software of the physical

protection system (SFZ) of an object of particular importance, while one of the main questions is which quality indicators to take into account and which methods to use when obtaining objective data, taking into account the specifics of the object of research and the need to increase anti-terrorist measures. In this article, it is proposed to analyze the performance indicators of computer systems software on objects of special importance. **Method.** To achieve this goal, such methods as system analysis, computational and expert statistical are used. **Result.** The paper presents an alternative approach to the analysis of the parameters of the effectiveness of software in relation to the components of the integrated complex (IC) SFZ, which consists in the transition from quantitative to qualitative assessments, the use of expert knowledge and statistical processing of information received from them. The proposed approach makes it possible to use a single measurement scale, as well as simplify the procedure for measuring the values of individual performance indicators of the software of the subsystems of the IC SFZ during operation at an object of particular importance. **Conclusion.** The results obtained can be used for a comprehensive assessment of the operation of software at facilities of particular importance, as well as to increase its security level.

Keywords: effectiveness, software of computing complexes, expert-statistical method, quality metric, complex quality indicator

For citation: V.V. Konobeevskikh, A.O. Efimov. Analysis of performance indicators of computer systems software on objects of special importance. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):98-108. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-98-108

Введение. Развитие современного общества сталкивается с все более возрастающими проявлениями террористической деятельности как в отдельных странах, так и в мире в целом. Особенно отчетливо данная тенденция обозначилась с началом проведения специальной военной операции (СВО).

В последнее время террористическая деятельность в нашей стране растет в геометрической прогрессии и проявляется в разных областях, начиная от телефонного терроризма и заканчивая попытками проникновения на объекты особой важности. Кроме того, на фоне активизации террористической деятельности отмечается рост организованной преступности, усиление их технической оснащенности. Поэтому естественным ответом государства на указанные выше тенденции является увеличение количества и повышение качества анти-террористических мер, при этом последние могут носить упреждающий характер.

Превентивные меры, проводимые государством, в первую очередь направлены на обеспечение безопасности объектов особой важности и критической инфраструктуры. Безопасность данных объектов обеспечивается системами физической защиты, функционирующих на основе интегрированных комплексов.

Однако проведение СВО показало необходимость внесения корректив, изменения некоторых подходов и необходимости совершенствования системы безопасности объектов особой важности.

Изучение научных вопросов, проблем, связанных с созданием и эксплуатацией интегрированных комплексов СФЗ на особо важных объектах, базируется на кропотливых исследованиях огромного массива аналитического материала, открытых и закрытых публикаций.

Анализ представленных источников и активизация террористической деятельности, позволяет сделать некоторые выводы о необходимости совершенствования как отдельных компонентов, так и всей системы физической защиты особо важных объектов.

Обеспечение необходимого уровня безопасности рассматриваемых объектов предполагает не только оценку эффективности системы физической безопасности по ее способности выполнить свою основную целевую функцию, но и анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности.

Совершенствование системы безопасности особо важных объектов предполагает:

- применение современных компонентов в структуре ИК СФЗ;

- построение системы безопасности рассматриваемых объектов на основе современных технологий;
- использование программного обеспечения вычислительных систем ИК СФЗ на основе единой цифровой платформы;
- постоянная оптимизация структуры и функциональных характеристик компонентов ИК СФЗ.

Следует заметить, что на объектах особой важности целесообразно соблюдать соответствующие требования относительно системы безопасности. Последние должны учитывать ведомственные нормативные акты, перечень угроз, результаты анализа уязвимости и оценки эффективности системы физической защиты.

Для успешного противодействия современным террористическим действиям необходимо на объектах особой важности применять открытую интеграционную программно-аппаратную платформу, позволяющую на единой основе создавать сложные комплексные системы безопасности.

Особенно необходимо отметить возрастающую роль в таких системах программного обеспечения, базирующегося на распределённой интеграционной программной среде, используемой для построения единого верхнего уровня различных технологических систем. При этом важно чтобы программная платформа сочетала в себе гибкость и открытость для интеграции с внешними системами, а также была обеспечена высокая надёжностью и защищённость программного ядра системы.

Достаточно важным аспектом в системах безопасности особо важных объектов является сочетание и развитие принципов «вертикальной» и «горизонтальной» интеграции.

Первым принципом является создание программно-аппаратной платформы, которая объединяет различные компоненты системы безопасности, такие как охранная сигнализация, пожарная сигнализация, контроль доступа, видеонаблюдение и т.п.

Второй принцип позволяет реализовать интеграцию на программной платформе оборудования разных производителей в рамках одной подсистемы.

Реализация представленных выше принципов позволит совершенствовать систему безопасности особо важных объектов с учетом их специфики (потенциально опасных, промышленных объектов, технологических сооружений с жесткими климатическими и эксплуатационными условиями).

Таким образом, внедрение новейших технологий создания программных продуктов для системы безопасности объектов особой важности позволит на базе построенной программной модели системы подключать любое оборудование любых производителей, а также реализовывать любые типы пользовательских интерфейсов и прикладных автоматизированных рабочих мест (АРМ). При этом в процессе эксплуатации системы безопасности у администраторов системы с учетом режима функционирования и изменяющихся условий появится возможность формировать правила бизнес-логики системы за счет механизма встроенных скриптов и динамического построения алгоритмов работы.

На сегодняшний день является достаточно актуальным вопрос совершенствования аппаратной и программной компоненты системы безопасности на особо важном объекте с учетом его специфики и обеспечением антитеррористических мер. Если с аппаратной частью СФЗ достаточно все исследовано, то с программной компонентой системы безопасности рассматриваемого типа объекта не все так однозначно, в части оценки качества программного средства (цифровой платформы) в процессе эксплуатации.

Под качеством программного средства (ПС) понимается совокупность его свойств, которые обуславливают его пригодность удовлетворять заданные или подразумеваемые потребности в соответствии с его назначением. При оценке качества реализуются мероприятия, включающие выбор показателей, определение их значений и сравнение их с эталонными или между сравниваемыми ПС. Оценку качества проводят разные специалисты на разных этапах. В данной статье будут представлять интерес специалисты, осуществляющие внедрение, сопровождение и эксплуатацию ПС на особо важных объектах.

При определении показателей качества программного обеспечения могут использоваться такие методы как измерительные, регистрационные, органолептические, так и расчетные, экспертные. Согласно нормативным и правовым актам качество программного средства определяется некоторыми показателями: функциональные возможности, надежность, практичность, эффективность, сопровождаемость и мобильность.

Необходимо отметить, что при исследовании показателей качества программного обеспечения целесообразно использовать иерархическую многоуровневую систему, в которой показатели вышестоящих уровней определяются через показатели нижестоящих уровней. Так, например, при необходимости получения интегральной оценки по группам показателей качества используют факторы качества (первый уровень).

На втором уровне осуществляется работа с комплексными показателями качества, характеризующих некий набор критериев качества (удобство эксплуатации, уровень автоматизации, временная эффективность, гибкость и т.д.). Каждый критерий характеризуется одной или несколькими метриками (третий уровень). В свою очередь метрика качества программного обеспечения определяется единичными показателями, количество которых в метрике не ограничено.

Постановка задачи. При оценке программного обеспечения СФЗ объекта особой важности возникает актуальный вопрос, заключающийся в том какие показатели качества учитывать и какие методы использовать при получении объективных данных с учетом специфики объекта исследования и необходимости повышения антитеррористических мер. В статье предлагается провести анализ показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности. Данный анализ может быть применен для следующих ситуаций:

- оценка качества программного обеспечения на объекте особой важности по критерию «эффективность» и его метрикам;
- при сравнении программных продуктов по критерию «эффективность» и его метрикам с целью выбора наиболее оптимального варианта для конкретного объекта с учетом его специфики функционирования.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ критериев метрик эффективности программного обеспечения;
- осуществить выбор метода оценки эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности;
- провести эмпирические исследования показателей эффективности с учетом выбранного метода.

Методы исследования. Представляется целесообразным рассмотреть первую задачу. Детальный анализ научной литературы и других источников, исследующих эффективность программного обеспечения, рассматривают понятие эффективность как некоторое соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами.

Если рассматривать внедрение программного обеспечения, то под затратами подразумеваются затраты на приобретение, установку и настройку, сопровождение и поддержку ПО. При этом в качестве эффекта воспринимается результат внедрения ПО. Эффективность программного обеспечения описывается показателями, которые характеризуют степень удовлетворения потребности пользователя в обработке данных с учетом экономических, вычислительных и человеческих ресурсов. При этом выделяют следующие показатели эффективности: уровень автоматизации; временная эффективность; ресурсоемкость. Взаимосвязь критериев, метрик и единичных показателей эффективности программного обеспечения представлена в табл.1. Первый критерий эффективности в табл. 1 характеризует степень автоматизации функций процесса обработки данных, учитывая, рациональность функциональной структуры программы, применительно к взаимодействию с ней пользователя и использованию вычислительных ресурсов.

Таблица 1. Взаимосвязь показателей, метрик и единичных показателей эффективности программного обеспечения
Table 1. The relationship of indicators, metrics and individual performance indicators of software

Критерии эффективности Performance criteria	Метрика Metric	Единичные показатели Single indicators
Уровень автоматизации Level of automation	Функциональная автоматизация Functional Automation	Проблемно-ориентированные функции/ Domain Specific Functions Машинно-ориентированные функции/ Machine-Oriented Functions
	Автоматизация интерфейсов Interface Automation	Функции ведения и управления/ Leading and Control Functions Функции ввода/вывода I/O functions
	Автоматизация контроля Control Automation	Функции защиты и проверки данных/ Data security and verification features Функции контроля доступа/ Access control features Функции контроля внесения изменений/ Access control features Наличие соответствующих границ/ Change Control Features функциональных областей/ The presence of appropriate boundaries of functional areas Число знаков после запятой в результатах вычислений/ Number of decimal places in calculation results
Временная эффективность Time Efficiency	Эффективность выполнения Execution efficiency	Время выполнения программ/ Program execution time Время реакции и ответов/ Reaction and response time
	Эффективность подготовки Training efficiency	Время подготовки/ Preparation time Затраты времени на защиту данных / Time spent on data protection Время компиляции/ Compile time
Ресурсоемкость Resource intensity	Стационарная ресурсоемкость Stationary resource intensity	Требуемый объем внутренней памяти/ Required amount of internal memory Требуемый объем внешней памяти/ Required amount of external memory
	Динамическая ресурсоемкость Dynamic resource intensity	Требуемые периферийные устройства/ Required Peripherals Требуемое базовое программное обеспечение/ Required basic software

Достаточно важно заметить, что уровни автоматизации на особо важном объекте должны зависеть от уровня управления на нем. В частности, как правило, выделяют три уровня – оперативный, тактический и стратегический. На первом уровне исполнителей реализуется автоматизация регулярных процессов, что позволяет выполнять оперативные задачи, поддерживать соответствующие режимы работы. На тактическом уровне автоматизация позволяет распределять задачи между подсистемами ИК СФЗ. Последний уровень автоматизирует управление объектом особой важности и направлен на решение аналитических и прогностических задач.

Второй критерий связан со способностью программного обеспечения выполнять заданные действия в интервал времени, отвечающий указанным требованиям, что является особенно актуальным для систем реального времени и ПО, применяемого для управления особо важными объектами и объектами критической инфраструктуры. Время отклика, обработки заданий и производительность решения задач с учетом количества используемых вычислительных ресурсов в установленных условиях характеризуют временную эффектив-

ность программного обеспечения. К таким ресурсам можно отнести программные продукты разных подсистем ИК СФЗ, средства телекоммуникации, аппаратные средства и т.д. Данный параметр характеризуется скоростью обработки данных и пропускной способностью – производительности, которые связаны со временем реакции (отклика) на запросы при решении основных функциональных задач.

При рассмотрении последнего критерия учитывают необходимые и достаточные вычислительные ресурсы, и число обслуживающего персонала для эксплуатации данного ПО. Оценка данного критерия возможна в процессе пробного периода или реальной эксплуатации. Кроме того, критерием ресурсоемкости может рассматриваться величина абсолютной занятости ресурсов различных видов или относительная величина использования ресурсов каждого вида при нормальном функционировании программного обеспечения ИК СФЗ.

Важным обстоятельством является то, что оценку эффективности целесообразно рассматривать в конкретный момент времени, а ее адекватность во многом зависит от выбора соответствующего метода оценки. В свою очередь методы оценки эффективности подразделяют на качественные методы и количественные, которые основываются на обработке числовых показателей. Следует заметить, что общих рекомендаций для выбора метода не существует. Поэтому выбор метода оценки эффективности программного обеспечения основывается на анализе его преимуществ и недостатков.

Необходимо заметить, что представленные выше критерии обладают рядом недостатков, которые особенно важно учитывать при анализе показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности.

В частности, в нормативно-правовых и специализированных источниках для оценки эффективности приводится незначительное количество критериев (табл.1) относительно других показателей качества программного обеспечения. Представленные выше в табл.1 критерии и метрики эффективности измеряются в разных единицах (секундах, байтах, битах в секунду и т.д.), что затрудняет их совместное использование при анализе качества ПО, так они имеют разный физический смысл. Кроме того, сложно осуществить интегральную оценку ПО, используя данные метрики эффективности, так как они хоть и представлены в относительных единицах имеют разный диапазон шкал.

В качестве еще одного недостатка можно отметить то обстоятельство, что с уменьшением метрики возрастает значение эффективности т.е. при исследовании одних метрик наблюдается обратная зависимость, а других – прямая.

Следовательно, такие метрики не целесообразно использовать в одной совокупности и использовать для комплексной оценки ПО. Исследование эффективности программного обеспечения, как правило, предполагает анализ скоростных или ресурсных свойств. При этом не рассматривается соотношение скоростных и ресурсных свойств, а также их взаимное влияние друг на друга, с учетом интересов пользователя программного обеспечения. Учитывая рассмотренные выше недостатки, возникают ряд сложностей с анализом параметров эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объектах особой важности. Поэтому в данной статье предлагается альтернативный подход к анализу параметров эффективности программного обеспечения применительно к компонентам ИК СФЗ, который заключается в переходе от количественных оценок к качественным, использовании знаний экспертов и статистической обработке информации, полученной от них. Предлагаемый подход позволяет: использовать единую шкалу измерений; упростить процедуру измерения значений единичных показателей эффективности программного обеспечения подсистем ИК СФЗ в процессе эксплуатации.

Достаточно важно заметить, что анализ показателей эффективности ПО ИК СФЗ однозначно должен учитывать специфику объекта особой важности. В частности, в данной статье для анализа показателей эффективности программного обеспечения предлагается использовать 10-ти бальную шкалу измерения, например, с критериями: полностью согласен, частично согласен, и согласен и не согласен, частично не согласен, совершенно не согласен. Каждому критерию

соответствует некоторый диапазон значений (табл. 2). Предлагаемый набор критериев и диапазон шкалы представляется наиболее удобным для работы группы экспертов.

Таблица 2. Оценка показателей эффективности программного обеспечения экспертом
Table 2. Evaluation of software performance indicators by an expert

№ п/п	Показатель эффективности ПО Software Performance indicator	полностью согласен/ fully agree	частично согласен/ partially agree	и согласен, и не согласен/ both agree and disagree	частично не согласен/ partially disagree	совершенно не согласен/ totally disagree
		10-8	8-6	6-4	4-2	2-0
1.	Показатель 1	+				
2.	Показатель 2				+	
3.	Показатель 3			+		
4.	...					
5.	Показатель N		+			

Обсуждение результатов. Учитывая критерии оценки эффективности ПО, предлагаемые эксперту, целесообразно выбрать такие, которые отражают специфику объекта особой важности. Применительно к подсистемам ИК СФЗ их можно, например, сформулировать следующим образом:

- автоматизация процессов на объекте особой важности реализована на нескольких уровнях, что позволяет решать оперативные, аналитические и прогностические задачи, а также распределять задачи между подсистемами ИК СФЗ (показатель 1);
- программное обеспечение подсистем ИК СФЗ на объекте интегрировано в единую цифровую платформу на объекте (показатель 2);
- время выполнения программ каждой подсистемы ИК СФЗ позволяет успешно выполнять стоящие перед ней задачи (показатель 3);
- время реакции и ответов обеспечивает удобство эксплуатации и взаимодействия программного обеспечения ИК СФЗ (показатель 4);
- интегрированный комплекс содержит необходимые периферийные устройства, а программное обеспечение подсистем обладает достаточными для успешного решения задач объемами внешней и внутренней памяти (показатель 5);
- для эксплуатации программного обеспечения на объекте особой важности используется оптимальное количество человеческих ресурсов (показатель 6).

Следует заметить, что представленные выше показатели не являются уникальными или универсальными, поэтому для каждого объекта особой важности (или типовых объектов) может быть сформулирован свой список показателей в зависимости от его особенностей и стоящих задач исследования. В данной работе для решения второй задачи предлагается использовать экспертно-статистический метод [5]. Такое обстоятельство, прежде всего, обусловлено тем, что метод не требует наличие большой выборки исследования, а также позволит использовать для оценки эффективности программного обеспечения математические модели. Для анализа показателей эффективности программного обеспечения на объекте особой важности целесообразно использовать прямые процедуры опроса группы экспертов.

После выбора соответствующих показателей эффективности программного обеспечения, для конкретного объекта (типа объекта) особой важности, проводится анкетирование экспертов на основе табл. 2.

Если при исследовании ставится упрощенная задача и необходимо вычислить значения комплексных показателей эффективности программного обеспечения, то можно использовать выражение

$$A_{ij} = \frac{1}{D} \sum_{j=1}^D A_{ij} \quad (1)$$

где A_{ij} — оценка комплексного показателя качества j -м экспертом показателей эффективности программного обеспечения, D – количество экспертов, $i = 1 - k$.

В том случае, если специфика объекта особой важности предполагает исследование значительного количества показателей, то на данном этапе целесообразно выделить лишь те параметры, которые являются наиболее значимыми, используя, в том числе, и метод ранжирования с экспертной оценкой коэффициентов весомости показателей эффективности программного обеспечения. После того как будет сформирован список показателей, учитывающий в полной мере специфику функционирования объекта особой важности, то следует перейти к вопросу воспроизводимости полученных экспертных данных. При этом можно воспользоваться классическим случаем и рассчитать коэффициент конкордации Кендалла [14]. А также можно использовать другие исследования, связанные с расчетом метрического коэффициента [7,9].

На следующем шаге анализа полученных экспертных данных предполагается использование статистических процедур, направленных на определение максимальных погрешностей экспертов $\delta_{j\max}^j$, среднеквадратической погрешности оценки коэффициентов весомости $\sigma[k_i]$ показателей эффективности программного обеспечения, а также определении половины длины доверительных интервалов δ_α^i . Указанные параметры можно рассчитать по следующим выражениям 2-4

$$\delta_{j\max}^j = \max \left\{ \left| \Delta k_j^j + t_\alpha \sigma[\Delta k_j^j] \right|, \left| \Delta k_j^j - t_\alpha \sigma[\Delta k_j^j] \right| \right\}, \quad \delta_\alpha^i = t_\alpha \sigma[k_i] \quad (2)$$

$$\sigma[k_i] = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^D (k_{ij} - k_i)^2}{(D-1)D}} \quad (3)$$

$$\sigma[\Delta k_j^j] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_{ij} - \frac{1}{D} \sum_{j=1}^D k_{ij})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Более подробное описание статистической обработки экспертных данных представлено в работах [8,9].

Основным результатом данного шага будет сравнение полученных по данным формулам значений $\delta_{j\max}^j$ и $\delta_{j\max}^j$ с коэффициентами весомости k_{ij} , полученными от экспертов. В том случае, если расчетные значения существенно меньше коэффициентов весомости показателей эффективности программного обеспечения, то можно приступить к выбору математической модели и расчету ее значений. В противном случае, экспертные данные можно признать не состоятельными и дальнейшее их использование - не целесообразным.

Для анализа показателей эффективности вычислительных систем на объектах особой важности предлагается рассмотреть следующие виды математических моделей

$$E = \sum_{i=1}^n a_i k_i, \quad E = \prod_{i=1}^n a_i^{k_i} \quad (5)$$

Комплексное значение показателя эффективности представляет собой функцию оценок единичных показателей a_1, a_2, \dots, a_n и коэффициентов весомости k_1, k_2, \dots, k_n и характеризующееся арифметическими и геометрическими зависимостями. А также можно использовать усредненное значение полученных зависимостей. Однако возникает объективный вопрос: какую же математическую модель выбрать для оценки эффективности ПО? Ответ на данный вопрос будет получен после проведения соответствующих расчетов, по результатам которых необходимо выбрать ту модель, которая будет иметь минимальное значение оценок среднеквадратических отклонений $\sigma[\Delta A]$.

Для объекта особой важности был проведен эксперимент по оценке показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем, используемого на объекте особой важности. Шесть показателей эффективности, представленных ранее (показатель 1, ... показатель 6) были оценены 10 экспертами. Кроме того, для каждого показателя были определены весовые коэффициенты. Обработка экспертных данных показала, что погрешности оценок специалистов можно считать незначительными, полученный коэффициент согласованности 0,87 позволяет использовать оценки экспертов для построения математической модели. Проверка показателей эффективности ПО показала их значимость в экспертных оценках.

Для показателей эффективности программного обеспечения вычислительных систем, используемых на объекте особой важности, были проведены расчеты параметров двух математических моделей определенных выражением 5 и оценок среднеквадратических отклонений. Данные расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчета параметров эффективности программного обеспечения
Table 3. Evaluation of software performance indicators by an expert

Вид математической модели комплексного показателя эффективности ПО Type of mathematical model of a complex indicator of software efficiency	Среднеквадратическое отклонение/ Standard deviation	
	$\sigma[k_i]$	$\sigma[\Delta A]$
$E = 11,45A_1 + 17,89A_2 + 25,32A_3 + 20,11A_4 + 9,12A_5 + 4,07A_6$	$\sigma[k_1] = 3,06$ $\sigma[k_2] = 5,78$ $\sigma[k_3] = 6,25$ $\sigma[k_4] = 4,12$ $\sigma[k_5] = 2,87$ $\sigma[k_6] = 1,43$	5,575
$E = 3,02A_1^{0,157} A_2^{0,224} A_3^{0,313} A_4^{0,121} A_5^{0,093} A_6^{0,075}$	$\sigma[k_1] = 0,78$ $\sigma[k_2] = 0,12$ $\sigma[k_3] = 0,15$ $\sigma[k_4] = 0,06$ $\sigma[k_5] = 0,04$ $\sigma[k_6] = 0,03$	8,484

Анализ табл.3 показывает, что для оценки эффективности программного обеспечения на объекте особой важности, с учетом оценок выбранных показателей эффективности (A_1, \dots, A_6) и экспертных данных, целесообразнее использовать первую математическую модель. Проводя расчеты с выбранной математической моделью, получаем количественную оценку эффективности программного обеспечения вычислительных систем на объекте особой важности.

Полученное значение можно использовать в следующих случаях: как базовую характеристику для дальнейшего совершенствования параметров эффективности программного обеспечения; для сравнения программного обеспечения на нескольких объектах по критерию эффективность.

Вывод. В работе представлен альтернативный подход к анализу параметров эффективности программного обеспечения применительно к компонентам ИК СФЗ, который заключается в переходе от количественных оценок к качественным, использовании знаний экспертов и статистической обработке информации, полученной от них.

Предлагаемый подход позволяет использовать единую шкалу измерений, а также упростить процедуру измерения значений единичных показателей эффективности программного обеспечения подсистем ИК СФЗ в процессе эксплуатации на объекте особой важности. Дальнейшим развитием идей, изложенных в указанной статье, будет являться разработка программного обеспечения для оценки его качества на объекте особой важности по критерию «эффективность» и его метрикам, а также для сравнения программных продуктов по указанному критерию с целью выбора наиболее оптимального варианта для конкретного объекта особой важности с учетом его специфики функционирования.

Библиографический список:

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – Москва: Финансы и статистика, 1983. – 129 с.
2. Анализ качественных метрик в использовании автоматизированных систем органов внутренних дел / В.В. Конобеевских // Международная НПК «Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии»: Сб. материалов. Ч1. Воронеж: ВИ МВД России, 2017. - № 3-2. – С.222 – 226.
3. Арипджанов М.К, Т. Бекмуратов, Г. Хаджиматова. Экспертные системы. Ташкент: Фан, 1991. 59 с.
4. Атанов Г.А. Диагностика знаний умений с помощью экспертных систем: Учеб. пособие для студентов физического факультета./ Г.А. Атанов, И.Н. Пустынникова; ДонГУ. – Донецк, 1997. – 64 с.
5. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – Москва: Статистика, 1980. – 240 с.
6. Бухарин С.В. Комбинированный метод выявления знаний экспертов / С.В Бухарин, В.В. Конобеевских // Вестник Воронежского института МВД России. – 2005. – №2. – С. 22 – 25.
7. Бухарин С.В. Методика исследования взаимозависимости мнений экспертов в технических и экономических приложениях / С.В Бухарин, В.В. Конобеевских // Всероссийская НПК «Современные проблемы борьбы с преступностью»: Сб материалов. Воронеж: ВИ МВД России, 2005. – С. 12 – 14.
8. Бухарин С.В. Статистические методы оценки качества радиотехнических систем / С.В. Бухарин, В.В. Конобеевских // Всероссийская НПК «Охрана, безопасность и связь - 2005»: Сб. материалов. Ч1. – Воронеж: ВИ МВД России, 2005. – С. 37 – 39.
9. Бухарин, С. В. Экспертные системы оценки качества и цены товаров (работ, услуг): Монография / С. В. Бухарин, Е. С. Забияко, В. В. Конобеевских; Под ред. проф. С. В. Бухарина. – Воронеж: АОНО «ИММиФ», 2006. – 160 с.
10. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения [Электронный ресурс]. — URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200009135> (дата обращения: 11.05.2023).
11. ГОСТ 28806-89. Качество программных средств. Термины и определения [Электронный ресурс]. — URL : http://www.kimmeria.nw.ru/standart/glosys/gost_28806_90.pdf (дата обращения: 11.05.2023).
12. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25051-2017. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения [Электронный ресурс]. — URL: https://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_ИСО/МЭК_25051-2017 (дата обращения: 11.05.2023).
13. Исследование практичности программного обеспечения вычислительных комплексов экспертно-статистическим методом/ В. В. Конобеевских, Питолин М. В. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – №4.
14. Кендэлл М.Дж. Ранговые корреляции / М.Дж. Кендэлл. – Москва: Статистика, 1975. – 230 с.
15. Конобеевских В. В. Алгоритм оценки эффективности комплексной безопасности организационной системы / В. В. Конобеевских, А.В. Калач и др. // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2022. – №4. – С. 90 – 98.
16. Конобеевских В.В. Оценка качества программного обеспечения вычислительных комплексов на основе экспертных данных/ В. В. Конобеевских, Питолин М. В. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – №4.
17. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. Москва: Радио и связь, 1982. – 184 с.
18. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении: Учеб. пособие.-2-е изд., испр. и доп. – Москва: Дело, 2004. – 400 с.
19. Методика управления качеством однородных систем безопасности на основе экспертной информации, полученной в коалиции экспертов / А.В Мельников, В.В. Конобеевских // Вестник Воронежского института МВД России. – 2021. – №4. – С. 58 – 67.
20. Попов Э. В. Статические и динамические экспертные системы: Учеб. пособие/ Э. В. Попов. – Москва: Финансы и статистика, 1997. – 320 с.
21. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам/ Д. Уотермен. – Москва: Мир, 1989. – 388 с.

References:

1. Ayvazyan S.A. Applied statistics. Fundamentals of modeling and primary data processing/ S.A. Ayvazyan, I.S. Enyukov, L.D. Meshalkin. – Moscow: Finance and Statistics, 1983; 129. (In Russ)
2. Analysis of qualitative metrics in the use of automated systems of internal affairs bodies / V.V. Konobeevskikh. International NPK “Public safety, legality and law and order in the III millennium”: Collection of materials. Ch1. Voronezh: VI of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2017; 3-2.:222-226. (In Russ)
3. Aripdzhanov M. K. Expert systems / M. Aripdzhanov, T. Bekmuratov, G. Khadzhimatova. Tashkent: Fan, 1991; 59. (In Russ)
4. Atanov G.A. Diagnostics of knowledge skills using expert systems: Textbook for students of the Faculty of Physics. / G.A. Atanov, I.N. Pustynnikova; DonGU. Donetsk, 1997; 64 . (In Russ)
5. Beshelev S.D. Mathematical and statistical methods of expert assessments / S.D. Beshelev, F. G. Gurvich. – Moscow: Statistics, 1980; 240. (In Russ)
6. Bukharin S.V., V.V. Konobeevskikh. The combined method of identifying expert knowledge. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2005; 2: 22-25. (In Russ)
7. S.V. Bukharin, V.V. Konobeevskikh. Methodology for the study of the interdependence of expert opinions in technical and economic applications. All-Russian NPK “Modern problems of combating crime”: Collection of materials. Voronezh: VI of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2005; 12-14. (In Russ)
8. Bukharin S.V. Statistical methods for assessing the quality of radio engineering systems / S.V. Bukharin, V.V. Konobeevskikh All-Russian NPK “Protection, Security and Communications - 2005”: Collection of materials. Ch1. – Voronezh: VI of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2005; 37-39. (In Russ)
9. Bukharin, S. V. Expert systems for assessing the quality and price of goods (works, services): Monograph / S. V. Bukharin, E. S. Zabiako, V. V. Konobeevskikh; Edited by Prof. S. V. Bukharin. – Voronezh: AONO “IMMiF”, 2006;160 (In Russ)
10. GOST 28195-89. Evaluation of the quality of software tools. General provisions. — URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200009135> (accessed: 05/11/2023). (In Russ)
11. GOST 28806-89. The quality of software tools. Terms and definitions. URL : http://www.kimmeria.nw.ru/standart/glosys/gost_28806_90.pdf (accessed: 05/11/2023). (In Russ)
12. GOST R ISO/IEC 25051-2017. Information technology. System and software engineering. Requirements and quality assessment of systems and software. URL: https://standartgost.ru/g/TOCT_P_ICO/MEK_25051-2017 (accessed: 05/11/2023). (In Russ)
13. The study of the practicality of the software of computing complexes by the expert statistical method/ V. V. Konobeevskikh, Pitolin M. V. *Modeling, optimization and information technologies*. 2020; 4. (In Russ)
14. Kendall M.J. Rank correlations. Moscow: Statistics, 1975; 230. (In Russ)
15. Konobeevskikh V.V., A.V. Kalach, etc. Algorithm for evaluating the effectiveness of the integrated security of the organizational system. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia*. 2022; 4: 90-98. (In Russ)
16. Konobeevskikh V. V. Evaluation of software quality of computing complexes based on expert data/ V. V. Konobeevskikh, Pitolin M. V. *Modeling, optimization and information technologies*. 2020; 4. (In Russ)
17. Litvak B.G. Expert information. Methods of obtaining and analysis. Moscow: Radio and Communications, 1982; 184 . (In Russ)
18. Litvak B.G. Expert technologies in management: Textbook.-2nd ed., ispr. and add. Moscow: Delo, 2004; 400 (In Russ)
19. Methodology of quality management of homogeneous security systems based on expert information obtained in the coalition of experts / A.V. Melnikov, V.V. Konobeevskikh. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2021; 4:58-67. (In Russ)
20. Popov E. V. Static and dynamic expert systems: Textbook/ E. V. Popov. Moscow: Finance and Statistics, 1997;320. (In Russ)
21. Waterman D. Guide to expert systems Moscow: Mir, 1989; 388. (In Russ)

Сведения об авторах:

Конобеевских Владимир Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; vkonobeevskikh@mail.ru

Ефимов Алексей Олегович, адъюнкт очной формы обучения; ea.aleksei@yandex.ru

Information about authors:

Vladimir V. Konobeevskikh, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof. of the Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; vkonobeevskikh@mail.ru

Aleksey O. Efimov, Full-time Adjunct; ea.aleksei@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию/Received 05.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 26.04.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 26.04.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.056

DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-109-116

Обзорная статья / Review Paper

Претекстинг и способы противодействия ему

У.А. Михалёва

Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58, Россия

Резюме. Цель. В настоящее время мошенничество является одной из наиболее актуальных проблем в современном обществе. Количество жертв мошенников, использующих методы социальной инженерии изо дня в день растет. Мошенничество – это вид преступления, которое очень сложно доказать. Целью исследования является поиск способа противодействия претекстингу как повышение информационной безопасности населения. **Метод.** В данной статье используются следующие методы: описание, анализ, дедукция. **Результат.** Проведенный анализ описания методов социальной инженерии позволил классифицировать их по способу воздействия на человека. Также данный анализ позволил сделать вывод, что самым эффективным способом защиты от угроз социальной инженерии, в частности, от претекстинга является внедрение технических способов защиты. **Выводы.** Выводы, сделанные в данной работе, могут послужить основанием для дальнейших исследований по направлению, а также основанием для разработки и внедрения технических способов защиты от угроз претекстинга.

Ключевые слова: мошенничество, социальная инженерия, претекстинг, фишинг, смишинг, кви про кво, дорожное яблоко, троян, обратная социальная инженерия, плечевой серфинг

Для цитирования: У.А. Михалёва. Претекстинг и способы противодействия ему. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):109-116. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-109-116

Pretexting and means to counter it

U.A. Mikhaleva

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
58 Belinsky St., Yakutsk 677000, Russia

Abstract. Objective. Currently, fraud is one of the most pressing problems in modern society. The number of victims of scammers using social engineering methods is growing day by day. Because fraud is a type of crime that is very difficult to prove. The aim of the study is to find a method to counteract pretexting as an increase in the information security of the population. **Method.** This article uses the following methods: description, analysis, deduction. **Result.** The analysis of the description of social engineering methods made it possible to classify them according to the way they influence a person. Also, this analysis led to the conclusion that the most effective method to protect against the threats of social engineering, in particular, from pretexting, is the introduction of technical methods of protection. **Conclusion.** The conclusions made in this work can serve as a basis for further research in this direction, as well as the basis for the development and implementation of technical methods for protecting against pretexting threats.

Keywords: fraud, social engineering, pretexting, phishing, mixing, qui about quo, road apple, Trojan, reverse social engineering, shoulder surfing

For citation: U.A. Mikhaleva. Pretexting and means to counter it. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):109-116. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-109-116

Введение. По информации отчета Федеральной службы по финансовому мониторингу «О проведении национальной оценки рисков отмывания денег и финансирования терроризма» в качестве ключевых угроз отмывания преступных доходов отмечена мошенническая деятельность первой из всех возможных преступных деятельности [1]. Мошенничество, согласно ст. 159 УК РФ – это хищение чужого имущества или приобретение права на чужое имущество путем обмана или злоупотребления доверием [2].

В настоящее время мошенничество с использованием методов социальной инженерии является одним из самых распространенных атак.

По результатам отчета «Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года» Российской компании Positive Technologies социальная инженерия по-прежнему оказалась на высоте. По их данным, в успешных атаках на организации этот метод применялся в 43% случаев, на частных лиц — в 93% [3].

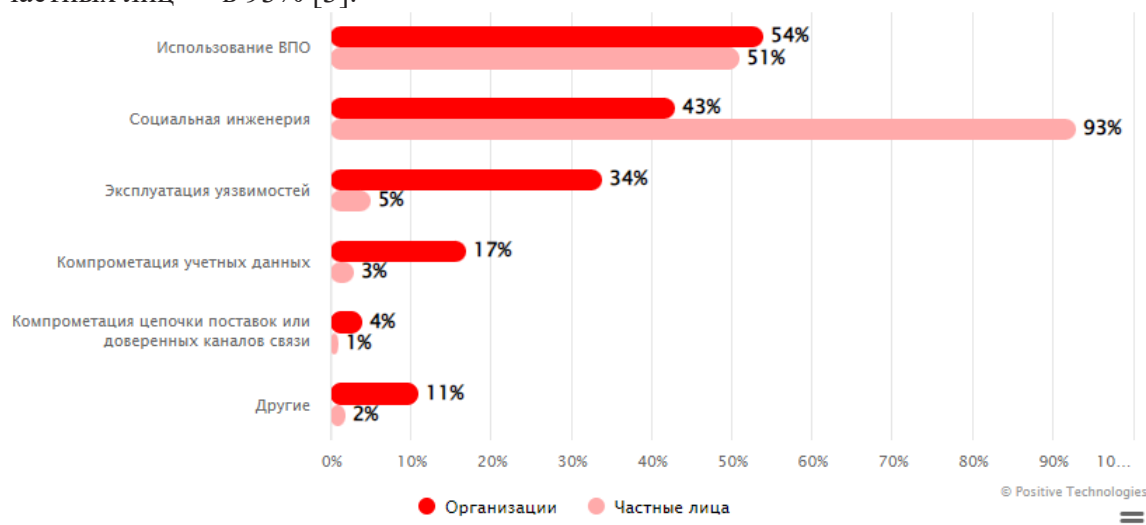


Рис. 1. Методы атак (доля успешных атак) [3]

Fig. 1. Attack methods (percentage of successful attacks) [3]

По информации Центробанка Российской Федерации в 2022 году больше половины случаев кражи средств граждан было совершено именно с помощью социальной инженерии. Размер ущерба от действий злоумышленников вырос на 4,29%, до 14,2 млрд. рублей [4]. Вышеприведенные отчеты показывают, что угрозы атак социальной инженерии возрастают. Это связано с тем, что как бы не совершенствовались технические системы защиты, самым слабым звеном все еще остается человек. Его слабости, стереотипы, предрассудки и т.п. являются наибольшей угрозой системе информационной безопасности.

Постановка задачи. Так как социальная инженерия активно ориентируется на особенности человеческой природы, жертвой может стать кто угодно. Осознание данного факта приводит к необходимости защиты конфиденциальных данных вне зависимости от психологического и эмоционального состояния человека. Для обеспечения должного уровня защиты конфиденциальной информации населения необходимо создать универсальный способ защиты от угроз социальной инженерии. В рамках данного исследования рассмотрим способы защиты конфиденциальной информации от претекстинга.

Методы исследования. Социальная инженерия представляет метод получения необходимого доступа к конфиденциальной информации, используя социальные и психологические воздействия на людей [5-10].

Атака на людей с использованием методов социальной инженерии бывает разной. Ниже приведем основные методы социальной инженерии:

1. Подложные предложения и ссылки. Жертве поступают предложения о выигрыше в лотерее, подарке от известного бренда, замаскированные ссылки на известные сайты с выгодными предложениями, уведомления о необходимости установить ПО для

- защиты компьютера. После перехода по ссылкам происходит кража данных, которые жертва вводит в предложенной форме или устанавливается вредоносное ПО, похищающее информацию [11].
2. Фишинг. Метод сбора пользовательских данных для авторизации — обычно это массовые рассылки спама по электронной почте. В классическом сценарии на почту жертвы приходит поддельное письмо от какой-то известной организации с просьбой перейти по ссылке и авторизоваться. Чтобы вызвать больше доверия, мошенники придумывают серьёзные причины для перехода по ссылке: например, просят жертву обновить пароль или ввести какую-то информацию (ФИО, номер телефона, банковской карты и даже CVV-код) [12].
 3. Телефонный фишинг и фрикинг. Реализуется путем отправки пользователю голосовых сообщений от несуществующих банков с целью получения пин-кодов карты или одноразовых паролей для проведения финансовых операций. Также здесь может использоваться перехват сигналов тонового набора служебных сигналов во время телефонных звонков [11].
 4. Смишинг — это разновидность фишинга, попытка получить данные посредством SMS-сообщений [13-14].
 5. Претекстинг. Мошенник представляется подложной персоной и действует по заранее подготовленному сценарию, располагает частью знаний о человеке. Это может быть псевдосотрудник государственных организаций или внутренних органов, который выманивает у жертвы конфиденциальные данные [11].
 6. Кви про кво (услуга за услугу). Атака построена на обращении злоумышленника в интересующую компанию под видом ее персонала по вопросу предоставления ему услуги техподдержки на рабочем месте. Это помогает украсть данные учетных записей и запустить нежелательные процессы [11].
 7. Дорожное яблоко (ловля «на живца»). Реализуется путем подброса физических носителей информации на территорию интересующей компании, на которых присутствует вредоносный код. Это могут быть CD-диск, флеш-накопитель. Они специально маркируются логотипами и цветами компании, содержат приглашение для использования вроде надписей: «Строго секретно», «Коммерческая тайна», «Доходы компании». Сотрудник использует носитель на своем рабочем месте, после чего происходит кража данных [11].
 8. Плечевой серфинг. Основывается на невнимательности жертвы, которая уверена в своей безопасности и никак не защищает конфиденциальные данные. Злоумышленник осуществляет контакт в общественном месте с жертвой и свободно подсматривает информацию, которая находится в открытом доступе на экранах мобильных устройств [11].
 9. Обратная социальная инженерия. Основывается на доверии к незнакомому человеку, когда жертва добровольно сообщает конфиденциальные данные злоумышленнику. Это характерно при обращении в техподдержку по вопросам блокировки или прекращения доступа. Жертва, желая помочь и ускорить процесс разблокировки сама, сообщает пин-коды, одноразовые пароли, идентификаторы в системе, не подозревая о том, что это может быть использовано против нее. Встречается чаще всего внутри крупных компаний, где коллеги обманывают друг друга или имеют доступ к информации, которая изначально для них закрыта [11].
 10. «Ты — мне, я — тебе». Говорят, честный обмен — не грабеж, но не в этом случае. Многие социальные инженеры убеждают своих жертв в том, что те получают что-то в обмен на данные или доступ к ним. Так работает фальшивый антивирус, предлагающий пользователю устранить угрозу на его компьютере, хотя сам «антивирус» и есть угроза [13-14].

11. Взлом электронной почты и рассылка по контактам. Злоумышленник взламывает почту человека или его учетную запись в социальной сети, получая доступ к его контактам. От имени жертвы он может сообщить им, что его ограбили, и попросить перечислить ему денег, или разослать ссылку на вредоносное ПО, или клавиатурный шпион под видом интересного видео [13-14].
12. Троян. Вирус не зря получил своё название по принципу работы троянского коня из древнегреческого мифа. Только приманкой здесь становится email-сообщение, которое обещает быструю прибыль, выигрыш или другие «золотые горы» — но в результате человек получает вирус, с помощью которого злоумышленники крадут его данные. Почему этот вид кражи данных называют социальной инженерией? Потому что создатели вируса хорошо знают, как замаскировать вредоносную программу, чтобы вы наверняка кликнули по нужной ссылке, скачали и запустили файл [13-14].

Перечисленные выше методы социальной инженерии на практике могут быть использованы в комбинации друг с другом в зависимости от ситуации.

Описание приведенных методов социальной инженерии приводит к классификации угроз, которые влияют на личные качества жертвы. В табл. 1 приведена классификация методов социальной инженерии, которые влияют на личные качества жертвы. Их можно классифицировать по следующим типам: наивность, жадность, доверчивость, любопытство.

Таблица 1. Классификация методов социальной инженерии, которые влияют на личные качества жертвы

Table 1. Classification of social engineering methods that affect the personal qualities of the victim

№	Наивность/Naivete	Жадность/ Greed	Доверчивость/Credulity	Любопытство/ Curiosity
1	Фишинг/ Phishing	Троян/ Trojan	Подложные предложения и ссылки/ Fake offers and links	Кви про кво/Qui pro quo
2	Плечевой серфинг/ Shoulder surf		Телефонный фишинг и фрикинг/ Phone phishing and phreaking	Дорожное яблоко (ловля «на живца»)/ Road apple (live bait fishing)
3	Ты – мне, я – тебе/ You to me, I to you		Смишинг/ Cmishing	
4	Взлом электронной почты и рассылка по контактам/ Hacking email and sending to contacts		Обратная социальная инженерия/Reverse social engineering	
5	Претекстинг/ Pretexting			

Как видно из табл. 1, претекстинг может влиять на различные личные качества человека. Потому что, главное отличие претекстинга от других видов социальной инженерии — это внезапность и создание чувства страха, спешки в реальном времени. Решение должно быть принято незамедлительно, нет времени на переваривание информации.

Таким образом, на принятие решения влияют чувства, а не разум. Поэтому данный вид угрозы может играть на различные качества человека, такие как: желание помочь, сохранить имеющиеся средства, побыстрее решить возникшую проблему, также желание успеть заполучить быструю прибыль, быть среди «первых» для получения какого-то преимущества, не упускать шанс большого выигрыша и т.д.

Обсуждение результатов. Претекстинг подразумевает осуществление личного эмоционального контакта злоумышленника с жертвой. При этом злоумышленник имеет заранее продуманный сценарий действий. Он заранее знает личные сведения о жертве: окружение, семью, предпочтения, место работы и многое другое. Чаще всего всю эту информацию он

берет из социальных сетей. Изучив эти сведения, злоумышленник может представиться коллегой, знакомым коллегой, сотрудником правоохранительных органов, медицинского учреждения или банковских учреждений и т.д. Он осуществляет атаку по телефону. При этом, номер абонента может быть подменен на номера знакомого, организации, учреждения. С технической точки зрения, подмена номера телефона или голоса делается с помощью программных продуктов [15-16].

В настоящее время основными способами защиты от атак вида претекстинг, являются:

1. Информирование населения о возможных действиях мошенников через средства массовой информации;
2. Составление черного списка телефонных номеров и их автоматическая блокировка в приложениях кредитно-финансовых организаций на основе отчетов правоохранительных органов;
3. Использование антифрод-платформы в телекоммуникационных сетях связи.

По информации телеком-организаций, антифрод-решение отличает звонки из клиентской службы банка от звонков мошенников даже при использовании подменных номеров и помогает препятствовать незаконному выводу денег со счетов клиентов [17].

Существующие технические методы противостояния атакам претекстинга основаны на анализе произошедших атак, зафиксированных в правоохранительных органах. Это, конечно, немного сокращает глобальный рост жертв, но в то же время полностью не решает существующую проблему телефонного мошенничества.

Вопросами решения данной проблемы занимаются не только правоохранительные органы, кредитно-финансовые и телеком-организации. Данная тема также привлекает и научные организации.

В работах авторов научных статей [18-20] описаны методы противодействия претекстингу, но они носят в основном информативно-рекомендательный характер.

В своей работе [21] автор цитирует работу автора статьи «Социальная инженерия и кибербезопасность: виктимологический аспект»: «универсального средства защиты от техник социальной инженерии не существует. Даже надежно защищенная при помощи новейших технических и аппаратных средств и изолированная от сети Интернет информационная система уязвима к атакам подобного рода, потому что с ней работают и ею управляют люди. Весь вопрос лишь в том, насколько изоощренную и достоверную схему обмана сможет придумать социальный инженер, чтобы войти в доверие и принудить жертву совершить требуемые и заранее спрогнозированные действия» [22].

Похожий вариант решения в борьбе с угрозами социальной инженерии предложили авторы статьи [23]. Они предложили создание программного комплекса, базирующегося на алгоритмах обработки естественного языка в режиме реального времени, используя метод BERT. Авторы отмечают, что «приложение, базирующееся на данном программном комплексе, будет иметь ряд преимуществ относительно уже существующих продуктов:

1. Обработка непосредственно смысловой нагрузки разговора, позволяющая обнаруживать атаки независимо от того, производились звонки с этого номера телефона ранее или нет;
2. Результат анализа в режиме реального времени, то есть приложение позволяет моментально пресекать возможную атаку со стороны мошенников, не дожидаясь того, когда данный номер телефона будет помечен одним из пользователей;
3. Объективная оценка, не зависящая от личностных качеств и предубеждений пользователей приложения;
4. Безопасность приложения, обусловленная тем, что для функционирования данного программного комплекса не требуется предоставлять доступ к персональной информации, например, к номерам контактных телефонов, записанных на устройстве» [23].

Похожий подход выдвинули авторы статьи [24]. Они предлагают использовать искусственный интеллект в распознавании мошенника по эмоции речи на основе анализа частот-

ных отклонений по каждой букве в диалоге. Предложенный метод выявляет факт эмоционального давления на собеседника.

Как видно, из проведенного исследования, в данное время нет единого универсального подхода или порядка действий для быстрого выявления мошенника в ходе разговора. Также не существует и решения, позволяющего автоматически обнаружить и блокировать звонок мошенника. Проведенное исследование говорит о необходимости разработки алгоритма автоматического обнаружения звонков мошенников. Одним из универсальных способов обнаружения звонков мошенников может явиться использование нейронной языковой модели, использующей семантический анализ речи.

Вывод. Особенностью использования методов социальной инженерии заключается в том, что сложно противостоять, сложно доказать и в настоящее время найти злоумышленника все еще остается трудоемким и трудозатратным процессом. Сколько бы ни информировали население о возможных действиях мошенников через средства массовой информации, все еще жертв от действий злоумышленников, применяющих методы социальной инженерии растет из года в год. Это связано с тем, что мошенники используют особенности человеческой натуры, такие как любопытство, жадность, доверие, уважение, желание помочь другу и т.д. Внедрение технического способа защиты на основе семантического анализа речи посредством нейронной языковой модели позволит предотвратить различные психологические манипуляции злоумышленника.

Библиографический список:

1. О размещении отчетов о проведении национальной оценки рисков отмывания денег и финансирования терроризма / Новости // Росфинмониторинг. – 23.12.2022. – URL: <https://www.fedsfm.ru/releases/6236> (дата обращения 06.04.2023).
2. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 N 63-ФЗ (ред. от 03.04.2023) // Электронно-правовая база «КонсультантПлюс». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_10699/8012ecd64b7c9cfd62e90d7f55f9b5b7b72b755/ (дата обращения 06.04.2023).
3. Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года. / Аналитика // Российская компания, специализирующаяся на разработке решений в сфере информационной безопасности Positive Technologies. – 29.03.2023. – URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/> (дата обращения 06.04.2023).
4. «Противодействие мошенничеству и социальной инженерии» с участием Председателя Банка России Эльвиры Набиуллиной / Новости // Банк России. – 16.02.2023. – URL: <https://www.cbr.ru/press/event/?id=14556> (дата обращения 06.04.2023).
5. Митник, К.Д. Искусство обмана / К.Д. Митник, В.Л. Саймон // Компания АйТи. – 2004. – 360 с.
6. Ревенков, П.В. Социальная инженерия как источник рисков в условиях дистанционного банковского обслуживания / П.В. Ревенков, А.А. Бердюгин // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2017. – № 9(354). – С. 1747-1760.
7. Старостенко, Н.И. Криминалистический аспект техник социальной инженерии при совершении преступлений / Н.И. Старостенко // Вестник Краснодарского университета МВД России. – 2020. – №1(47). – С 80-83.
8. Стеценко Ю.А., Холодковская Н.С. Мошенничество в сети Интернет / Ю.А. Стеценко, Н.С. Холодковская // Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова. – 2021. – №4. – С. 75-80.
9. Созаев, С.С. Социальная инженерия, ее техники и методы ее противодействия / С.С. Созаев, Д.А. Кунашев // Вестник науки: международный журнал. – 2020. – № 2(23). – Т. 1. – С. 85-88.
10. Годунова М.С., Копосова М.С. Социальная инженерия как метод киберпреступления / М.С. Годунова, М.С. Копосова // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». – 2022. – №6 – С. 5573-5580.
11. Социальная инженерия / Блог // ПАО «Ростелеком». – 17.02.2023. – URL: <https://rt-solar.ru/events/blog/3331/> (дата обращения 06.04.2023).
12. Марзоев А.А., Софронов В.А., Щербаков Р.С. Социальная инженерия / А.А. Марзоев, В.А. Софронов, Р.С. Щербаков // Повышение обороноспособности государства 2022: сборник научных трудов по материалам заочной научной конференции. Изд. Санкт-Петербург: ООО «Полторак», 2022. С. 25-31.
13. Риски в сфере кибербезопасности и социальной инженерии / Последние новости России и Мира сегодня // Anticwar.ru. – 2022-06-10. – URL: https://anticwar.ru/riski_v_sfere_kiberbezopasnosti_i_sotsialnoi_indjenerii_9714 (дата обращения 06.04.2023).

14. Как избежать атаки с использованием социальной инженерии / Угрозы // Официальный сайт АО «Лаборатория Касперского». – 06.04.2023. – URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/how-to-avoid-social-engineering-attacks> (дата обращения 06.04.2023).
15. Зотина Е.В. Претекстинг как прием социальной инженерии, используемый телефонными мошенниками: криминологический взгляд на проблему / Е.В. Зотина // Вестник Казанского юридического института МВД России. – 2022. – №4(50). – С.93-99.
16. Котляр Е. О., Мещеряков М. О., Бугаев К. Г. Методы социальной инженерии как инструмент хищения конфиденциальных данных пользователей / Е. О. Котляр, М. О. Мещеряков, К. Г. Бугаев // Охрана, безопасность, связь. – 2021. – №6-2. – С. 223-230.
17. Телефонное мошенничество: как противодействовать обману / Аналитические статьи // Информационно-правовой портал Гарант.ру. – 1.03.2021. – URL: <https://www.garant.ru/article/1448451/> (дата обращения 06.04.2023).
18. Ламинина О.Г. Возможности социальной инженерии в информационных технологиях / О.Г. Ламинина // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2017. – №2. – С.21-23.
19. Репенко В.А., Резниченко С.А. Защита от атак с применением средств и методов социальной инженерии / В.А. Репенко, С.А. Резниченко // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – Том.49, № 4. – С.85-96.
20. Тепляков С.П., Тимохович А.С. Социальная инженерия. Анализ и методы защиты / С.П. Тепляков, А.С. Тимохович // ACADEMY. – 2018. – 7(34). – С.26-27.
21. Моторина В.О. Методы социальной инженерии в обеспечении информационной безопасности в организации / В.О. Моторина // Безопасность информационного пространства-2017: сборник научных трудов по материалам XVI всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Изд. Екатеринбург: «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 2018. С. 281-284.
22. Унукович А. С. Социальная инженерия и кибербезопасность: виктимологический аспект / А.С. Унукович // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2021. – Том 26, № 3(86). – С.346-351.
23. Частикова В.А., Гуляй В.Г. Методика обнаружения атак социальной инженерии на основе алгоритмов анализа естественного языка / В.А. Частикова, В.Г. Гуляй // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2022. – № 3(59). – С.61-71.
24. Филимонов А.В., Осипов А.В., Плешакова Е.С., Гатауллин С.Т. Нейросетевые методы распознавания эмоций речи для противодействия мошенничеству в телекоммуникационных системах / А.В. Филимонов, А.В. Осипов, Е.С. Плешакова, С.Т. Гатауллин // Вопросы кибербезопасности. – 2022. – № 6(52). – С.83-92.

References:

1. On the placement of reports on the national assessment of the risks of money laundering and terrorist financing / News // Rosfinmonitoring. – 23.12.2022. – URL: <https://www.fedsfm.ru/releases/6236> (accessed 06.04.2023). (In Russ)
2. Criminal Code of the Russian Federation form 13.06.1996 N 63-FL (ed. dated 03.04.2023) // Electronic legal base « Consultant Plus». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_10699/8012ecdf64b7c9cfd62e90d7f55f9b5b7b72b755/ (accessed 06.04.2023). (In Russ)
3. Actual cyber threats: results of 2022. / Analytics // Russian company specializing in the development of solutions in the field of information security Positive Technologies. – 29.03.2023. – URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/> (accessed 06.04.2023). (In Russ)
4. «Countering fraud and social engineering» with the participation of Elvira Nabiullina, Governor of the Bank of Russia / News // Bank of Russia. – 16.02.2023. – URL: <https://www.cbr.ru/press/event/?id=14556> (accessed 06.04.2023). (In Russ)
5. Mitnik, K.D. The Art of Deception / K.D. Mitnik, V.L. Saimon. IT Co. 2004; 360. (In Russ)
6. Rebenkov, P.V. Social engineering as a source of risks in remote banking / P.V. Rebenkov, A.A. Berdyugin. *National Interests: Priorities and Security*. 2017; 9(354): 1747-1760. (In Russ)
7. Starostenko, N.I. Forensic aspect of social engineering techniques in the commission of crimes. *Herald of the Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2020;1(47): 80-83. (In Russ)
8. Stetsenko Y.A., Kholodkovskaya N.S. Fraud on the Internet / Y.A. Stetsenko, N.S. Kholodkovskaya. *Herald of the Taganrog Institute named after A.P. Chekhov*. 2021;4: 75-80. (In Russ)
9. Sozaev, S.S. Social engineering, its techniques and methods of countering it / S.S. Sozaev, D.A. Kunashev. *Science Herald: International Journal*. 2020; 2(23) (1. 1.): 85-88. (In Russ)
10. Godunova M.S., Koposova M.S. Social engineering as a method of cybercrime. *Scientific and educational magazine for students and teachers «StudNet»*. 2022;6:5573-5580. (In Russ)
11. Social engineering / Blog // PJSC « Rostelecom». – 17.02.2023. – URL: <https://rt-solar.ru/events/blog/3331/> (accessed 06.04.2023). (In Russ)
12. Marzoev A.A., Sofronov V.A., Shcherbakov R.S. Social engineering / A.A. Marzoev, V.A. Sofronov, R.S. Shcherbakov. *Increasing the defense capability of the state 2022: a collection of scientific papers based on*

- the materials of the correspondence scientific conference. Ed. St. Petersburg: Poltorak LLC. 2022; 25-31. (In Russ)*
13. Риски в сфере кибербезопасности и социальной инженерии / Последние новости России и Мира сегодня // Anticwar.ru. – 2022-06-10. – URL: https://anticwar.ru/riski_v_sfere_kiberbezopasnosti_i_sotsialnoi_indjenterii_9714 (accessed 06.04.2023). (In Russ)
 14. How to avoid a social engineering attack / Threats // Official website of JSC “Kaspersky Lab”. – 06.04.2023. – URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/how-to-avoid-social-engineering-attacks> (accessed 06.04.2023). (In Russ)
 15. Zotina E.V. Pretexting as a social engineering technique used by telephone scammers: a criminological view of the problem. *Herald of the Kazan Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2022;4(50):93-99. (In Russ)
 16. Kotlyar E. O., Meshcheryakov M. O., Bugaev K. G. Social engineering methods as a tool for stealing user confidential data. *Security, safety, communication*. 2021;6-2: 223-230. (In Russ)
 17. Phone Fraud: How to Counteract Fraud / Analytical articles/ Information and legal portal Гарант.ру. –1.03.2021. – URL: <https://www.garant.ru/article/1448451/> (accessed 06.04.2023). (In Russ)
 18. Laminina O.G. Possibilities of social engineering in information technologies. *Humanities, socio-economic and social sciences*. 2017;2:21-23. (In Russ)
 19. Repenko V.A., Reznichenko S.A. Protection against attacks using social engineering tools and methods. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2022;49(4):85-96. (In Russ)
 20. Teplyakov S.P., Timokhov A.S. Social engineering. Analysis and protection methods. *ACADEMY*. 2018; 7(34):26-27. (In Russ)
 21. Motorina V.O. Methods of social engineering in ensuring information security in an organization. Security of the information space-2017: collection of scientific papers based on the materials of the XVI All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. Ed. Ekaterinburg: «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin», 2018; 281-284. (In Russ)
 22. Unukovich A.S. Social Engineering and Cybersecurity: The Victimological Aspect. *Psychopedagogy in law enforcement*. 2021; 3(86):346-351. (In Russ)
 23. Chastikova V.A., Gulyai V.G. Technique for detecting social engineering attacks based on natural language analysis algorithms. *Caspian Journal: Management and High Technologies*. 2022; 3(59):61-71. (In Russ)
 24. Filimonov A.V., Osipov A.V., Pleshakova E.S., Gataullin S.T. Neural Network Methods for Recognizing Speech Emotions to Counter Fraud in Telecommunication Systems. *Cyber security issues*. 2022;6(52):83-92. (In Russ)

Сведения об авторах:

Ульяна Анатольевна Михалёва, кандидат технических наук, доцент кафедры многоканальных телекоммуникационных систем института математики и информатики; uamikhaleva@mail.ru

Information about the authors:

Ulyana A. Mikhaleva, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Department of Multichannel Telecommunication Systems of the Institute of Mathematics and Informatics; uamikhaleva@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 23.04.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 14.05.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 14.05.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.04, 004.89

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-117-125

Обзорная статья / Review Paper

Применение технологий искусственного интеллекта в HR-менеджменте

С.В. Окладникова¹, А.С. Панкрашов²

¹Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,

¹414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, Россия,

²ООО «Алиал Групп»,

²191040, г. Санкт-Петербург, Лиговский пр-кт, д. 50 литера П, офис 5, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является проведение анализа возможности применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) для решения задач, связанных с подбором сотрудников в проектные команды, основываясь на производственных показателях и HR-метриках персонала. **Методы.** Исходя из того, что в сфере ИИ под методами подразумеваются алгоритмы, при помощи которых решаются поставленные задачи, был выделен следующий ряд методов, относящихся к теории ИИ: нейронные сети, нечеткая логика, экспертные системы, эволюционное моделирование, Machine Learning. **Результат.** Приведен пример применения ИИ в ситуации, когда необходимо провести набор персонала на проект исходя из стажа и степени загруженности (где для загруженности применяется шкала со значениями от «высоко нагружен» до «не нагружен»). Для описанного примера дано пояснение, раскрывающее применение технологий ИИ (таких, как вопросно-ответные системы) в целях формирования HR-метрик и производственных показателей. Дополнительно описан процесс применения целевой функции для получения числового коэффициента, исходя из отдельных метрик или их комбинации, чтобы, основываясь на результирующем показателе функции принять соответствующее её значению решение. **Вывод.** Рассмотрены исторические закономерности, которые привели сферу управления персоналом к преобразованию и которые сделали актуальным в данной сфере применение технологий ИИ. Постоянное развитие и внедрение интеллектуальных инструментов в практику проектного менеджмента облегчает HR-процессы и повышает эффективность управления сотрудниками. Использование рассмотренных в исследовании технологий ИИ поможет успешно контролировать состояние, как и проекта, так и проектной команды, что положительно скажется на продуктивности и прибыли предприятия.

Ключевые слова: управление проектами, цифровизация, искусственный интеллект, HR-менеджмент, HR-метрики

Для цитирования: С.В. Окладникова, А.С. Панкрашов. Применение технологий искусственного интеллекта в HR-менеджменте. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):117-125. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-117-125

Application of artificial intelligence technologies in HR management

S.V. Okladnikova¹, A.S. Pankrashov²

¹Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,

¹18 Tatishcheva St., Astrakhan 414056, Russia,

²LLC "Alial Group",

² 50 Ligovsky Ave., litera P, office 5, St. Petersburg 5191040, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to analyze the possibility of using AI technologies to solve problems related to the selection of employees in project teams, based on production indicators and HR metrics of personnel. **Method.** Based on the fact that in the field of

AI, methods mean algorithms by which tasks are solved, the following number of methods related to AI theory were identified: neural networks, fuzzy logic, expert systems, evolutionary modeling, Machine Learning. **Result.** An example of the use of AI is given in a situation where it is necessary to recruit personnel for a project based on the length of service and the degree of workload (where a scale with values from “highly loaded” to “not loaded” is used for workload). For the described example, an explanation is given that reveals the use of AI technologies (such as question-and-answer systems) in order to form HR metrics and production indicators. Additionally, the process of applying the objective function to obtain a numerical coefficient based on individual metrics or a combination of them is described in order to make a decision corresponding to its value based on the resulting indicator of the function. **Conclusion.** Within the framework of the conducted research, the historical patterns that led the field of personnel management to transformation and which made the use of AI technologies relevant in this area were considered. Continuous development and implementation of intelligent tools in the practice of project management facilitates HR processes and increases the efficiency of employee management. The use of AI technologies considered in the study will help to successfully monitor the state of both the project and the project team, which will have a positive impact on the productivity and profit of the enterprise.

Keywords: project management, digitalization, artificial intelligence, HR management, HR metrics

For citation: S.V. Okladnikova, A.S. Pankrashov. Application of artificial intelligence technologies in HR management. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):117-125. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-117-125

Введение. Принятая в 2018 году правительством РФ национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [1] определила основной вектор трансформации бизнес–процессов современного производства, направленный на цифровизацию всех отраслей экономики и социальной сферы. Определяющим условием устойчивости и перспективы развития успешного бизнеса является его способность быстро реагировать на изменяющиеся потребности клиентов, выводить на рынок новые продукты и услуги. Внедрение современных подходов управления и формирование цифровой среды предприятия повышает оперативность и эффективность принятия управленческих решений [2]. Цифровая трансформация бизнеса предусматривает не только развитие цифровой инфраструктуры предприятия на базе технологий искусственного интеллекта, но и переориентацию системы управления на проектный менеджмент, в основе которого лежат гибкие методологии (Kanban, Agile, Scrum, Lean, Crystal Clear, DSDM, AUP, Feature-driven development, ICONIX и др.) [3]. В понятие проектного менеджмента входит набор инструментов, методик, навыков и техник, который применяется для достижения цели и может варьироваться в зависимости от изменяющихся условий, в которых ведется работа (появления, как рисков, так и возможностей).

Становление методологии проектного менеджмента как отдельного научного направления началось в 1930 г. при разработке различных инженерных проектов (военно-морские сооружения, плотины, шоссе, университетские городки и др.) [4 – 6]. В 60-70 годы прошлого века были сформулированы основные положения методологии, а в 90-е – разработаны и введены в действие международные (ISO 10006-10007) и национальные (APM, PMI, AI PM) стандарты по управлению проектами [7 – 9]. С развитием инфокоммуникационных технологий разрабатывалось и специализированное программное обеспечение для поддержки процессов в области управления проектами [10].

Первые информационные системы управления проектами (ИСУП) появились около сорока лет назад и использовали алгоритмы сетевого планирования и расчета временных параметров проекта по методу критического пути, что позволяло представить проект в виде сетевой модели, на основе которой рассчитывались сроки работы над проектом. Для визуализации использовались различные представления диаграммы Ганта [11]. Впоследствии

были добавлены и другие функциональные возможности, например, ресурсное и сетевое планирование проекта, средства мониторинга выполнения задач и др. [12].

Изначально ИСУП были востребованы при реализации крупных строительных, инженерных или оборонных проектов, т.к. их сопровождение требовало не только определенных профессиональных знаний в области менеджмента, но и навыков владения работой с конкретной информационной системой, а высокая стоимость делала их недоступными для средних и малых предприятий или организаций.

Несмотря на общие принципы, заложенные в методологии и разработанные стандарты в области управления проектами, в каждой информационной системе был реализован свой набор функциональных возможностей и технологических подходов. Несомненными мировыми лидерами в области разработки ИСУП были такие компании как Microsoft и Symantec [13]. Развитие информационных технологий, снижение стоимости вычислительной техники привело к снижению и стоимости ИСУП, что в свою очередь сделало их доступными для компаний среднего и малого бизнеса. В настоящее время использование программного обеспечения по управлению проектами вошло в повседневную практику менеджеров и сотрудников всех компаний, независимо от их статуса.

Развитие технологий искусственного интеллекта и их внедрение в ИСУП существенно повышает эффективность процесса управления проектами. Например, использование искусственного интеллекта при обработке большого массива разнородных данных, агрегируемых из различных источников, позволяет сократить время, затрачиваемое на анализ информации, выявить скрытые риски, которые могут угрожать успешной реализации проекта, извлечь из данных не очевидные, но выгодные решения, визуализировать данные, освещая в ходе реализации проекта узкие места, которые непросто обнаружить без комплексной оценки и пр. [14].

Современный рынок IT-продуктов предлагает широкий выбор различных информационных систем управления проектами (в т.ч. разработанных отечественными IT-компаниями) с интеллектуальной поддержкой, как отдельных этапов жизненного цикла проекта, так и полного цикла управления проектом, например, Smart Projects [15], Aurora [16], LiquidPlanner [17], Infosys Nia [18], Cloverleaf [19], PineStem [20] и др.

В рамках решения задач управления проектом одной из актуальных является задача по управлению человеческими ресурсами проекта (HR-менеджмент проекта). В частности, для отдельно взятого проекта необходимо учитывать мотивацию участников команды, их профессиональный потенциал, компетенции, в т.ч. личностные (например, конфликтность, ответственность и т.п.), занятость в других проектах и др. Для стабильной работы команды нужно, чтобы зоны ответственности и роли в команде были четко распределены между участниками. Если сотрудники дублируют друг друга, возникает конкуренция и ресурсы распределяются неэффективно. В настоящее время существуют различные методики управления командами, позволяющие избежать ряда проблем в командной работе [21 – 23], основанные на анализе большого объема данных, полученных на этапе трудоустройства сотрудников в компанию, их карьерной карты, результатов проводимых опросов, степени участия и эффективности выполнения работы в других проектах и пр.

Постановка задачи. В статье авторы рассматривают актуальные вопросы, связанные с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ) с целью поддержки процессов принятия решения по формированию проектных команд. В управлении производством HR-менеджмент (от англ. human resource management – управление человеческими ресурсами) представляет собой самостоятельную отрасль, такую же, как маркетинг, финансы, производство или продажи. В разных компаниях могут существовать разные HR-структуры, при этом их основная функция заключается в экспертной оценке персонала. Каждая компания самостоятельно определяет цели и задачи проведения оценки. Объективный анализ профессиональной деятельности сотрудников формирует у руководителя представление о потенциале работников, уровне их квалификации. Методы оценки персонала классифицируют на

количественные (измеряющие результативность работников на основе их показателей работы), качественные (описывающие личностные и поведенческие характеристики) и комбинированные (сочетающие в себе количественные и качественные методы оценки). В основе многих методов лежит статистическая обработка данных, измеряющих результативность и эффективность деятельности предприятия на основе измерения количественных результатов сотрудников за заданный период [24].

На российском рынке существует много программных решений для оценки персонала, отличающихся между собой набором функционала, глубиной методической проработки, удобством интерфейса и пр. [25, 26, 27 и др.]. Каждый из программных продуктов имеет ряд, как достоинств, так и недостатков. Основная сложность их применения заключается в автоматизации процесса сбора, структурирования и оценки информации.

В качестве одной из тенденций развития информационных систем выступает применение технологий ИИ. В настоящее время уже существуют решения по использованию интеллектуальных технологий в HR-менеджменте. Наиболее активно ИИ применяется в системах подбора персонала. На базе облачных платформ реализованы различные сервисы по подбору и анализу резюме кандидатов [28, 29]. Цифровые ассистенты позволяют проводить первичные звонки и собеседования, задавая разнонаправленные вопросы и анализируя эмоции собеседника [30, 31]. Виртуальные ассистенты могут быть полезны при удаленном трудоустройстве сотрудника (проводить вводный курс), при обучении (в формате чат-ботов или виртуальных преподавателей) или опросах, анализировать информацию о личной эффективности каждого специалиста и подбирать для него индивидуальный план развития и обучения, выявлять снижение продуктивности сотрудника и рассчитывать индекс выгорания, что может помочь вовремя принять меры и сохранить ценного специалиста и пр. Применение ИИ позволяет избавить HR-специалистов от рутинной работы с данными и расчетами и сфокусировать их внимание на организацию более высокоуровневых процессов.

Одной из актуальных задач, решаемых в управлении проектами – это формирование команды, специфика которой связана со спецификой проекта, его сложностью, значимостью и сроками. От того, насколько правильно будет подобран состав команды, насколько профессионально и слажено эта команда будет работать, напрямую зависит успех реализации проекта. В основе одной из распространенных практик формирования команды лежит измерение метрик человеческих ресурсов (HRM – Human Resource metrics), которые помогают организациям отслеживать ключевые области в своих HR-данных, т.е. помогают отследить и измерить эффективность сотрудников, их инициативность, активность и вовлеченность в проект [32].

С учетом вышесказанного, была поставлена задача о проведении исследования о возможности применения технологий ИИ для решения задач по подбору персонала в проектную команду, основываясь на HR-метриках сотрудников и производственных показателях.

Методы исследования. В сфере ИИ под методом понимают алгоритм решения задачи. В теории ИИ принято выделять следующие методы: нейронные сети, нечеткая логика, экспертные системы, эволюционное моделирование, Machine Learning [33].

Нейронная сеть представляет собой математическую модель, имитирующую центральную нервную систему человека. Данный метод применяется в задачах распознавания образов, прогнозирования, классификации, кластеризации и оптимизации. Нечеткая логика относится к более высокому уровню работы центральной нервной системы, чем искусственные нейронные сети. Нечеткая логика связана с качественной оценкой анализируемых процессов и явлений и принятием решений на основе этой оценки.

Методы нечеткой логики используются в экспертных системах и системах управления объектом. Экспертная система (ЭС) – это искусственный аналог лица, принимающего решения (или консультанта) в конкретной предметной области. Структура и логико-мате-

математический аппарат экспертной системы определяются, в первую очередь, её назначением и предметной областью. Сами решения, предлагаемые системой, могут вырабатываться с использованием различных механизмов вывода. Методы эволюционного моделирования применяются в случае, когда пространство поиска решения настолько большое и сложно устроенное, что традиционные и более простые методы просто неспособны выполнить глобальный поиск решения или способны, но на это потребуется неприемлемо много времени. Machine Learning (машинное обучение) – это целый класс методов искусственного интеллекта, которые подразумевают решение задач не напрямую, а путем предварительного обучения как до, так и в процессе принятия решения. Методы данной группы используются для обнаружения определенных закономерностей в общем объеме данных, которые могут быть получены в различных сферах человеческой деятельности.

Например, методы Data Mining могут быть использованы для больших данных (Big Data) для подтверждения каких-либо гипотез и принятия управленческих решений. Среди большого количества методов ИИ в практике HR-менеджмента наибольшее применение получили экспертные системы и методы Data Mining. Экспертные системы представляют собой сложные программные комплексы, аккумулирующие знания специалистов в конкретных предметных областях и тиражирующие этот эмпирический опыт для консультаций менее квалифицированных пользователей. ЭС позволяют решать задачи отбора персонала, анализа межличностных отношений в коллективе, выявить уровень профессиональной квалификации работников, их психофизиологические параметры, также проследить за динамикой изменения определенных характеристик, выделить те из них, которые имеют отклонения от общепринятых общественных норм. ЭС обладают рядом особенностей:

- 1) используют базу знаний, сформированную человеком в отдельной области;
- 2) способны сформировать решения без участия человека и часто превосходят его возможности;
- 3) способны пояснить свое решение.

Для представления знаний в ЭС, помимо математической, используется логико-лингвистическая модель, позволяющая формировать экспертные заключения на естественном языке. Для представления результатов работы ЭС, связанных с оценкой персонала, используются лингвистические переменные, значением которых являются слова и словосочетания естественного языка, что позволяет получить на выходе текстовые заключения о результатах оценки.

Лингвистическая переменная задается пятеркой: $\{x, T(x), X, G, M\}$, где x – имя переменной, $T(x)$ – множество имён лингвистических значений переменной, каждое из которых является нечёткой переменной на множестве X , G – синтаксическое правило для образования имён значений, M – семантическое правило для ассоциирования каждой величины значения с её понятием. Эффективность работы ЭС определяется оптимальной настройкой значений лингвистических переменных [34].

Методы Data Mining – это способы классификации, моделирования и прогнозирования данных, при помощи которых проводится аналитическая работа по выявлению закономерностей в больших массивах информации. Интеллектуальный анализ данных зависит от эффективного сбора, хранения и компьютерной обработки данных. С помощью методов Data Mining выполняется систематизация данных по критериям количества и качества. При обработке массивов информации используются методы: кластерный анализ (иерархический и неиерархический); байесовские сети; поиск явных и неявных ассоциаций; линейная регрессия; представление сведений в визуальной форме; эволюционное программирование; генетические алгоритмы. При этом каждый из перечисленных методов применяется для выборки конкретных данных, построения прогностической модели или очистки базы данных от ошибочных сведений [35]. Выбор того или иного метода (или группы методов) ИИ определяется спецификой решаемой с их помощью задачи.

Обсуждение результатов. Рассмотрим возможное применение искусственного интеллекта при формировании команды для реализации проекта по разработке программного продукта в IT-компании, в которой трудоустроены более 100 программистов. У каждого программиста есть стаж, напрямую влияющий на их опыт и навыки. Для оценки степени загруженности используется шкала со значениями от «высоко нагружен» до «не нагружен». В процессе подбора кандидатов необходимо выполнить выбор из двух вариантов:

- взять в команду сотрудников в статусе «не нагружен»;
- заняться менеджментом задач, чтобы разгрузить сотрудников в статусе «высоко нагружен».

Выбор будет выполняться на основе значений показателей «стаж» и «загруженность». Предположим, что необходимо привлечь программистов с опытом разработки коммерческих проектов более двух лет. Но в настоящее время все они имеют статус «высоко загружен». В этом случае необходимо либо решить вопрос о снятии с них части обязанностей в других проектах, либо снизить требования и обратить внимание на других кандидатов.

В описанном примере ряд выполняемых системой действий может быть неограниченным. Сбор, анализ данных и поиск оптимального решения может быть выполнен с использованием нейронных сетей. HR-менеджер формирует набор актуальных HR-метрик и их приоритетность, а система, на основе заложенных в нее определенных правил предоставляет решение. Кроме основных система может учитывать дополнительные HR-метрики, например, «коэффициент отсутствия» (представляет собой количество дней, в течение которых сотрудники отсутствуют, не учитывая выходные и праздничные дни, которые закреплены на уровне законодательства) и «овертаймы» (количество отработанных часов сверхурочно) и пр. Эти данные могут фиксироваться в табелях учета времени.

К дополнительным метрикам также можно отнести «уровень стресса» сотрудника, его «лояльность» и пр. Для получения информации может проводиться анкетирование с использованием различных вопросно-опросных систем, например, чат-ботов. Такой вариант анкетирования является наиболее комфортным, так как большинство корпоративных мессенджеров и любых систем обмена сообщениями в целом имеют открытое API или библиотеки и SDK для разработчиков, а также обширную документацию с примерами кода на разных языках программирования. В рамках анкетирования система может задать пользователю несколько вопросов, по его ответам определяя «ключевые слова» (интененты) и в результате высчитывая его оценку в виде коэффициента (например, коэффициент лояльности).

На основе отобранных метрик система ИИ рассчитывает целевую функцию, которая представляет собой сумму (произведение или иную функцию) числовых нормированных параметров. По значению целевой функции система сформирует подходящее решение или ряд решений, которые будут основаны на отдельных метриках или их комбинациях в рамках целевой функции, основываясь на выработанных правилах. Также это может работать и в другом направлении – система может отбирать только лучших сотрудников из списка, чтобы передать им важные в рамках проектной работы задачи.

Объективность полученных результатов всегда будет зависеть от достоверности используемых системой данных, поэтому актуально их регулярное обновление и своевременное внесение в базу данных данных.

Вывод. В проведенном исследовании авторами рассмотрены исторические закономерности, которые привели к преобразованию сферы управления персоналом и применению в ней технологий искусственного интеллекта. Активное развитие и внедрение инструментов ИИ в практику управления проектами облегчает HR-процессы и повышает эффективность управления человеческими ресурсами. Рассмотрены основные методы ИИ, использование которых поможет успешно контролировать состояние проектов в компании и проектной команды, а также принимать правильные управленческие решения, что будет напрямую сказываться на продуктивности и прибыли предприятия.

Библиографический список:

1. «Цифровая экономика РФ» // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (дата обращения: 23.03.2023).
2. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» [Электронный ресурс] // pdf.standartgost.ru URL: <https://pdf.standartgost.ru/catalog/Data2/1/4293726/4293726917.htm> (дата обращения: 23.03.2023).
3. Пантелеева Т.А., Арустамов Э.А., Максаев А.А. Возможности искусственного интеллекта в управлении кадровыми ресурсами в условиях свободного предпринимательства // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» 2019 №3 URL: <https://resources.today/PDF/10ECOR319.pdf> (дата обращения: 23.03.2023).
4. История и методология управления проектами [Электронный ресурс] // Система управления обучением ФГАОУ ВО «СГЭУ» URL: <https://lms2.sseu.ru/mod/book/tool/print/index.php?id=71818> (дата обращения: 23.03.2023)
5. История и эффективность управления проектами [Электронный ресурс] // Проектные сервисы URL: <https://pmservices.ru/project-management-news/istoriya-i-effektivnost-upravleniya-proektami/> (дата обращения: 23.03.2023).
6. History of project management [Электронный ресурс] // Microsoft URL: <https://support.microsoft.com/en-us/office/history-of-project-management-a2e0b717-094b-4d1e-878a-fcd0978891cd> (дата обращения: 23.03.2023).
7. What is APM? Application performance monitoring guide [Электронный ресурс] // TechTarget URL: <https://www.techtarget.com/searchenterprisedesktop/definition/Application-monitoring-app-monitoring> (дата обращения: 23.03.2023).
8. About Standards [Электронный ресурс] // PMI URL: <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/about> (дата обращения: 23.03.2023).
9. What is an AI product manager? [Электронный ресурс] // airfocus URL: <https://airfocus.com/glossary/what-is-ai-product-manager/> (дата обращения: 23.03.2023).
10. Информационные системы управления проектами [Электронный ресурс] // Хабр URL: <https://habr.com/ru/post/23508/> (дата обращения: 23.03.2023).
11. Визуальные методы планирования проекта [Электронный ресурс] // Creately URL: <https://creately.com/blog/ru/> (дата обращения: 23.03.2023).
12. Сетевое планирование и управление проектами [Электронный ресурс] // Студенческие реферативные статьи и материалы URL: https://studref.com/360343/ekonomika/setevoe_planirovanie_upravlenie_proektami (дата обращения: 23.03.2023).
13. Сафонова А.А. Куксачева О.Н. // Формула менеджмента 2020 №1 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-sistemy-upravleniya-proektami> (дата обращения: 23.03.2023).
14. Информационная система управления проектами [Электронный ресурс] // Мегалплан URL: <https://megaplan.ru/blog/crm/informacionnaya-sistema-upravleniya-proektami/> (дата обращения: 23.03.2023).
15. Генезис Знаний Smart Projects [Электронный ресурс] // Генезис Знаний URL: <http://www.kg.ru/solutions/smart-projects/> (дата обращения: 23.03.2023).
16. Aurora-CCPM Multi-Project Critical Chain Project Management [Электронный ресурс] // Aurora-CCPM URL: <https://aurora-ccpm.com/> (дата обращения: 23.03.2023).
17. The Market's Only Predictive Scheduling Solution [Электронный ресурс] // LiquidPlanner URL: <https://www.liquidplanner.com/> (дата обращения: 23.03.2023).
18. Infosys [Электронный ресурс] // Infosys Nia URL: <https://www.infosys.com/nia/> (дата обращения: 23.03.2023).
19. Cloverleaf - Build Better Teams Through Assessments and Coaching [Электронный ресурс] // Cloverleaf URL: <https://cloverleaf.me/> (дата обращения: 23.03.2023).
20. Best Project Management Tool [Электронный ресурс] // PineStem URL: <https://pinestem.com/> (дата обращения: 23.03.2023).
21. Колосович Д. В. Чернышевич С. А. Проблемы в управлении проектами и способы их решения // Научная конференция студентов и аспирантов БГУ. В трех частях. 2016 URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/168312> (дата обращения: 23.03.2023).
22. Усова Ю.П. Чинарева О.И. Проблемы в управлении проектами и способы их решения [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования 2013 № 6 URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11844> (дата обращения: 23.03.2023).
23. Алиев О.М. Искусственный интеллект на службе HR-МЕНЕДЖЕРОВ // Управленческий учет 2022 №3-2 URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48323265> (дата обращения: 23.03.2023).
24. Количественная и Качественная Оценка Персонала [Обзор Методов] [Электронный ресурс] // TestWork URL: <https://testwork.io/blog/kolichestvennaya-i-kachestvennaya-ocenka-personala/> (дата обращения: 30.03.2023).

25. Beehive | HR платформа для автоматизации процессов адаптации, оценки и развития сотрудников [Электронный ресурс] // Beehive URL: <https://b2b.beehive.team/> (дата обращения: 30.03.2023).
26. Оценка персонала в организации — система оценки и развития сотрудников | StartExam [Электронный ресурс] // StartExam URL: <https://www.startexam.ru/> (дата обращения: 30.03.2023).
27. Облачная HCM-платформа для автоматизации HR процессов и управления талантами [Электронный ресурс] // МояКоманда URL: <https://моякоманда.рф> (дата обращения: 30.03.2023).
28. HR-платформа Пульс [Электронный ресурс] // Продукты Сбера для разработчиков URL: <https://developers.sber.ru/portal/products/pulse> (дата обращения: 30.03.2023).
29. Умные HR-решения для развития людей и бизнеса от Potok (TalentTech) [Электронный ресурс] // ПОТОК URL: <https://potok.io/> (дата обращения: 30.03.2023).
30. Вера, робот-рекрутер [Электронный ресурс] // Робот Вера URL: <https://hr.robotvera.ru/static/newrobot/index.html> (дата обращения: 30.03.2023).
31. Чат-бот для HR и рекрутинга [Электронный ресурс] // Чатим URL: <https://chatim.io/chat-bot-rekruting-hr> (дата обращения: 30.03.2023).
32. HR-метрики: зачем нужны и что измеряют + 28 примеров [Электронный ресурс] // HURMA URL: <https://hurma.work/rf/blog/hr-metriki-zachem-nuzhny-i-chto-izmeryayut-28-primerov-2/> (дата обращения: 30.03.2023).
33. Методы искусственного интеллекта [Электронный ресурс] // aisimple.ru URL: <https://aisimple.ru/6-methody-ai.html> (дата обращения: 30.03.2023).
34. Полещук О.М. Системный анализ и обработка групповой экспертной информации на основе лингвистических переменных // Лесной вестник 2015 №1 Том 19 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyu-analiz-i-obrabotka-gruppovoy-ekspertnoy-informatsii-na-osnove-lingvisticheskikh-peremennykh> (дата обращения: 30.03.2023).
35. Обзор методов DATA MINING [Электронный ресурс] // АСУ-АНАЛИТИКА URL: <https://asu-analitika.ru/obzor-metodov-data-mining> (дата обращения: 30.03.2023).

References:

1. «Digital Economy of the Russian Federation». Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
2. Decree of the President of the Russian Federation 490 dated October 10, 2019 “On the development of artificial intelligence in the Russian Federation”. pdf.standartgost.ru. URL: <https://pdf.standartgost.ru/catalog/Data2/1/4293726/4293726917.htm> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
3. Panteleeva T.A., Arustamov E.A., Maksaev A.A. The possibilities of artificial intelligence in the management of human resources in the conditions of free enterprise. Online magazine Waste and Resources. 2019; 3. URL: <https://resources.today/PDF/10ECOR319.pdf> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
4. History and methodology of project management. Training management system of FGAOU VO SGEU. URL: <https://lms2.sseu.ru/mod/book/tool/print/index.php?id=71818> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
5. History and effectiveness of project management. Project services. URL: <https://pmservices.ru/project-management-news/istoriya-i-effektivnost-upravleniya-proektami/> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
6. History of project management. Microsoft. URL: <https://support.microsoft.com/en-us/office/history-of-project-management-a2e0b717-094b-4d1e-878a-fcd0978891cd> (date of circulation: 03/23/2023).
7. What is APM? Application performance monitoring guide. TechTarget. URL: <https://www.techtarget.com/searchenterprisedesktop/definition/Application-monitoring-app-monitoring> (date of circulation: 03/23/2023).
8. About Standards [Electronic resource]. PMI. URL: <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/about> (date of circulation: 03/23/2023).
9. What is an AI product manager? airfocus. URL: <https://airfocus.com/glossary/what-is-ai-product-manager/> (date of circulation: 03/23/2023).
10. Project management Information systems. Habr. URL: <https://habr.com/ru/post/23508/> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
11. Visual methods of project planning. Creately. URL: <https://creately.com/blog/ru/> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
12. Network planning and project management. Student abstract articles and materials. URL: https://studref.com/360343/ekonomika/setevoe_planirovanie_upravlenie_proektami (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
13. Safonova A.A. Kuksacheva O.N. Formula of Management. 2020; 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-sistemy-upravleniya-proektami> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
14. Project management Information System. Megaplan. URL: <https://megaplan.ru/blog/crm/informacionnaya-sistema-upravleniya-proektami/> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)

15. Genesis of Knowledge Smart Projects. The Genesis of Knowledge. URL: <http://www.kg.ru/solutions/smart-projects/> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
16. Aurora-CCPM Multi-Project Critical Chain Project Management. Aurora-CCPM. URL: <https://aurora-ccpm.com/> (date of circulation: 03/23/2023).
17. The Market's Only Predictive Scheduling Solution. LiquidPlanner. URL: <https://www.liquidplanner.com/> (date of circulation: 03/23/2023).
18. Infosys. Infosys Nia. URL: <https://www.infosys.com/nia/> (date of circulation: 03/23/2023).
19. Cloverleaf - Build Better Teams Through Assessments and Coaching. Cloverleaf. URL: <https://cloverleaf.me/> (date of circulation: 03/23/2023).
20. Best Project Management Tool. PineStem. URL: <https://pinestem.com/> (date of circulation: 03/23/2023).
21. Kolosovich D. V. Chernyshevich S. A. Problems in project management and ways to solve them. Scientific conference of students and postgraduates of BSU. In three parts. 2016 URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/168312> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
22. Usova Yu.P. Chinareva O.I. Problems in project management and ways to solve them. Modern problems of science and education. 2013; 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11844> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
23. Aliyev O.M. Artificial intelligence in the service of hr managers. managerial accounting. 2022; 3-2. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48323265> (date of circulation: 03/23/2023). (In Russ)
24. Quantitative and Qualitative Assessment of Personnel [Review of Methods]. URL: <https://testwork.io/blog/kolichestvennaya-i-kachestvennaya-ocenka-personala/> (date of circulation: 30.03.2023). (In Russ)
25. Beehive HR platform for automating the processes of adaptation, evaluation and development of employees. Beehive. URL: <https://b2b.beehive.team/> (date of circulation: 03/03/2023). (In Russ)
26. Personnel evaluation in the organization - employee evaluation and development system / StartExam. URL: <https://www.startexam.ru/> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
27. Cloud-based HCM platform for automation of HR processes and talent management. MoyaKomanda. URL: <https://моякоманда.рф> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
28. HR-platform Pulse. Sber products for developers. URL: <https://developers.sber.ru/portal/products/pulse/> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
29. Smart HR solutions for people and business development from Potok (TalentTech). POTOK. URL: <https://potok.io/> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
30. Vera, robot recruiter. Robot Vera. URL: <https://hr.robotvera.ru/static/newrobot/index.html> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
31. Chatbot for HR and recruiting. Chat URL: <https://chatim.io/chat-bot-rekruting-hr> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
32. HR metrics: why are we needed and what is measured by + 28 examples. URL: <https://hurma.work/ru/blog/hr-metriki-zachem-nuzhny-i-cto-izmeryayut-28-primerov-2/> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
33. Methods of artificial intelligence. aisimple.ru. URL: <https://aisimple.ru/6-metody-ai.html> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
34. Poleshchuk O.M. System analysis and processing of group expert information based on linguistic variables. Forest Bulletin. 2015; 1; Volume 19. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-analiz-i-obrabotka-gruppovoy-ekspertnoy-informatsii-na-osnove-lingvisticheskikh-peremennyh> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)
35. Overview of data mining methods. asu-analitika URL: <https://asu-analitika.ru/obzor-metodov-data-mining> (date of circulation: 03/30/2023). (In Russ)

Сведения об авторах:

Окладникова Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического проектирования и моделирования; okladnikova.s.v@yandex.ru

Панкрашов Александр Сергеевич, ведущий инженер-разработчик отдела внедрения информационных систем ООО «Алиал Групп»; a.pankrashov@alial.group

Information about authors:

Svetlana V. Okladnikova, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Department of Automatic Design and Modeling Systems; okladnikova.s.v@yandex.ru

Alexander S. Pankrashov, Leading Engineer-Developer of the Information Systems Implementation Department of Alial Group LLC; a.pankrashov@alial.group

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 20.04.2022.

Одобрена после рецензирования / Revised 18.05.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 18.05.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.82: 004.89

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-126-133

Оригинальная статья/ Original Paper

Онтологическая модель знаний как основа автоматизации процесса распределения квот добычи водных биологических ресурсов и контроля за уровнем их освоения

А.В. Олейникова¹, А.А. Олейников²

¹Астраханский государственный технический университет,

¹414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Россия,

²Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,

²414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, Россия

Резюме. Цель. В настоящей работе рассмотрен процесс разработки онтологической модели знаний органов государственного контроля в области квотирования добычи водных биологических ресурсов. Необходимость разработки данной модели возникла из-за недостаточного уровня автоматизации извлечения знаний из данных собираемых и обрабатываемых в ручном режиме от восемнадцати территориальных управлений федерального агентства по рыболовству. Недостаточная скорость сбора и обработки данных о текущем уровне промышленной добычи водных биологических ресурсов может стать причиной не корректного планирования при последующем распределении квот на вылов, что может привести к снижению биологического разнообразия в водоемах Российской Федерации с последующей утратой видов водных биологических ресурсов. **Метод.** В исследовании использовались методы анализа теоретической и нормативно-правовой документации, анализа статистических данных, а также вторичного анализа данных. **Результат.** Разработана объектная онтологическая модель знаний органов государственного контроля в области квотирования добычи водных биологических ресурсов. **Вывод.** Разработанная онтологическая модель позволяет ускорить извлечение знаний из агрегируемых данных по уровню распределения и освоения квот на вылов водных биологических ресурсов, а также служит основой для создания полноценной информационной системы учета добычи водных биологических ресурсов и контроля за их популяцией.

Ключевые слова: объектная онтологическая модель, водные биологические ресурсы, информационная система, квоты

Для цитирования: А.В. Олейникова, А.А. Олейников. Онтологическая модель знаний как основа автоматизации процесса распределения квот добычи водных биологических ресурсов и контроля за уровнем их освоения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):126-133. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-126-133

Ontological model of knowledge as the basis for automation of the process of distribution of quotas for the extraction of aquatic biological resources and control over the level of their development

A.V. Oleynikova¹, A.A. Oleynikov²

¹Astrakhan State Technical University,

¹16 Tatishcheva St., Astrakhan 414056, Russia,

²Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,

²18 Tatishcheva St., Astrakhan 414056, Russia,

Abstract. Objective. In this paper, the process of developing an ontological model of knowledge of state control bodies in the field of quotas for the extraction of aquatic biological resources is considered. The need to develop this model arose due to the insufficient level of automation of knowledge extraction from data collected and processed manually from eighteen territorial

departments of the Federal Agency for Fisheries. Insufficient speed of collecting and processing data on the current level of industrial production of aquatic biological resources may cause incorrect planning during the subsequent distribution of catch quotas, which may lead to a decrease in biological diversity in the reservoirs of the Russian Federation with the subsequent loss of types of aquatic biological resources. **Method.** The study used methods of analysis of theoretical and regulatory documentation, analysis of statistical data, as well as secondary data analysis. **Result.** An object ontological model of knowledge of state control bodies in the field of quotas for the extraction of aquatic biological resources has been developed. **Conclusion.** The developed ontological model makes it possible to accelerate the extraction of knowledge from aggregated data on the level of distribution and development of quotas for catching aquatic biological resources, and also serves as the basis for creating a full-fledged information system for accounting for the extraction of aquatic biological resources and monitoring their population.

Keywords: object ontological model, aquatic biological resources, information system, quotas

For citation: A.V. Oleynikova, A.A. Oleynikov. Ontological model of knowledge as the basis for automation of the process of distribution of quotas for the extraction of aquatic biological resources and control over the level of their development. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):126-133. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-126-133

Введение. Любая организация кроме продукции, выпускаемой по направлению своей деятельности, продуцирует большое количество данных и информации, из которых возможно извлечение знаний. Чем уровень и объем знаний выше, тем большим преимуществом обладает организация. Это касается и органов исполнительной власти, одним из которых является Федеральное агентство по рыболовству (ФАР). Основной род деятельности ФАР охрана водных биологических ресурсов (ВБР) от незаконного лова и распределение квот на их добычу. В заключаемых договорах на вылов ВБР указывается размер квот, а права на их заключения распределяются, в том числе, на основе аукционных мероприятий. Аукционы устраиваются территориальными управлениями ФАР.

Постановка задачи. Данные по уровню освоения, собираемые каждым из управлений, представляются в виде электронных таблиц, что значительно усложняет извлечение из них знаний и затрудняет установку рациональных объемов квот на добычу ВБР, которые позволят удовлетворить спрос и сохранить популяцию вылавливаемого ВБР. Это говорит о большой фрагментированности знани, из чего следует необходимость о разработке единого стандарта их представления для решения задачи автоматизации процесса распределения квот и контроля за уровнем их освоения.

Цель исследования заключается в разработке объектной онтологической модели знаний органов государственного контроля в области квотирования добычи водных биологических ресурсов.

Методы исследования. Онтологическая модель знаний. На данном этапе исследования было принято решение рассмотреть механизм квотирования в статике, произведя максимально детальный анализ предметной области с целью выявления всех объектов и установления их свойств и характеристик, что в дальнейшем позволило бы перейти к построению онтологии процессов. Предлагаемая в данной работе онтология представлена как иерархия классов.

У разных авторов термины, в которых описывается структура онтологии, имеют разную формулировку. Однако ввиду того, что планируется программная реализация разработанной онтологии в виде системы поддержки принятия решений на одном из высокоуровневых языков программирования, терминология будет иметь вид более понятный инженеру-программисту. Онтология служит для представления знаний о реальном мире, в частности, о некоторых бизнес-процессах, протекающих в ФАР, и может быть использована как базис для разработки программного обеспечения. Одним из ее основных элементов является

класс, который может включать различное число подклассов. На основе класса или подкласса может быть создан экземпляр класса, часто называемый объектом. Экземпляр класса, как и сами классы, может обладать атрибутами, описывающие его параметры и характеристики. Некоторые из атрибутов устанавливают отношения между экземплярами в онтологии, путем установки ссылки на другой экземпляр класса или класс. В онтологии устанавливаются ограничения, представляющие формализованные условия для принятия данных в качестве входных и правила вида «если-то», которые описывают логические выводы, возникающие из утверждений.

Перед построением онтологической модели органов государственного контроля в области рыболовства и сохранения водных биоресурсов, занимающихся квотированием добычи ВБР, требуется описать структуру подчиненности. Учитывая, что объектная онтология строится в отношении механизма квотирования ВБР, необходимо раскрыть основные понятия и их характеристики, которые могут быть схожи, и в тоже время иметь значительные отличия от механизмов, применяющихся в других органах контролирующей добычу иных видов биологических ресурсов.

Проблемы квотирования ВБР рассматриваются в работах Захаровой М.А. [8], Будниковой Ю.Е. [5], Богданова А.С. и Зенина А.В. [4] и др. Основным органом исполнительной власти, занимающимся вопросами добычи ВБР, является ФАР, в его подчинении находятся территориальные управления, которые в свою очередь делятся на отделы. Исследование проводилось на базе Волго-Каспийского территориального управления, включающего Астраханский, Саратовский отделы государственного контроля, надзора, охраны водных биологических ресурсов и среды обитания, а также Нижневолжский отдел и отдел по республике Калмыкия.

Под водными биологическими ресурсами следует понимать любые биологические объекты, средой обитания которых является водная среда. В их отношении возможно ведение добычи в промышленных, научных или учебных целях, в целях рыбоводства или ведения традиционного образа жизни (ТОЖ) [11] и т.п. Вылов ВБР осуществляется с применение механизма квотирования, основой которого является понятие квоты. Под квотой понимается объём допустимых к отлову ВБР, устанавливаемых для целей ведения рыболовства.

Одним из способов распределения квот на добычу ВБР является проведение аукционных мероприятий. Торги осуществляются между заинтересованными сторонами, которые выполнили все требования по допуску к аукциону и были зарегистрированы в качестве участников. Аукцион проводится на базе территориального управления ФАР, итогом которого станет распределение прав на заключение договора о закреплении доли квоты добычи ВБР в водах Российской Федерации, являющихся зоной ответственности этого территориального управления. Создаваемая онтология будет применяться для установки квот, не нарушающих биологический баланс экосистем, в которых производится вылов ВБР. Источниками данных для онтологии служит аукционная документация и оперативные сводки по добыче ВБР каждого из территориальных управлений ФАР [1-3,7].

Обсуждение результатов. Наиболее часто для формализованного представления онтологии как набора данных, имеет место следующая запись:

$$Ontology = \langle T, R, F \rangle,$$

где $T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, \dots, T_j\}, i = \overline{1, J}$, – перечень классов предметной области онтологии;

$R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_l, \dots, R_m\}, R \subseteq T_1 \times T_2 \times T_3 \times \dots \times T_j, l = \overline{1, m}$, – установленные значимые отношения между экземплярами в виде ссылки на другой экземпляр класса или класс;

$F: T \times R$ – применяемые интерпретационные функции;

$F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_q\}$, где $q = \overline{1, Q}$ – оптимальные функции интерпретации для кортежа $\langle T, R \rangle$ в отношении рассматриваемой предметной области.

Создаваемая предметная онтология содержит кроме классов в своем составе еще и дочерние элементы, подклассы, с их учетом перечень классов можно записать как:

$$T_{subclass} = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, \dots, \{T_{i+1} \in [T_{i+1.1}, T_{i+1.2}, T_{i+1.3}, \dots, T_{i+1.k}, \dots T_{i+1.x}]\}, \dots, T_j\},$$

где $k = \overline{1, x}$ – подклассы родительского класса предметной онтологии.

Семантически значимые отношения в этом случае примут вид:

$$R_{subclass} = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_l, \dots, R_m\}$$

$$R_{subclass} \subseteq T_1 \times T_2 \times T_3 \times T_i \times \{T_{i+1} \in [T_{i+1.1}, T_{i+1.2}, T_{i+1.3}, \dots, T_{i+1.k}, \dots T_{i+1.x}]\} \times \dots \times T_j$$

Форма записи интерпретационных функций не изменится:

$F_{subclass}: T_{subclass} \times R_{subclass}$ – применяемые интерпретационные функции;

$F_{subclass} = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_q\}$, где $q = \overline{1, Q}$ – оптимальные функции интерпретации для

кортежа $\langle T_{subclass}, R_{subclass} \rangle$ в отношении рассматриваемой предметной области.

С учетом выше сказанного формализованное представление разработанной онтологии примет следующий вид:

$$Ontology_{vbr.auc} = \langle T_{vbr.auc}, R_{vbr.auc}, F_{vbr.auc} \rangle,$$

где

$$\begin{aligned} T_{vbr.auc} = & \{ \{ T_{a.lot} \in [T_{w.lot}, T_{l.lot}, T_{allow.lot}] \}, \\ & \{ T_{vbr} \in [T_{sponge}, T_{b.chast}, T_{l.chast}, T_{v.val.vbr}, T_{seld}, T_{val.vbr}] \}, \\ & \{ T_{fishing} \in [T_{amat}, T_{coast}, T_{ind}, T_{sci}, T_{edu}, T_{farming}, T_{trad}] \}, \\ & \{ T_z \in [T_{z.ip}, T_{z.ooo}, T_{z.fl}] \}, \\ & T_{applic}, T_{inn}, T_{info.auct}, T_{okopf}, \{ T_{opf} \in [T_{opf.ip}, T_{opf.ooo}, T_{opf.fl}] \}, \\ & T_{otdel}, T_{win}, T_{l.win}, T_{lose}, \\ & \{ T_{reservoir} \in [T_{water.reserv}, T_{sea}, T_{lake}, T_{river}] \}, \\ & T_{far}, T_{level.quota}, T_{vk.pool}, T_{partic} \} \end{aligned}$$

– перечень классов и подклассов объектной онтологической модели знаний органов государственного контроля в области квотирования добычи водных биологических ресурсов;

На рис.1 представлен перечень классов и подклассов предметной области, которое составляет ядро разработанной онтологии.

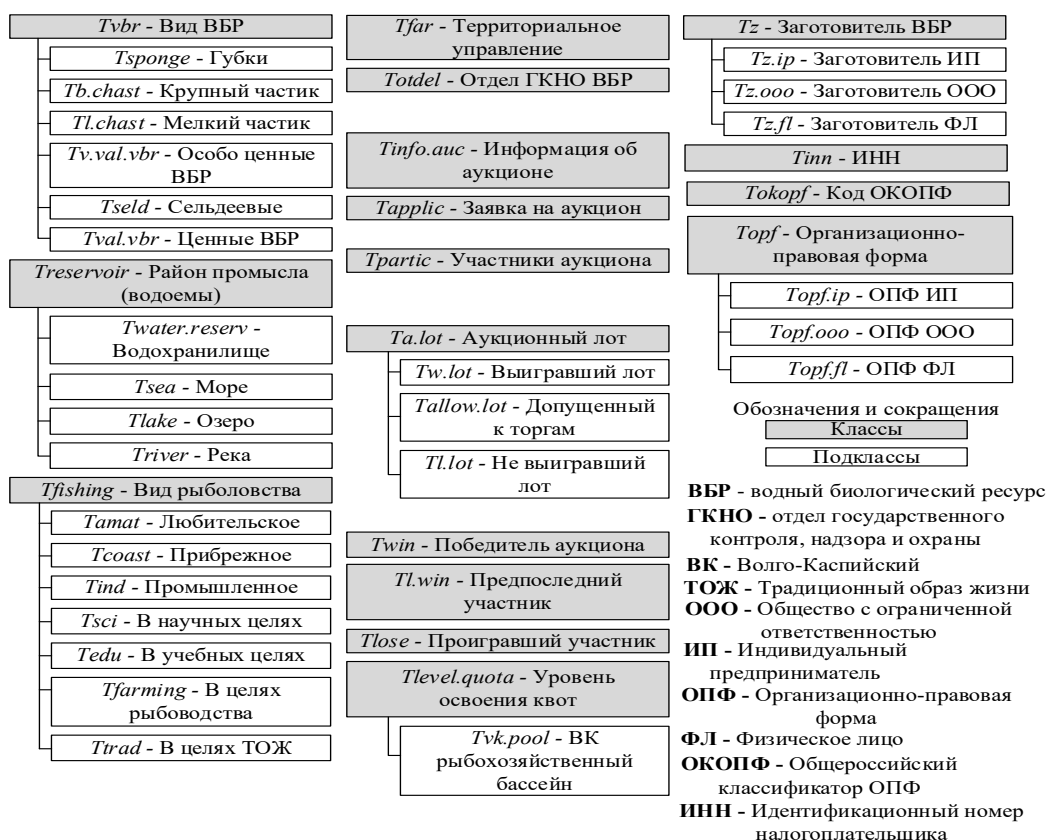


Рис.1. Перечень классов онтологической модели знаний
Fig.1. List of ontological knowledge model classes

На рис. 2 показаны отношения между объектами разрабатываемой предметной онтологии на основе их атрибутов.

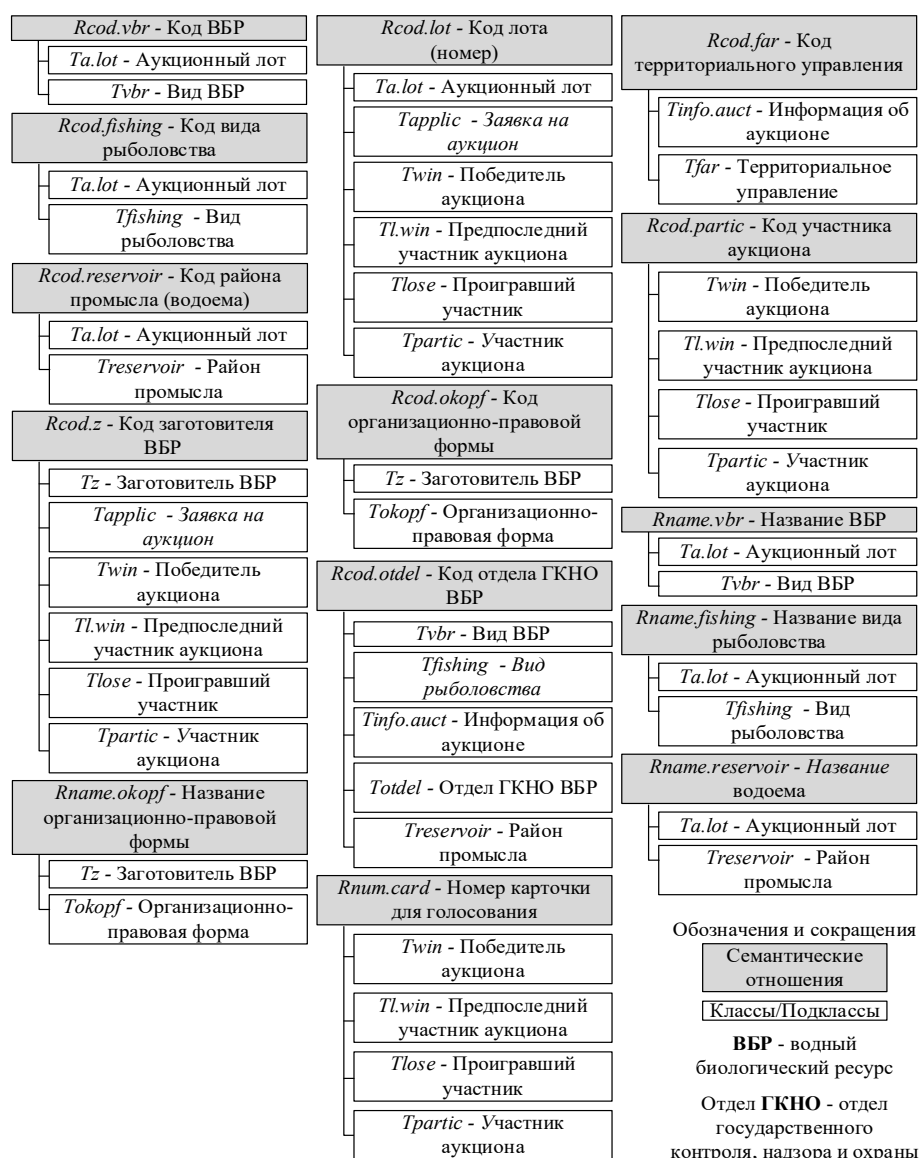


Рис.2. Семантически значимые отношения между классами и подклассами объектной онтологической модели знаний

Fig.2. Semantically significant relationships between classes and subclasses of the object ontological model of knowledge

Основным классом для разработанной онтологии выступает лот $T_{a.lot}$ выставляемый в процессе аукциона на торги. Если обратить внимание на рис. 2, то видно, что в отношении лота определяется вид ВБР T_{vbr} , место его добычи $T_{reservoir}$, а также способ лова $T_{fishing}$. Как говорилось выше, в отношении каждого лота устанавливается допустимый объем вылова, то есть квота $T_{level.quota}$, уровень освоения которой строго контролируется отделами ГКНО (государственный контроль, надзор и охрана). Этот показатель является одним из наиболее важных в процессе сохранения ВБР, так как позволяет осуществлять своевременный контроль за объемами вылова и уровнем популяции. Разработанная онтология позволит осуществлять такой контроль в реальном времени [6,9-10].

$$R_{vbr.auc} = \{R_{cod.vbr} \subseteq [T_{a.lot}, T_{vbr}], \{R_{cod.fishing} \subseteq [T_{a.lot}, T_{fishing}]\}, \\ \{R_{cod.reservoir} \subseteq [T_{a.lot}, T_{reservoir}]\}, \\ \{R_{cod.z} \subseteq [T_z, T_{applic}, T_{win}, T_{l.win}, T_{lose}, T_{partic}]\},$$

$$\begin{aligned} &\{R_{cod.lot} \subseteq [T_{a.lot}, T_{applic}, T_{win}, T_{l.win}, T_{lose}, T_{partic}]\}, \\ &\{R_{cod.okopf} \subseteq [T_z, T_{okopf}]\}, \{R_{cod.otdel} \subseteq [T_{vbr}, T_{fishing}, T_{info.auct}, T_{otdel}, T_{reservoir}]\}, \\ &\{R_{cod.far} \subseteq [T_{info.auct}, T_{far}]\}, \{R_{cod.partic} \subseteq [T_{win}, T_{l.win}, T_{lose}, T_{partic}]\}, \\ &\{R_{name.vbr} \subseteq [T_{a.lot}, T_{vbr}]\}, \{R_{name.fishing} \subseteq [T_{a.lot}, T_{fishing}]\}, \\ &\quad \{R_{name.reservoir} \subseteq [T_{a.lot}, T_{reservoir}]\}, \\ &\{R_{name.okopf} \subseteq [T_z, T_{okopf}]\}, \{R_{num.card} \subseteq [T_{win}, T_{l.win}, T_{lose}, T_{partic}]\} \quad - \text{смагати} \end{aligned}$$

значимые отношения между классами и подклассами объектной онтологической модели знаний органов государственного контроля в области квотирования добычи водных биологических ресурсов;

Как говорилось выше, форма записи интерпретационных функций не изменится и для разработанной онтологии примет вид:

$$F_{vbr.auc}: T_{vbr.auc} \times R_{vbr.auc}$$

Далее, после определения классов предметной онтологии органов государственного контроля в области квотирования добычи водных биологических ресурсов и выявления семантически значимых отношений можно перейти к непосредственному формированию предметной онтологии. Для этого будет использована нотация IDEF5 (рис. 3.) [12-16].

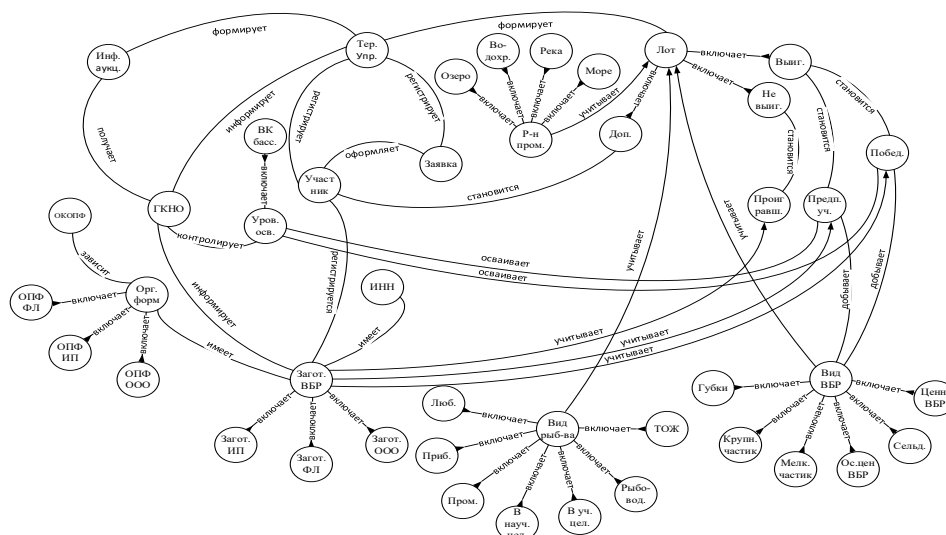


Рис.3. Онтология предметной области по контролю квотирования ВБР
Fig.3. Ontology of the subject area for the control of VBR quotas

Вывод. Создание обобщенной концептуальной онтологической модели знаний органов государственного контроля в области квотирования добычи водных биологических ресурсов позволяет снизить негативное влияние семантической неопределенности. Эта неопределенность возникает при использовании знаний доступ, к которым имеет 18 территориальных управлений ФАР, которые в свою очередь подразделяются на отделы государственного контроля, то есть при использовании знаний, имеющих высокую степень общности. В настоящее время данные, собираемые по каждому из территориальных управлений ФАР и агрегируются в виде электронных таблиц EXEL, а извлечение знаний слабо автоматизировано и производится в основном с привлечением аналитиков.

Разработанная предметная онтология позволит решать задачи распределения квот на вылов ВБР и осуществлять контроль за соблюдением установленных уровней добычи ВБР в значительно более короткие сроки, позволяя тем самым сохранять биологическое разнообразие в водоемах и оперативно управлять уровнем промышленного рыболовства.

Библиографический список:

1. Асанов А. Н., Е. Л. Ли, Агешина Е. Ю. Квотирование добычи водных биологических ресурсов // Экономическая политика. – 2022. – № 4. – С. 124-129.

2. Астафьев С.С., Васильева Л.М. Анализ участия производителей осетровых рыб разных групп в искусственном воспроизводстве на осетровых заводах астраханской области // В сборнике: Аквакультура осетровых рыб: проблемы и перспективы. сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2017. – С.37-40.
3. Блинов А.Ю. Пути и методы совершенствования системы распределения квот на вылов водных биоресурсов // Рыбное хозяйство. – 2004. – № 5. – С.20-21.
4. Богданов А.С., Зенин А.В. Развитие конкуренции в сфере добычи (вылова) водных биологических ресурсов // Новые юридические исследования. Сборник статей III Международной научно-практической конференции. Пенза. – 2020. – С.76-79.
5. Будникова Ю.Е. Правовые проблемы в системе квотирования добычи (вылова) водных биоресурсов для целей предпринимательского рыболовства // Евразийский юридический журнал. – 2018. – № 9 (124). – С.164-167.
6. Волошин Г.А., Артеменков Д.В. О регулировании промысла с учётом его эффективности на примере минтая в северной части охотского моря // Труды ВНИРО. – 2022. – Т. 129. – С.247-256.
7. Ермакова Т.В. Совершенствование механизма устойчивого развития рыбной промышленности России // Вестник саратовского государственного социально-экономического университета. – 2007. – № 4(18). – С.45-49.
8. Захарова М.А. О досрочном расторжении договора о закреплении долей квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов по инициативе уполномоченного органа // Сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции МГЮУ им О.Е. Кутафина. Москва. – 2017. – С.21-29.
9. Кузнецова Н.В., Макеева М.Ю. Оценка рыночной стоимости долей квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов по доходному подходу методом капитализации // Финансовый менеджмент. – 2013. – № 6. – С.41-50.
10. Лисиенко С.В. Концептуальный подход к совершенствованию организации ведения добычи водных биологических ресурсов в контексте развития общей теории промышленного рыболовства (на примере дальневосточного региона) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2014. – № 1. – С.18-28.
11. Малышева М.С. Анализ пользования малочисленными народами водными биологическими ресурсами // Арктический вектор: этнологическая экспертиза - вчера, сегодня, завтра. Материалы III региональной научно-практической конференции, посвященной 10-летию принятия Закона Республики Саха (Якутия) «Об этнологической экспертизе в местах традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия)». Министерство по развитию Арктики и делам народов Севера Республики Саха (Якутия), Государственное собрание Республики Саха (Якутия), Академия наук Республики Саха (Якутия). – 2020. – С.130-137.
12. Мельников П.А. Анализ законодательной базы, устанавливающей правовые и организационные основы регулирования рыболовства на территории РФ // Материалы национальной научно-технической конференции Научно-практические вопросы регулирования рыболовства Материалы национальной научно-технической конференции. – 2019. – С.131-134.
13. Михайлюк А.Н. Методика расчета национальных квот вылова осетровых рыб в азовском море // Рыбное хозяйство. – 2005. – № 5. – С.76-77.
14. Рогов В.Ю., Ше Сон Гун Методика распределения квот для малого предпринимательства на предмет вылова лососевых видов рыб // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2010. – № 1. – С.52-55.
15. Седаев П.В. Проблема корректировки налоговой базы сбора за пользование объектам водных биологических ресурсов при внесении изменений в ранее выданные лицензии // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития. – 2014. – № 16. – С.157-162.
16. Сиваков Д.О. Правовой институт инвестиционных квот в области рыболовства // Журнал Российского права. – 2019. – № 10. – С.136-144.

References:

1. Asanov A. N., E. L. Li, Ageshina E.Yu. Quotas for the extraction of aquatic biological resources. *Economic policy*, 2022; 4:124-129. (In Russ)
2. Astafyev S.S., Vasilyeva L.M. Analysis of the participation of producers of sturgeon fish of different groups in artificial reproduction at sturgeon plants of the Astrakhan region. *In the collection: Aquaculture of sturgeon fish: problems and prospects. collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*. 2017; 37-40. (In Russ)
3. Blinov A.Yu. Ways and methods of improving the system of distribution of quotas for the catch of aquatic biological resources. *Fisheries*, 2004; 5:20-21. (In Russ)

4. Bogdanov A.S., Zenin A.V. Development of competition in the field of extraction (catch) of aquatic biological resources. *New legal studies. Collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference*. Penza, 2020;76-79. (In Russ)
5. Budnikova Yu.E. Legal problems in the system of quotas for the extraction (catch) of aquatic biological resources for the purposes of entrepreneurial fishing. *Eurasian Law Journal*, 2018; 124(9):164-167.(In Russ)
6. Voloshin G.A., Artemenkov D.V. On the regulation of fishing taking into account its effectiveness on the example of pollock in the northern part of the Sea of Okhotsk. *Proceedings of VNIRO*, 2022; 129:247-256. (In Russ)
7. Ermakova T.V. Improvement of the mechanism of sustainable development of the fishing industry of Russia. *Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*, 2007;18(4):45-49. (In Russ)
8. Zakharova M.A. On early termination of the contract on fixing the quota shares of extraction (catch) of aquatic biological resources at the initiative of the authorized body. *Collection of scientific papers based on the materials of the I International Scientific and Practical Conference of the Kutafin Moscow State University*. Moscow, 2017; 21-29. (In Russ)
9. Kuznetsova N.V., Makeeva M.Yu. Assessment of the market value of the quota shares of extraction (catch) of aquatic biological resources according to the profitable approach by the capitalization method. *Financial management*, 2013; 6:41-50. (In Russ)
10. Lisienko S.V. Conceptual approach to improving the organization of the extraction of aquatic biological resources in the context of the development of the general theory of industrial fishing (on the example of the Far Eastern region). *Bulletin of the Astrakhan State Technical University*. Series: Fisheries, 2014; 1:18-28. (In Russ)
11. Malysheva M.S. Analysis of the use of aquatic biological resources by small peoples. Arctic vector: ethnological expertise - yesterday, today, tomorrow. Materials of the III regional scientific and practical conference dedicated to the 10th anniversary of the adoption of the Law of the Republic of Sakha (Yakutia) "On ethnological expertise in places of traditional residence and traditional economic activity of indigenous peoples of the North of the Republic of Sakha (Yakutia)". The Ministry for the Development of the Arctic and the Affairs of the Peoples of the North of the Republic of Sakha (Yakutia), the State Assembly of the Republic of Sakha (Yakutia), the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), 2020;130-137. (In Russ)
12. Melnikov P.A. Analysis of the legislative framework establishing the legal and organizational foundations of fisheries regulation in the territory of the Russian Federation. *Materials of the National Scientific and Technical Conference Scientific and practical issues of fisheries regulation Materials of the National Scientific and Technical Conference*, 2019;131-134. (In Russ)
13. Mikhailyuk A.N. Methodology for calculating national quotas for the catch of sturgeon fish in the Sea of Azov. *Fisheries*, 2005; 5:76-77. (In Russ)
14. Rogov V.Yu., She Methodology for the distribution of quotas for small businesses for the catch of salmon fish species. *Izvestiya Irkutsk State Economic Academy*, 2010; 1:52-55. (In Russ)
15. Sedaev P.V. The problem of adjusting the tax base of the fee for the use of objects of aquatic biological resources when making changes to previously issued licenses. *Economics and management in the XXI century: development trends*, 2014; 16:157-162. (In Russ)
16. Sivakov D.O. Legal Institute of investment quotas in the field of fisheries. *Journal of Russian Law*, 2019; 10:136-144. (In Russ)

Сведения об авторах:

Олейникова Алла Владимировна, магистрант кафедры прикладная информатика; a.oleynikova.astu@mail.ru

Олейников Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра систем автоматизированного проектирования и моделирования; aleksandr6333@gmail.com

Information about authors:

Alla V. Oleinikova, Undergraduate of the Department of Applied Informatics, a.oleynikova.astu@mail.ru
Alexander A. Oleinikov, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Computer-Aided Design and Modeling Systems; aleksandr6333@gmail.com

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 10.03.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 31.03.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 31.03.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.896

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-134-141

Оригинальная статья /Original Paper

**Модель доверенного взаимодействия агентов в децентрализованной
киберфизической среде**

В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, И.В. Стручков, С.С. Рябцев

Северо-Кавказский федеральный университет,
355029, г. Ставрополь, пр-кт Кулакова, 2, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является повышение эффективности выполнения задач агентами киберфизической системы при наличии агентов с неисправным или вредоносным поведением за счет установления доверенного взаимодействия между агентами и быстрого выявления вредоносного воздействия. **Метод.** Доверенное взаимодействие осуществляется с помощью технологии распределенного реестра и показателя уверенности агентов при коллективном решении. Новизна предлагаемого решения состоит в том, что информация о действиях агентов будет храниться и агрегироваться с использованием смарт-контрактов через заданные интервалы времени. Отдельный агент хранит локальную копию цепочки взаимодействия агентов, если несколько агентов взаимодействуют между собой, то они обмениваются информацией, хранящейся в их распределенном реестре. **Результат.** Для апробации предложенного метода была выполнена его программная реализация на языке программирования C++. Для проведения экспериментов использован сценарий коллективного восприятия агентами децентрализованной киберфизической среды в специализированной имитационной программе Contiki's Cooja. **Вывод.** Метод, реализованный с помощью предложенных в работе решений, оказался эффективнее, чем метод на основе динамического расчета показателя уверенности. Предложенные решения можно применять не только в киберфизических системах, но и в других системах с децентрализованным управлением.

Ключевые слова: доверенное взаимодействие, информационная безопасность, технология распределённого реестра, киберфизические системы

Для цитирования: В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, И.В. Стручков, С.С. Рябцев. Модель доверенного взаимодействия агентов в децентрализованной киберфизической среде. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):134-141. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-134-141

Model of trusted interaction of agents in decentralized cyber-physical environment

V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, I.V. Struchkov, S.S. Ryabtsev

North-Caucasus Federal University,
2 Kulakov Ave., Stavropol 355029, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the work is to increase the efficiency of the functioning of agents of a cyber-physical system in the presence of agents with incorrect or malicious behavior. The goal is achieved by establishing a trusted interaction between agents and quick detection of malicious impact. **Method.** Trusted interaction is carried out using distributed ledger technology and agent confidence indicators. The novelty of the proposed solution lies in the fact that information about the actions of agents is stored and aggregated using smart contracts at specified time intervals. Each agent keeps a local copy of the agent interaction chain. If several agents interact with each other, then they exchange information stored in their copies of the ledger. **Result.** To test the proposed method, we implemented it in C++. For the experiments, the scenario of collective perception by agents of a decentralized cyber-physical environment in a specialized simulation program Contiki Cooja was used. **Conclusion.** The method implemented using the solu-

tions proposed in this work showed higher efficiency than the method based on the dynamic calculation of the confidence index. The proposed solutions can be applied not only in cyber-physical systems, but also in any other systems with decentralized control.

Keywords: trusted interaction, information security, distributed ledger technologies, cyber-physical systems

For citation: V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, I.V. Struchkov, S.S. Ryabtsev. Model of trusted interaction of agents in decentralized cyber-physical environment. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):134-141. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-134-141

Введение. Киберфизические системы (КФС) – это системы, которые объединяют компьютерные и физические компоненты в единое целое. Они представляют собой сеть распределенных датчиков, исполнительных механизмов, устройств управления и информационных технологий, которые взаимодействуют друг с другом, обмениваясь данными и управляющими сигналами в режиме реального времени [1, 2]. КФС широко используются в различных областях: в производстве, энергетике, автоматизации транспорта, медицине, безопасности и т.д. На практике при решении ряда задач, требующих покрытия больших пространств параллельного выполнения большого числа типовых заданий в неблагоприятных условиях, эффективным является децентрализованное взаимодействие и принятие решений между отдельными устройствами КФС, которые образуют децентрализованную киберфизическую среду (ДКФС). ДКФС является пространством, объединяющим физические объекты с кибернетическими системами и технологиями, работающими децентрализованно и не имеющими единого центра управления. Это среда, в которой действия и решения принимаются автономно между устройствами и сетями, которые обмениваются информацией и принимают решения без прямого участия оператора.

Примерами ДКФС являются сети умных домов, в которых каждое устройство может принимать решения по управлению энергопотреблением, освещением и т.д. на основе информации, полученной от других устройств; это может быть система управления транспортным потоком, которая автоматически регулирует движение автомобилей и пешеходов на улицах города; это может быть производственная линия, в которой различные машины сами принимают решения о необходимости изменения траектории движения или замены инструментов. ДКФС обеспечивает повышенную безопасность и гибкость систем, снижает риски сбоев и увеличивает производительность при параллельном выполнении большого количества схожих задач. В большинстве работ по киберфизическим системам предлагаемые методы апробируются в лабораторных условиях и не учитывают наличие неблагоприятной внешней среды и угроз информационной безопасности (ИБ). Наряду с традиционными угрозами ИБ, КФС подвержены угрозам реализации специфических атак за счет системных свойств КФС [3], например, вредоносных воздействий нарушителей при реализации доверенного взаимодействия (ДВ).

Под вредоносным воздействием понимаются действия узлов децентрализованной системы – вредоносных агентов (ВА), которые демонстрируют непреднамеренное или неопределенное поведение независимо от основной причины, оказывают негативный эффект на функционирование системы, в том числе из-за поломки или сбоя [4]. Наличие скомпрометированных узлов при реализации ДВ киберфизических устройств может привести к негативным последствиям и невозможности выполнить целевую функцию КФС. Обобщенно модель ДВ в КФС можно представить в виде 4 последовательных этапов, выполняющихся непрерывно и последовательно, представленных рис. 1.

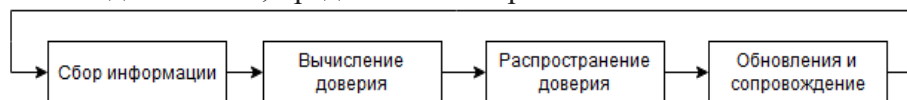


Рис. 1. Обобщённая модель доверенных отношений
Fig.1. General Model of trusted interaction

На этапе «Сбор информации» определяются предварительные требования и сведения для вычисления оценки доверия. На этом этапе затрагиваются вопросы: какие параметры следует выбрать для определения доверия к системе; как собирается информация; как представить информацию в необходимой форме?

На этапе «Вычисление доверия» осуществляется выбор подходящей вычислительной модели для оценки надежности объектов. Распространение доверия – это передача информации о доверии между объектами, может осуществляться по двум следующим архитектурам: централизованной и распределенной. При этом при централизованной архитектуре для того, чтобы узнать рейтинг доверия устройства, доверитель запрашивает централизованный орган, который, в свою очередь, сделает все необходимое и вернет оценку доверия к устройству. В распределенном типе архитектуры нет центрального объекта для вычисления и управления показателя доверия. Вместо этого каждый объект вносит свой вклад в процесс обмена информацией и хранит мнения о прошлом поведении. Преимущество использования распределенного подхода заключается в том, что ни одна точка отказа не влияет на управление доверием. В то же время требования к памяти и стоимость вычислений на объект увеличиваются. Также такие подходы имеют более высокое время сходимости по сравнению с централизованной архитектурой.

На заключительном этапе «Обновление и обслуживание» выполняется обновление и поддержка оценки доверия с течением времени. В частности, в распределенных и динамических сценариях, таких как ДКФС, поведение устройства не является постоянным во времени и необходимо обновлять вычисленный показатель доверия.

ИБ – это одна из проблем, влияющих на эффективность работы агентов в КФС [5]. Часто для решения проблемы ИБ используются такие механизмы «Hard Security» [6]. Однако подобные механизмы не обеспечивают надежность КФС при наличии злонамеренных действий со стороны инсайдера из-за изменения его поведения. Методы доверительного управления [7, 8] решают эту проблему, измеряя степень уверенности в поведении, ожидаемом другими. Концепция доверия относится к категории «Soft Security». Одним из популярных подходов является применение технологии распределенного реестра для обеспечения ИБ в ДКФС [9]. Это связано со схожестью принципов взаимодействия участников блокчейн системы с агентами ДКФС, которая также не имеет централизованного контроля и необходима для работы нехватки доверия к участникам [10, 11].

Постановка задачи. В данной работе рассматриваются вопросы обеспечения эффективности выполнения задач агентам КФС при наличии агентов с неисправным или вредоносным поведением. Для решения задач, связанных с улучшением защищенности агентов в ДКФС, первоочередной целью является построение архитектурной модели, в которой будет создан алгоритм работы ДВ на основе применения технологии распределенного реестра. Основная цель для злоумышленника – это слабый узел всей системы. Уязвимости в узловой системе часто возникают из-за технологических недостатков в результате необходимости быстрого выпуска продукции, вследствие чего проблемы ИБ необходимо учитывать в уже функционирующей системе, быстро идентифицировать и блокировать вредоносных агентов.

Целью работы является повышение эффективности выполнения задач агентам КФС при наличии агентов с неисправным или вредоносным поведением за счет установления ДВ между агентами КФС и быстрого выявления ВА.

Дано: S – КФС, состоящая из агентов a_i , X – множество входных параметров (P_{trust} – физические показатели агента i ; Y_{trust} – степень уверенности агента i ; R_{trust} – время отклика агента i), Y – множество выходных параметров (T_{direct_i} – оценки доверия устройства).

Постановкой задачи является нахождение модели M , такой что:

$$M : \langle S, X, Y \rangle \mid a_i \in S \exists T_{direct_i} \in [0, 1] ,$$

при этом: при наличии у a_i показателя T_{direct_i} ниже требуемого уровня запрещает взаимодействие и информационный обмен с этим агентом для всей КФС.

Исследование процесса ДВ осуществлялось на примере задачи мониторинга признаков ограниченной среды, которая сводится к сценарию коллективного восприятия агентов в ДКФС [12]. Альтернативами в процессе КПР A_i в данном случае служат суждения о качестве параметров. При проведении экспериментов изменяющиеся факторы внешней среды E представлены цветами на некоторой сцене, разделенной координационной сеткой, полученной на основании спутниковых снимков и базовых сведений об исследуемой среде.

Цель агентов КФС состоит в том, чтобы достичь консенсуса, выполнить коллективное принятие решения (КПР) и выбрать на основе данных о внешней среде одну из нескольких альтернатив A_i (голосование за то, что определенный параметр внешней среды обладает определённым качеством на сцене, что необходимо для эффективного распределения задач) при наличии изменения с течением времени качества альтернатив среды, которое в экспериментах данной статьи изменялось случайным образом в диапазоне каждые 100 раундов процесса КПР. Сложность задачи можно варьировать, изменяя соотношение между количеством присутствующих в среде альтернатив для выбора агентом. В простой задаче с двумя альтернативами, разница между их процентным соотношением должна быть велика, в сложной – напротив, минимальной. Таким образом, чем соотношение между альтернативами более близко к равновероятному распределению, тем сложнее агенту выбрать наиболее преобладающий признак.

Для оценки эффективности представленных решений используется показатель среднего затраченного времени агентами (t) КФС для выполнения задач и вероятность принятия решения (p) в условиях негативного воздействия со стороны ВА. В качестве ВА рассматриваются агенты, посылающие случайные данные о внешней среде, поведение такого агента можно описать следующим образом:

$$N_{ij} = \text{rand } N_{ij},$$

где N_{ij} , полезность для каждого действия A_i и состояния S_j , которое определяется подсчитанными агентами на данный момент областями на сцене, исходя из соотношения между двумя альтернативами A_1 и A_2 , i номер выбранной агентами альтернативы.

Методы исследования. Схематическое представление предлагаемой модели доверенного взаимодействия агентов в ДКФС показано на рис. 2.

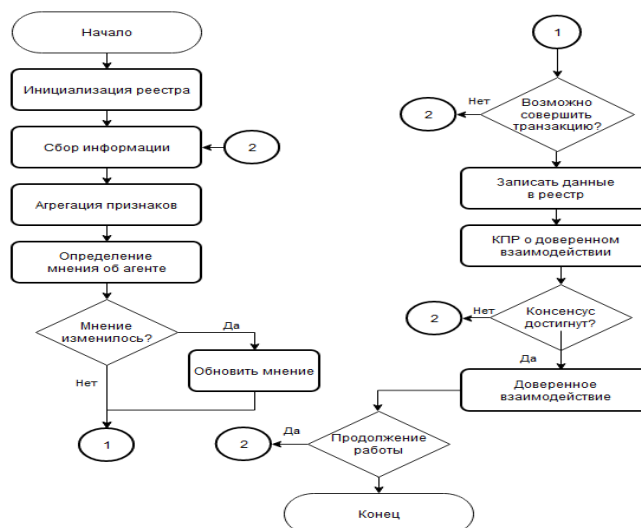


Рис. 2. Схематическое представление предлагаемой модели

Fig. 2 Schematic representation of the proposed model

Взаимодействие с агентами в ДКФС осуществляется с помощью смарт-контрактов. Предусмотрены 4 функции: setInfo, getTrust, vote и isConsensusArchieved. Функция setInfo добавляет или обновляет отправленные агентом данные об измерениях внешней среды и

показателях доверия в реестр. Смарт-контракт игнорирует «просроченные» данные, опубликованные более 25 блоков назад, данные агента, опубликовавшего более 50 транзакций в один блок, а также данные агента, имеющего отличную версию блокчейна. Для выполнения этой функции агенту необходимо отправить 0.9 ether. Данное ограничение не позволит бесконтрольно изменять данные, хранящиеся в блокчейне и, тем самым, защитит их от недобросовестных, либо вышедших из строя элементов КФС. Сумма назначена с учетом того, что награда за созданный блок при майнинге составляет 1 ether, чего будет достаточно для того, чтобы выполнить данную функцию с учетом ее цены, а также предусмотренной в сети Ethereum комиссии.

Функция `getTrust` позволяет агентам КФС выяснить показатели доверия с учетом данных, размещенных в реестре всеми элементами КФС. Показатель доверия формируется как взвешенная сумма всех измерений, хранимых в реестре. Переда началом эксперимента с помощью программы `geth` инициализируется и запускается локальная версия блокчейна Ethereum, в которой публикуется описанный выше смарт-контракт. К этому процессу в течение эксперимента подключаются агенты КФС для публикации собранных ими данных, а также получения и обработки данных, собранных другими агентами КФС. Кроме того, на протяжении всей работы каждый агент осуществляет майнинг, необходимый ему для отправки данных в реестр. Данное действие не отображено в блок-схеме, так как осуществляется непрерывно в фоновом режиме и заключается в исследовании признаков внешней среды и сборе данных о взаимодействии с другими агентами. Сложность открытия нового блока зависит от вычислительной мощности КФС и установлена таким образом, чтобы в минуту появлялось в среднем два новых блока. После инициализации блокчейна агенты совершают агрегацию признаков в единый реестр и выполняют процедуру вычисления доверия. Для вычисления доверия используется формула:

$$T_{direct_i} = \alpha * P_{trust_i} + \beta * Y_{trust_i} + \gamma * R_{trust_i},$$

где T_{direct} – оценка доверия, рассчитываемая для агента i , P_{trust} – физические показатели агента i , Y_{trust} – степень уверенности агента i , R_{trust} – время отклика агента i , α , β , γ – коэффициенты приоритета показателя, зависящие от требований и типа КФС и изменяющиеся от 0 до 1. При этом должно выполняться условие формулы:

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

Следует отметить, что, реальные значение приоритетов необходимо выбирать исходя из конкретной задачи, требований стандартов и переназначения КФС. В данной работе эксперименты осуществлялись по показателям Y_{trust} – степень уверенности агента i ; R_{trust} – время отклика агента i .

Под уверенностью агента понимается мера – насколько часто в процессе принятия решения агент меняет свое мнение, которая описана в работе [13]. После определения показателей доверия проводится попытка установления связи и синхронизации цепочки блокчейна с другими агентами. После выполнения данного шага агент обращается к функции `getTrust` смарт-контракта для того, чтобы проверить, отличается ли его собственное мнение о значении показателя доверия в имеющейся у него версии реестра. В случае если оно отличается, агент инициализирует транзакцию и отправляет свое обновленное мнение при помощи функции `vote` смарт-контракта.

В рамках эксперимента максимальная дальность беспроводной связи между мобильными агентами ДКФС была ограничена 1 метром. В случае нехватки ресурсов для записи агенты продолжают исследовать среду. На следующем этапе, на основании данных реестра происходит процедура КТР между агентами КФС до тех пор, пока между ними будет достигнут консенсус об агентах, которые являются подозрительными и взаимодействие с которыми необходимо заблокировать.

В качестве механизма смены мнения в данной статье применяется модель большинства, согласно которой агент проверяет имеющуюся у него актуальную версию распределенного реестра и качество признаков каждой альтернативы, затем агент меняет свое мнение на наиболее распространенный вариант по правилу большинства:

$$a_{\hat{q}}, \hat{q} = \arg \max P_q.$$

Таким образом, агент меняет свое мнение на самое распространенное мнение согласно распределенному реестру. После смены мнения агент сообщает о значении доверия T_{direct} прочих агентов и применяется функция isConsensusArchived, которая позволяет выяснить, достигнут ли консенсус. Подсчитываются голоса и при наличии 80%, проголосовавших за блокировку, консенсус считается достигнутым и взаимодействие с данным агентом блокируется, иначе необходимо перейти заново на стадию исследования среды.

Обсуждение результатов. Для апробации предложенного метода была выполнена его программная реализация на языке программирования C++, при этом использовалась среда имитационного моделирования Contiki's Cooja. В качестве функциональной задачи и метода принятия решения применен метод достижения консенсуса, описанный в [14]. Использованы параметры моделирования, указанные в табл. 1.

Таблица 1. Параметры моделирования

Table 1. Simulation parameters

Наименование параметра/ Parameter name	Значение/ Meaning	Наименование параметра/ Parameter name	Значение/ Meaning
Количество агентов/ Number of agents	20	Количество альтернатив выбора /Number of choice alternatives	2
Количество экспериментов/ Number of experiments	1000	Размер сцены/ Stage size	100 на 100 м.
Количество вредоносных агентов/ Number of malicious agents	0-10	Сложность сцены/ Scene complexity	75%
Кворум достижения консенсуса/ Consensus quorum	16	Распределение цветов на сцене/ Distribution of colors on the stage	40:60

Для проведения исследований был использован сценарий коллективного восприятия с параметрами моделирования, указанными в табл. 1. Моделирование предполагало серию экспериментов из 1000 симуляций для 20 мобильных агентов КФС. Результаты на рис. 3 показывают эффективность предлагаемых решений по сравнению с методом-аналогом, использующим динамический расчет доверия [15]: по показателям среднего затраченного времени на выявление ВА (а) и вероятности принятия правильного решения агентами КФС относительно преобладающего признака среды (б).

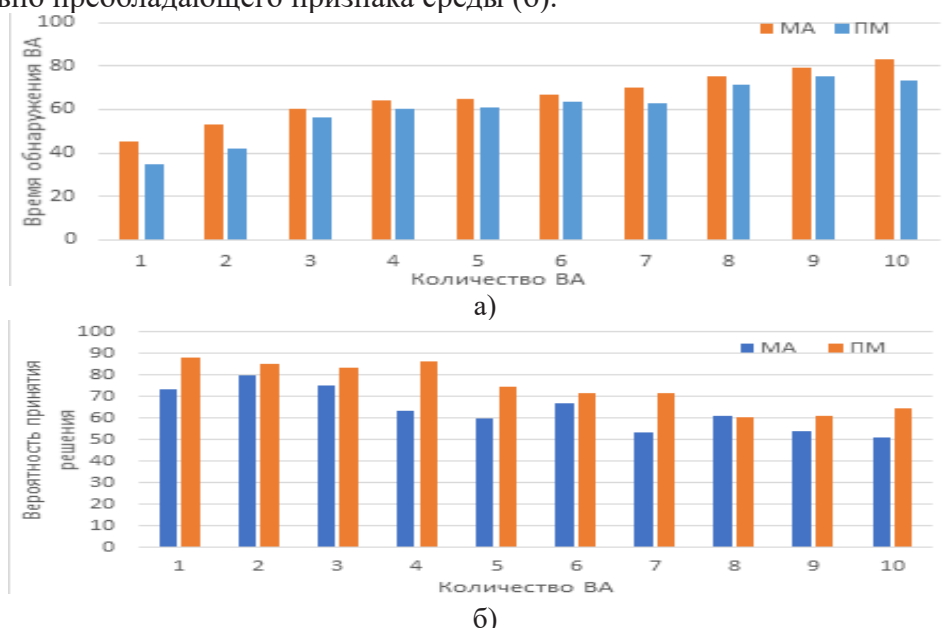


Рис. 3. Сравнение предложенного метода (ПМ) с методом-аналогом (МА) по показателю: а) среднего затраченного времени для выявления вредоносных агентов; б) вероятности принятия лучшего решения

Fig. 3. Proposed and analogue methods comparison in terms of: а) average time to detect malicious agents; б) probability of making a better decision

Согласно полученным в ходе моделирования данным предложенное решение обеспечивает повышение эффективности по показателю среднего затраченного времени на выявление ВА в среднем на 10,02 %, а по показателю вероятности принятия решения – на 14,15%.

Вывод. В данной статье предложена модель ДВ в ДКФС, основанная на применении технологии распределенного реестра. Экспериментальные результаты показывают, что эффективность предлагаемой модели ДВ агентов в ДКФС по времени обнаружения ВА превосходит метод на основе динамического расчета доверия в среднем на 10,02 %, а по показателю эффективности функционирования агентов КФС – вероятность принятия наилучшего решения – на 14,15%.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что выполнение ДВ с помощью распределенного реестра и смарт-контрактов для расчета показателя доверия при выборе альтернативы позволили снизить среднее затраченное время на выявление ВА и улучшить вероятность принятия лучшего решения при выполнении целевых задач агентами КФС.

Практическая значимость предлагаемых решений обусловлена факторами достижения предлагаемых технических решений высоких показателей ИБ ДВ агентов в ДКФС, что позволит повысить отказоустойчивость по сравнению с централизованным управлением. Предлагаемая модель позволит повысить эффективность агентов при реализации ДВ в ДКФС.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Минцифры России (грант ИБ, проект № 27/22-к).

Acknowledgments. The study was financially supported by the Russian Ministry of Digital Development (IB grant, project No. 27/22-k).

Библиографический список:

1. Алгулиев Р.М., Имамвердиев Я.Н., Сухостат Л.В. Киберфизические системы: основные понятия и вопросы обеспечения безопасности // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 7. С. 517–528.
2. Lee E.A., Cheng A.M.K. The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models // Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 2015. V. 15, № 3. С. 4837–4869.
3. Закирова Ю.М., Мышляева А.А., Закиева Е.Ш. Киберфизические системы: возможности и угрозы // Технологические инновации в современном мире. 2019. С. 64–68.
4. Lamport L., Shostak R., Pease M. The Byzantine Generals Problem // C. Trans. Program. Lang. Syst. 1982. V. 4, № 3. P. 382–401.
5. Sicari, A. Rizzardi, L.A. Grieco, A. Coen-Porisini. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead // Comput. Networks. Elsevier, 2015. V. 76. P. 146–164.
6. Jøsang A., Keser C., Dimitrakos T. Can We Manage Trust? // Lect. Notes Comput. Sci. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. V. 3477. P. 93–107.
7. Jøsang A., Ismail R., Boyd C. A survey of trust and reputation systems for online service provision // Decis. Support Syst. North-Holland, 2007. V. 43, № 2. P. 618–644.
8. Kaur J. Trust Based Technique for the Multicasting in IoT // Int. J. Emerg. Trends Eng. Res. The World Academy of Research in Science and Engineering, 2020. V. 8, № 8. P. 4574–4579.
9. Kumar A. IOT Security with Blockchain // YMER Digit. Engineering Skill Development, 2021. V. 20, № 11. P. 7–19.
10. Putra G.D. Blockchain for Trust and Reputation Management in Cyber-Physical Systems // Springer Optim. Its Appl. Springer, 2022. V. 194. P. 339–362.
11. Zhou Z. Secure and efficient vehicle-to-grid energy trading in cyber physical systems: integration of blockchain and edge computing // IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2020. V. 50, № 1. P. 43–57.
12. Valentini G., Brambilla D., Hamann H., Dorigo M. Collective perception of environmental features in a robot swarm // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Springer Verlag, 2016. V. 9882. P. 65–76.
13. Рябцев С.С. Метод выявления вредоносных роботов на основе данных процесса коллективного принятия решений в роевых робототехнических системах // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 5. С. 224–258.
14. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Ryabtsev S.S., Gurchinsky M.M., Struchkov I.V. Consensus achievement method for a robotic swarm about the most frequently feature of an environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. P. 42025.

15. Garagad V., Iyer N. Secure IoT Interactions using Dynamic Trust Assessment // 2022 IEEE 7th International conference for Convergence in Technology (I2CT). 2022. P. 1-8

References:

1. Alguliyev R.M., Imamverdiyev Ya.N., Sukhostat L.V. Cyber-Physical Systems: Basic Concepts and Security Issues. *Information technologies*. 2017; 23(7): 517–528. (In Russ)
2. Lee E.A., Cheng A.M.K. The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 2015; 15(3): 4837–4869.
3. Zakirove Yu.M., Myshlyaeva A.A., Zakieva, E.S. Cyber-Physical Systems: Opportunities and Threats // *Technological innovation in the modern world*, 2019, 64–68. (In Russ)
4. Lamport L., Shostak R., Pease M. The Byzantine Generals Problem. *C. Trans. Program. Lang. Syst.* 1982; 4(3): 382–401.
5. Sicari, A. Rizzardi, L.A. Grieco, A. Coen-Porisini. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. *Comput. Networks. Elsevier*, 2015; 76: 146–164.
6. Jøsang A., Keser C., Dimitrakos T. Can We Manage Trust? *Lect. Notes Comput. Sci. Springer*, Berlin, Heidelberg, 2005; 3477: 93–107.
7. Jøsang A., Ismail R., Boyd C. A survey of trust and reputation systems for online service provision. *Decis. Support Syst. North-Holland*, 2007; 43(2): 618–644.
8. Kaur J. Trust Based Technique for the Multicasting in IoT. *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res. The World Academy of Research in Science and Engineering*, 2020; 8(8): 4574–4579.
9. Kumar A. IOT Security with Blockchain. *YMER Digit. Engineering Skill Development*, 2021; 20(11): 7–19.
10. Putra G.D. Blockchain for Trust and Reputation Management in Cyber-Physical Systems. *Springer Optim. Its Appl. Springer*, 2022; 194: 339–362.
11. Zhou Z. Secure and efficient vehicle-to-grid energy trading in cyber physical systems: integration of blockchain and edge computing. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2020; 50(1): 43–57.
12. Valentini G., Brambilla D., Hamann H., Dorigo M. Collective perception of environmental features in a robot swarm. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Verlag, 2016; 9882: 65–76.
13. Ryabtsev S. S. A method for detecting Byzantine robots based on data from the collective decision-making process in swarm robotic systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2022; 3: 105-137. (In Russ)
14. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Ryabtsev S.S., Gurchinsky M.M., Struchkov I.V. Consensus achievement method for a robotic swarm about the most frequently feature of an environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations*. Krasnoyarsk, Russia, 2020; 42025.
15. Garagad V., Iyer N. Secure IoT Interactions using Dynamic Trust Assessment. *2022 IEEE 7th International conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 2022; 1-8

Сведения об авторах:

Петренко Вячеслав Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой организации и технологии защиты информации Института цифрового развития, viptrenko@ncfu.ru.

Тебеева Фариза Биляловна, доктор физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой компьютерной безопасности Института цифрового развития, ftebueva@ncfu.ru. ORCID 0000-0002-7373-4692

Стручков Игорь Владиславович, инженер-исследователь кафедры организации и технологии защиты информации Института цифрового развития, selentar@bk.ru.

Рябцев Сергей Сергеевич, старший преподаватель кафедры компьютерной безопасности Института цифрового развития, nalfartorn@yandex.ru.

Information about the authors:

Vyacheslav I. Petrenko, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Head of the Department of Organization and Technology of Information Security, viptrenko@ncfu.ru.

Fariza B. Tebueva, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Assoc. Prof., Head of the Department of Computer Security, ftebueva@ncfu.ru. ORCID 0000-0002-7373-4692

Igor V. Struchkov, Research Engineer, Department of Organization and Technology of Information Security, selentar@bk.ru.

Sergey S. Ryabtsev, Senior Lecturer of the Department of Computer Security, nalfartorn@yandex.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 26.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 18.05.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 18.05.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.94

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-142-152

Обзорная статья / Review Paper

Формирование системы требований по обеспечению информационной безопасности на объектах критической информационной инфраструктуры в кооперации Российской Федерации и Китайской Народной Республики на примере газопровода «Сила Сибири»

А.Р. Семишкур, И.И. Лившиц

Национальный исследовательский университет ИТМО,
191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является аналитический обзор законодательства для формирования системы требований по обеспечению и контролю информационной безопасности на объектах критической информационной инфраструктуры в кооперации Российской Федерации и Китайской Народной Республики. **Метод.** Проведен обзор с использованием различных методов сравнительного анализа для нахождения сходств и различий в подходах стран-партнеров в вопросе критической информационной инфраструктуры. **Результат.** Сформированы предложения по совершенствованию российского законодательства в сфере управления информационной безопасностью на объектах критической информационной инфраструктуры. **Вывод.** Направление данного исследования является весьма актуальным и требует дальнейшего развития организационно-технических мероприятий по реализации требований нормативно правовых документов по защите информации на объектах информатизации специального назначения.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура, кооперация, контроль безопасности, информационная безопасность, требования

Для цитирования: А.Р. Семишкур, И.И. Лившиц. Формирование системы требований по обеспечению информационной безопасности на объектах критической информационной инфраструктуры в кооперации Российской Федерации и Китайской Народной Республики на примере газопровода «Сила Сибири». Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):142-152. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-142-152

Formation of a system of requirements for ensuring information security at critical information infrastructure facilities in cooperation between the Russian Federation and the People's Republic of China on the example of the Power of Siberia gas pipeline

A.R. Semishkur, I.I. Livshits

National Research University ITMO",
9 Lomonosov St., St. Petersburg 191002, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is an analytical review of the legislation for the formation of a system of requirements for ensuring and controlling information security at critical information infrastructure facilities in cooperation between the Russian Federation and the People's Republic of China. **Method.** Reviewed using various benchmarking methods - historical, socio-cultural, legal to find similarities and differences in the approaches of partner countries on the issue of Critical Information Infrastructure. **Result.** Proposals have been made to improve Russian legislation regarding the management of information security at critical information infrastructure facilities. **Conclusion.** The direction of this study is very relevant and requires further development of organizational and technical measures to implement the requirements of legal documents on the protection of information at special-purpose informatization objects.

Key words: critical information infrastructure, cooperation, security control, information security, requirements

For citation: A.R. Semishkur, I.I. Livshits. Formation of a system of requirements for ensuring information security at critical information infrastructure facilities in cooperation between the Russian Federation and the People's Republic of China on the example of the Power of Siberia gas pipeline. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):142-152. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-142-152

Введение. На сегодняшний день российский магистральный газопровод для поставок газа в страны в страны Азиатско-Тихоокеанского региона «Сила Сибири» для большинства граждан является неоднозначным проектом. Объект, задуманный ещё в 1997 году [1], введенный в эксплуатацию только в 2019 году [2] постоянно сталкивался с различными преградами в момент реализации и, в последствии, во время работы газопровода. Примерами проблем, связанных с «Силой Сибири», могут послужить: подписание 30-летнего договора на поставку газа до завершения строительства проекта [3], не предоставление денежного аванса со стороны Китая на строительство[4]. Стоит также упомянуть, что по экономическим прогнозам полная окупаемость проекта наступит только к 2048 году [5], а действительная стоимость газа для китайской стороны изменчива и менее маржинальна, чем поставки в Европу [6]; к тому же не выполнен план на постройку трубопровода для Японии [7]. Однако, успешное завершение строительства и ввод в эксплуатацию «Силы Сибири» представляется ярким прецедентом и примером успешной кооперации на объекте критической информационной инфраструктуры на международной арене. Заинтересованность Китая и России в функционировании объекта неоспорима. Китай стремится сократить свою зависимость от угольной энергетики [8], диверсифицировать поставки природного газа [9] и устранить опору исключительно на внутренние ресурсы.

Россия, после событий 2014 и 2022 годов, окруженная санкциями, стремится найти надежных партнеров в Азиатско-Тихоокеанском регионе, но прежде всего стремится к расширению экономических связей с Китайской Народной Республикой, что указывается в энергетической стратегии страны до 2035 года[10].

Международное сотрудничество, в части объектов критической информационной инфраструктуры, становится толчком для формирования методик и мер реагирования на угрозы и инциденты информационной безопасности. Успешность проектов создает прецедент и стремление к воплощению новых планов, именно поэтому рассмотрение проекта «Сила Сибири», поиск ключевых методик контроля безопасности взаимодействия и своевременная реакция на данную потребность является актуальным, принимая во внимание напряженную международную ситуацию и диверсии на «Северных потоках»[11].

Постановка задачи. Целью исследования является аналитический обзор законодательства для формирования системы требований по обеспечению информационной безопасности на объектах критической информационной инфраструктуры в кооперации Российской Федерации и Китайской Народной Республики.

Международные события, а именно присоединение Крыма и Специальная военная операция, постепенно ослабляют традиционное восприятие Российской Федерации, как энергетической сверхдержавы в глазах мирового сообщества. Из-за политических разногласий вводятся санкции [12], разрываются крупные сделки, а также применяются искусственные механизмы сдерживания экономического благосостояния (отказ от импорта энергоресурсов, введения «заморожек» активов, усложнения схем оплаты в иностранной валюте [13]). Указанные меры сдерживания применяются государствами европейского и североамериканского сообщества и заставляют вспомнить о другом направлении развития и сотрудничества России как евразийского государства.

Поиск верного пути – объект многовековых споров, связанных с глубинными историческими предпосылками, географическим расположением и ментальностью населения[14]. «Особый путь», не похожий на остальные, видится единственно верным, особенно, когда западные соседи в очередной раз стремятся оборвать любые связи с нашей страной, а азиатские приспосабливаются к ситуации. Именно из-за этого экспорт российских энергоносителей в такой напряженный, в политическом плане, 2022 год, вырос на 38% по сравнению с 2021[15]. Азиатский поворот России необходим и перспективен. В «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»[10] значительная часть внимания уделяется развитию экономических связей со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, в особенности Китайской Народной Республики. Главная роль отводится экспорту энергоресурсов и основным продуктам экспорта топливо-энергетических комплекса – природному и сжиженному газу.

Данное сотрудничество важно не только для России. Генеральный секретарь КНР, Си Цзиньпин, сделал вывод о результатах сотрудничества в 2022 году: «в этом году китайско-российское экономическое и торговое сотрудничество неуклонно развивалось, были достигнуты новые успехи в энергетике, инвестициях, взаимобмене и других областях, что способствует общему развитию двух стран», а также выразил стремление к тесному практическому сотрудничеству и углублению всеобъемлющей стратегической координации в различных областях[16].

Однако стоит говорить не только об экономической выгоде, но и постепенном идеологическом сближении двух государств, совершившемся за последние годы. Позиция компартии КНР с начала СВО всегда оставалась нейтральной, а В.В. Путин в видеоконференции с генеральным секретарем Си заметил, что Москва и Пекин одинаково смотрят «на причины, ход и логику происходящей трансформации глобального геополитического ландшафта»[17]. Не мудрено, в XXI веке концепция биполярного мира – давно позабытое прошлое времен Холодной Войны, а стремление не повторять данный сюжет, активное развитие экономик и приход к многополярности – вот одна из основных целей всех потенциальных сверхдержав (США, КНР, ЕС, РФ, Индия). Очевидно, в своем несогласии с Соединенными Штатами и Евросоюзом, Россия и Китай нашли друг в друге союзника не только экономического, но и идеологического.

Методы исследования. Присущее обоим государствам постоянное стремление к укреплению экономического и политического суверенитета, идентичные идеи об уникальности пути развития удивительным образом проникают в сферу информационных технологий. Одним из очевидных примеров может послужить процесс балканизации интернета. Проект «Золотой щит» был запущен в Китае в 2003 году. В настоящее время файрвол блокирует более 600 000 веб-доменов [18], в том числе 135 из 1000 самых популярных веб-сайтов мира, тем самым становясь самой строгой и продвинутой системой интернет-цензуры в мире.

Законотворчество России определяет сходные направления деглобализации и суверенности интернета, но отстает в своей радикальности от китайского. Огораживание интернета началось в 2014, когда был дополнен закон «Закон об обработке персональных данных в информационно-телекоммуникационных сетях», ограничивающий хранение персональных данных российских пользователей территорией РФ и вступил в силу «Закон о блогерах», российский федеральный закон № 97-ФЗ от 5 мая 2014 г., впоследствии отмененный в 2017 году, но позволивший федеральной власти опробовать инструменты управления общественным мнением в сети. Окончательно независимость российского интернета утвердилась законом о «Суверенном интернете» от 2019-го года. Количество сайтов, заблокированных к доступу на территории страны около 606 345[19].

Действия правительства Китая и России по регулированию интернета схожи и в малых чертах большого целого:

1. Специально созданные государством организации для мониторинга интернета. В Китае такую роль выполняет – Бюро общественной информации и надзора за сетевой безопасностью, а в России – Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). В обоих случаях, применяются другие силовые ведомства для расследования преступлений;
2. Создаются, или же существуют аналоги социальных сетей (в КНР – Sina Weibo, в РФ – VK, вместо Facebook), сайтов (в КНР – Bilibili, в РФ – RuTube, вместо YouTube) и поисковых систем (в КНР – Weibo, в РФ – Яндекс, вместо Google), которые пользуются популярностью или продвигаются исключительно внутри страны на замену иностранным аналогам. Тем самым, посредством «мягкой силы», граждане заключены в сообщества без возможности взаимодействовать с пользователями всего мира. Владельцам «аналогов» приходится выполнять требования властей из-за риска быть заблокированными;
3. Происходит блокировка популярных социальных сетей (Instagram, Twitter), иностранных новостных изданий (BBC News) и госорганов недружественных стран (ЦРУ США);
4. Превалирующее большинство интернет-СМИ имеют государственную поддержку. За материалы, противоречащие официальному мнению государства, следует блокировка [20] или статус иностранного агента [21];
5. Государство создает организации оплачиваемых (иногда прогосударственными пользователями становятся добровольно), активных в интернете патриотов для астротурфинга [22]. В КНР такими являются умаоданы (прям. пер. с кит. 50-центовая партия; неофициальное название китайских проправительственных блогеров и участников интернет-форумов, берут свое название от цены за один пост или комментарий, размещенный в интернете) и цзыгань (прям. пер. с кит. самостоятельная пятёрка; неофициальное название китайских блогеров, поддерживающих в своих ресурсах и блогах правительство КНР, продвигают свои идеи бесплатно), в России они представлены работниками Агентства интернет-исследований;
6. Реакция других стран на вышеперечисленные действия оборачивается блокировками СМИ, пользователей выступающих с пропагандой и или поддержкой действий Китая и России [23].

Все эти процессы идеологически сближают такие разные, с первого взгляда, страны. В контексте того, что госуправление проникло в интернет и саму информационную безопасность, стоит поговорить о явной приверженности КНР и РФ государственной системе управления безопасностью критической информационной инфраструктуры в таком же стиле.

Термин кибернационализм (*eng.* cyber-nationalism; см. новый национализм, цифровой национализм) окончательно не устоялся в научной среде, часто используется в контексте описания социальных взаимодействий между пользователями интернета, их поведения по отношению к пользователям из «стран-противников» и изъятию мнения поддерживающего вектор государственной пропаганды и повестки. Как мы могли в этом убедиться выше, КНР и РФ действительно активны в этом направлении. Однако, также верно использование данного словосочетания для описания модели внутренней политики государства по отношению к защите критической информационной инфраструктуры.

Данный термин, как и остальные в русском переводе с приставкой кибер-, берет своё начало в американской научно-технической среде [24] и используется, в большинстве случаев, для описания не одобряемых американским научным сообществом действий. Его неоднократно использовали по отношению к осуждаемым либеральной повесткой государствам, но в особенности для Китая [25] и России [26].

Модель цифрового национализма характеризуется тотальным протекторатом сверху; подчинением индивидуальных предпринимателей и юридических лиц данного сектора государству; обязательной прозрачностью иностранных IT-компаний на внутреннем рынке;

верховенством государства по вопросам информационной безопасности, информационных систем, персональных данных, законодательно закреплённом в государственных документах стран [27]. Для понимания актуальности модели кибернационализма в законах Китая и России, необходимо выполнить их сравнение.

Проводя сравнительный анализ законов о критической информационной инфраструктуре в Российской Федерации – Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.17 N 187-ФЗ» [28] и Китайской Народной Республики – Государственный приказ № 745 от 17.08.21 [29] невозможно не заметить приверженности исполнения данной модели на практике. Тем самым, сравнение двух законодательных актов важно для понимания общности подходов и демонстрации, того, что система требований двух государств идеальна для диффузии и выведения общей методики по обеспечению безопасности объектов КИИ.

Список субъектов, определяемых, как часть КИИ в России (ст. 2. п. 8) гораздо шире, чем в Китае (гл. 1. ст. 2). Это объясняется большим количеством полезных ископаемых и ресурсов. РФ официально декларирует свой интерес к индивидуальным предпринимателям и юридическим лицам, когда КНР иносказательно приписывает все к лаконичной формулировке «объектам ИС, которые могут серьезно угрожать национальной безопасности, национальной экономике и средствам к существованию людей, а также общественным интересам в случае их повреждения, потери своих функций или утечки данных», тем самым немного иносказательно, но аналогично выражая свой контроль над данной сферой. Органы исполнительной власти, выполняющие надзор, защиту и реагирующие на компьютерные инциденты, связанные с КИИ в обоих случаях узконаправлены, а также очень специализированы. Они полностью отвечают запросам РФ (ст.6) и КНР (гл.1 ст.3) и были законодательно учреждены специально для регулирования данной сферы.

Определение объекта, как часть КИИ, в России проводится предприятиями самостоятельно, необходимо провести самостоятельную категоризацию и направить отчёт с полученным уровнем в «Государственную систему обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак» (ст.7). В Китае нет категорирования по уровню значимости объекта. Государственная организация «Отдел по охране труда» самостоятельно рассматривает различные области инфраструктуры, создает для них перечень факторов и анализирует субъекты, а после уведомляет организации о присвоении статуса КИИ (гл.2). Данный подход видится нам более комплексным и вовлечённым в процесс безопасности.

Обязательства, права и обязанности субъектов КИИ для России изложены в ст.9. Постановления Китая (гл.3 ст.12-21) больше направлены на самоуправление внутри КИИ и малый контакт с контролирующими ведомствами, исключительно в крайних случаях возникновения чрезвычайных происшествий и проблем с категоризацией. Данные меры азиатского партнера видятся намного более продуктивными, чем российские бюрократические обязанности о необходимости излагать все аспекты происходящего на объекте в вышестоящие органы. Разумная децентрализация и самоуправление – это эффективное средство к ослаблению бюрократии и большей производительности. Также в нормативно-правовых актах Китая симпатизирует пункт относительно наличия должного качества ПО.

Полное перечисление ответственности за несоблюдение законодательства относительно защиты объектов критической информационной инфраструктуры для России, по правовой традиции помещена в ТК ст.81[30]; ГК 1064, 1069 [31]; КоАП ст. 13.12.1-7[32]; УК. гл. 28., гл. 29. ст.274-276,283-84 [33]. Все наказания за несоблюдение закона в Китае (гл.5) описаны в самом документе, в отличие от РФ. Это обусловлено исключительно российской правовой традицией. Примечательно то, что в обеих странах (в России это введено только с Указом №250 «О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации»[34]) ответственными за инциденты оказываются специальные отделы и глава КИИ. Суммы штрафов за те же правонарушения в Китае значительно выше, а

срок исполнения уголовных преступлений серьезнее. Говоря о расследовании преступлений в КНР за неподчинение вышестоящим органам также наказуемо. Интересным аспектом закона показалось примечание о «беспристрастности» и отсутствии «фаворитизма» касательно выбора ПО или людей на работу что можно списать на китайскую специфику. Требования к системам безопасности и защиты на объектах КИИ России указаны в ст. 10 и Указе №250, а для Китая в гл.4. Складывается ощущение, что закон КНР намного более всеобъемлющий и выражает большую поддержку в защите КИИ. Законы по охране деятельности разными ведомствами присутствуют в обоих случаях, но правительство Китая намного сильнее выражает свою заинтересованность в безопасности своих объектов благодаря возмещению финансов (потраченных на проверку соответствиям) и призыву к кооперации между смежными сферами. Из-за наличия коммунистического «пятилетнего планирования» и плановой экономики в целом, освещается призыв к выполнению поставленных экономических и государственных задач. Призыв к покупке определенного ПО – отсутствует, ограничения на выбор производителя нет, поэтому владельцы объектов КИИ КНР вольны осуществлять закупку ПО самостоятельно, в то время как сейчас на повестке горячих обсуждений правительство РФ призывает в срочном порядке переходить на «доверенные программно-аппаратные комплексы», что вызывает очень много трудностей в накаленной экономической обстановке и отсутствии отечественных альтернатив [35]. Для экономики Китая выбраны приоритетные сферы, а именно энергетика и телекоммуникация, которые получают поддержку в исследованиях и улучшении ИБ, когда в России защита всей критической информационной инфраструктуры остается важной задачей.

Обсуждение результатов. Мы сравнили законы о КИИ Российской Федерации и Китайской Народной Республики. Складывается впечатление, что КНР выражает больше заботы и интереса о своих объектах критической информационной инфраструктуре (КИИ). Это можно списать на то, что их закон был выпущен только 17 августа 2021 года, однако в мае 2023 года появится дополнительный национальный стандарт «Технологии информационной безопасности и требования к защите критической информационной инфраструктуры» [36]. РФ представили свой документ 26 июля 2017 года, за это время появилось множество дополняющих нормативных документов, затрагивающие такие темы, как: правила категорирования, о регулировании ГосСОПКА, затрагивающие роль ФСБ и регуляционные аспекты ФСТЭК [37] и самый новейший Указ №250.

Можно заметить, что законы двух стран схожи, отвечают всем запросам правительства и подходят для специфики обеих стран. Тем самым, кооперация и близость по вопросу информационной безопасности в критической информационной инфраструктуре между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой представляется возможной. Однако, опираясь на более свежий закон Китая считаем необходимым выдвинуть несколько требований для улучшения законодательства России на основе выполненного сравнения.

- 1. Свести к минимуму или полностью избавиться от бюрократического, бумажного аспекта в области КИИ.** В обеих странах государственные организации – это та инстанция, перед которой необходимо отчитываться о состоянии объектов КИИ, но если внутреннее самоуправление в КНР намного свободнее и контакт с государством сведен исключительно к чрезвычайным происшествиям, проверкам (возмещаемым государством в финансовом плане) и изначальным процессом категоризации со стороны «Отдела по охране труда», то в РФ дела обстоят по-другому. Постоянные отчёты, требования, проверки и самостоятельная категоризация только усложняют жизнь объектов. Модернизация и упрощение этого важного для государства процесса может облегчить жизнь как самих владельцев КИИ, так и федеральных органов. Цифровизация данного процесса, большее участие государства для доказательства своей заинтересованности может кардинально изменить обстановку в данной сфере, сократить время реакции на инциденты и повысить уровень информационной безопасности

как одного объекта КИИ так и их совокупности в целом.

2. Качество программного обеспечения. Неоднократно упоминаемый в законодательных актах Китая пункт о выборе ПО надлежащего качества вызывает интерес, особенно потому что Россия сейчас оказалась в вынужденной ситуации необходимости перехода с средств защиты информации от «недружественных» стран на их аналоги или продукты отечественного производства. Уровень развития технологий в КНР не соизмерим с российским, они самостоятельно производят СЗИ и ПО, совершенно не нуждаясь в иностранных продуктах, а государство активно помогает с рекомендациями по выбору необходимых компонентов. В России же значительно ограничен круг отечественных разработчиков СЗИ и ПО надлежащего качества, отвечающие всем запросам объектов КИИ. Такая резкая необходимость перехода до 1 января 2025 года [34] только пугает, именно поэтому государству необходимо взять это направление под свой контроль, оказывать помощь объектам КИИ и развивать сферу информационных технологий для того чтобы отвечать запросам внутренней инфраструктуры.

3. Использование искусственного интеллекта. Данный пункт вытекает из двух предыдущих и связан с введением искусственного интеллекта, как инструмента контроля ИБ на объектах КИИ. Стоит отметить, что китайские эксперты в области информационной безопасности уже говорят о необходимости скорейшего освоения данного процесса и введения его на объекты КИИ на законодательном уровне [38]. Проекты по претворению данной идеи в жизнь уже отмечаются во многих странах. Именно поэтому в нашем процессе импортозамещения стоит приглядеться и к этой технологии, которая в будущем поможет укреплению безопасности на важных государственных объектах инфраструктуры.

Во-первых, это поможет перевести рядовых работников на борьбу с реальными атаками высокого уровня и повысить эффективности защиты.

Во-вторых, принять диверсифицированные алгоритмы и модели анализа угроз для формирования связи существующей системы защиты, например, путем строительства интеллектуального центра управления сетевой безопасностью, расширения возможностей оборудования безопасности с низким уровнем интеллекта и повысить уровень интеллекта системы защиты в целом.

В-третьих, активно тренировать технологии искусственного интеллекта для тестирования существующей системы защиты, чтобы разумно дополнять стратегию безопасности.

Вывод. Китайская Народная Республика, определенная как ключевой партнер Российской Федерации в настоящее время, демонстрируется государством близким по духу не только в экономическом, идеологическом, но и законодательном плане. Кажущаяся, с обывательской точки зрения, далекая ментальность и вынужденность данного союза предстает с радикально другой стороны.

Аналитический обзор, выполненный на стыке международных отношений и информационной безопасности, раскрывает более глубокие первопричины схождения и целей кооперации. Идеологическая близость находит свои отголоски и в государственном отношении к информационной безопасности объектов критической информационной инфраструктуры. Рассмотренные ключевые законы двух государств демонстрируют, что контроль безопасности также осуществляется по модели кибернационализма, однако для улучшения методики контроля безопасности считаем необходимым: цифровизировать процессы взаимодействия КИИ с государством; государству помочь КИИ с импортозамещением СЗИ и ПО, а также присмотреться к введению искусственного интеллекта для управления информационной безопасностью на объектах критической информационной инфраструктуры.

Библиографический список:

1. Визиты президентов России в КНР. Досье. 01.09.15 // Информационное агентство ТАСС: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/info/2226232> (дата обращения: 20.01.23).

2. Shabbir F. Putin, Xi Expected to Hold Teleconference for Launching Power of Siberia Dec 2 – Kremlin. 25.11.19 // Urdupoint: [Electronic source]. URL: www.urdupoint.com/en/business/putin-xi-expected-to-hold-teleconference-for-770525.html (accessed: 17.04.2021).
3. Alexey Miller: Russia and China signed the biggest contract in the entire history of Gazprom. 21.05.14 // Gazprom: [Electronic source]. URL: www.gazprom.com/press/news/2014/may/article191451/ (accessed: 31.01.2023).
4. Серов М. Китайцы не дали «Газпрому» денег на строительство «Силы Сибири». 24.09.14 // Ведомости: [сайт]. URL: www.vedomosti.ru/politics/articles/2014/09/24/gazoobraznye-dengi#ixzz3FSiSTTEW (дата обращения: 31.01.2023).
5. Фаляхов Р. Газ по телемосту: Путин и Си Цзиньпин запустили «Силу Сибири» 02.12.19 // Газета.ру: [сайт]. URL: www.gazeta.ru/business/2019/12/01/12841694.shtml (дата обращения: 31.01.2023).
6. Эксперт Понкратов рассказал, насколько выгоден для РФ китайский рынок газа. 24.03.22 // Regnum: [сайт]. URL: <https://regnum.ru/news/economy/3543678.html> (дата обращения: 31.01.2023).
7. Gas Will Be Delivered to Japan through Vladivostok. 16.06.08 // Vladivostok Times: [Electronic source]. URL: <https://web.archive.org/web/20090805160316/http://vladivostoktimes.com/show/?id=26289&p=2> (accessed: 31.01.2023).
8. A glut of new coal-fired power stations endangers China's green ambitions. 21.05.20 // The Economist: [Electronic source]. URL: www.economist.com/china/2020/05/21/a-glut-of-new-coal-fired-power-stations-endangers-chinas-green-ambitions (accessed: 31.01.2023).
9. Диверсификация источников энергии – залог дальнейшего развития энергетического сектора Китая. 17.01.23 // TVBrics: [сайт]. URL: <https://tvbrics.com/news/diversifikatsiya-istochnikov-energii-zalog-dalneyshego-razvitiya-energeticheskogo-sektora-kitaya/> (дата обращения: 31.01.2023).
10. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации (Минэнерго России): [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 20.01.23).
11. Шаипова М. Загадка о трубе: кто взорвал «Северный поток». 18.11.22 // Известия: [сайт]. URL: <https://iz.ru/1427697/mariia-shaipova/zagadka-o-trube-kto-vzorval-severnyi-potok> (дата обращения: 31.01.2023).
12. All sanctions // Datawrapper: [Electronic source]. URL: https://www.datawrapper.de/_MGzSP/ (accessed: 01.02.2023).
13. Россия перевела расчеты за газ в рубли. Что это меняет для Европы // РБК: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/business/31/03/2022/6245b6c39a7947e7182a7ff2> (дата обращения: 01.02.2023).
14. На трех стульях. Какой исторический путь выбирают россияне? // Проект «Россия будущего: 2017 → 2035»: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://2035.media/2017/10/24/russian-path/> (дата обращения: 01.02.2023).
15. Доходы России от экспорта энергоносителей в 2022 году выросли на 38%. 22.08.22 // Neftegaz.ru: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/finance/747770-dokhody-rossii-ot-eksporta-energonositeley-v-etom-godu-vyrosli-na-38/> (дата обращения: 01.02.2023).
16. Главы государств Китая и России обменялись поздравлениями с Новым годом «中俄两国元首互致新年贺电». 31.12.22 // CCTV: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.cctv.com/2022/12/31/ARTIRKkLYDfjrf439iyWWxfy221231.shtml?spm=C94212.P4YnMod9m2uD.ENPMkVwfnaiV.138> (дата обращения: 05.01.2023).
17. США сделали предупреждение Китаю после беседы Си Цзиньпина с Путиным. 31.12.22 // РБК: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/63af4d209a79472e12f0ed8c> (дата обращения: 01.02.2023).
18. Список сайтов, заблокированных в Китае. «中國封鎖之網站列表». // ChinaVPN: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.chinavpn.tips/cn/websites-services-banned-in-china/> (дата обращения: 01.02.2023).
19. Мониторинг реестров // Роскомсвобода: [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://reestr.rublacklist.net/ru/?status=1&gov=all&date_start=&date_end= (дата обращения: 01.02.2023).
20. Цензура (контроль) в интернете Опыт Китая // Tadviser : [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://fic.vscs.ac.ru/index.php?/forum/597> (дата обращения: 01.02.2023).
21. СМИ, заблокированные и закрытые в России после начала «военной спецоперации» на Украине // Такие Дела: [Эл.рес.]. Режим доступа: <https://takiedela.ru/list/zablokirovannye-smi/> (дата обращения: 02.02.2023).
22. Бессчетнова А.А. Астротурфинг как социальная проблема современности // Форум интернет-конференций ВолНИЦ РАН: [Эл. рес.]. Режим доступа: <http://fic.vscs.ac.ru/index.php?/forum/597/> (дата обращения: 02.02.2023).
23. Мета заявила, что закрыла сети фальшивых аккаунтов, занимавшихся «тайными операциями распространения влияния» из Китая и России // Октагон: [Электронный ресурс]. Режим доступа:

- https://octagon.media/novosti/meta_zayavila_chno_zakryla_seti_falshivyx_akkauntov_zanimavshixsia_tajnymi_operaciyami_rasprostraneniya_vliyaniya_iz_kitaya_i_rossii.html (дата обращения: 02.02.2023).
24. Марков А.С. Кибербезопасность и информационная безопасность как бифуркация номенклатуры научных специальностей // Вопросы кибербезопасности. 2022. N 1(47), С. 2-9.
 25. Wu X. Chinese Cyber Nationalism: Evolution, Characteristics, and Implications. Lanham, MD: Lexington Books. p. 158.
 26. Limonier K. Russia in Cyberspace: Issues and Representations // Cairn Info: [Electronic source]. URL: https://www.cairn-int.info/article-E_HER_152_0140--russia-in-cyberspace-issues.htm (accessed: 01.02.2023).
 27. Alekseenko A. New Russian Model BIT and the Practice of Investment Arbitration. // Manchester Journal of International Economic Law 16(1) PP. 79-93.
 28. Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 N 187-ФЗ
 29. Положение о защите критической информационной инфраструктуры Государственный приказ № 745 от 17.08.21 «关键信息基础设施安全保护条例» // Государственный совет КНР: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-08/17/content_5631671.htm (дата обращения: 19.01.22).
 30. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 22.11.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.11.2021).
 31. «Гражданский кодекс Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/10164072/> (дата обращения: 20.01.22).
 32. «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 30.12.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.01.2022).
 33. «Уголовный кодекс Российской Федерации» от 13.06.1996 N 63-ФЗ (ред. от 30.12.2021).
 34. Указ Президента Российской Федерации от 01.05.2022 № 250 «О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205010023> (дата обращения: 01.02.2023).
 35. Доработанный текст проекта Постановления Правительства Российской Федерации «О порядке перехода субъектов критической информационной инфраструктуры на преимущественное применение доверенных программно-аппаратных комплексов на принадлежащих им значимых объектах критической информационной инфраструктуры» (подготовлен Минпромторгом России 11.08.2022) // Гарант.ру: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56833508/> (дата обращения: 01.02.2023).
 36. Национальный стандарт «Технологии информационной безопасности и требования к защите критической информационной инфраструктуры» будет внедрен в мае следующего года «信息安全技术 - 关键信息基础设施安全保护要求» 国家标准将于明年5月实施// Государственный совет КНР: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gov.cn/xinwen/2022-11/07/content_5725199.htm (дата обращения: 01.02.2023).
 37. Нормативные документы о безопасности КИИ // КИИ 187-ФЗ: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://187.ussc.ru/blog/detail/normativnye-dokumenty-o-bezopasnosti-kii/> (дата обращения: 01.02.2023).
 38. Точка зрения академика | Фэн Дэньго: три ключевые возможности для защиты безопасности критической информационной инфраструктуры «院士观点|冯登国: 关键信息基础设施安全保护三大关键能力» // NetEase: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1714661850130545665&wfr=spider&for=pc> (дата обращения: 01.02.2023).

References:

1. Visits of Russian presidents to China. Dossier. 09/01/15 // TASS News Agency: [Electronic source]. URL: <https://tass.ru/info/2226232> (accessed: 20.01.23). (In Russ)
2. Shabbir F. Putin, Xi Expected to Hold Teleconference for Launching Power of Siberia Dec 2 – Kremlin. 25.11.19 // Urdupoint: [Electronic source]. URL: www.urdupoint.com/en/business/putin-xi-expected-to-hold-teleconference-for-770525.html (accessed: 17.04.2021).
3. Alexey Miller: Russia and China signed the biggest contract in the entire history of Gazprom. 21.05.14 // Gazprom: [El.sou.]. URL: www.gazprom.com/press/news/2014/may/article191451/ (accessed: 31.01.2023).
4. Serov M. The Chinese did not give Gazprom money for the construction of the Power of Siberia. 24.09.14 Vedomosti: [Electronic source]. URL: www.vedomosti.ru/politics/articles/2014/09/24/gazooobraznyedengi#ixzz3FSiSTTEW (accessed: 31.01.2023). (In Russ)
5. Falyakhov R. Gas via teleconference: Putin and Xi Jinping launched the “Power of Siberia”. 02.12.19 // Gazeta.ru: [Electronic source]. URL: www.gazeta.ru/business/2019/12/01/12841694.shtml (accessed: 31.01.2023). (In Russ)
6. Expert Ponkratov told how beneficial the Chinese gas market is for the Russian Federation. 24.03.22 // Regnum: [Electronic source]. URL: <https://regnum.ru/news/economy/3543678.html> (accessed: 31.01.2023). (In Russ)

7. Gas Will Be Delivered to Japan through Vladivostok.16.06.08 // Vladivostok Times: [Electronic source]. URL: <https://web.archive.org/web/20090805160316/http://vladivostoktimes.com/show/?id=26289&p=2> (accessed: 31.01.2023). (In Russ)
8. A glut of new coal-fired power stations endangers China's green ambitions. 21.05.20 // The Economist: [Electronic source]. URL: www.economist.com/china/2020/05/21/a-glut-of-new-coal-fired-power-stations-endangers-chinas-green-ambitions (accessed: 31.01.2023).
9. Diversification of energy sources is the key to further development of the energy sector in China. 17.01.23 // TVBrics: [Electronic source] URL: <https://tvbrics.com/news/diversifikatsiya-istochnikov-energii-zalog-dalneyshego-razvitiya-energeticheskogo-sektora-kitaya/> (accessed: 31.01.2023). (In Russ)
10. Energy strategy of the Russian Federation for the period up to 2035 // Official website of the Ministry of Energy of the Russian Federation (Ministry of Energy of Russia): [Electronic source]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (accessed: 20.01.23). (In Russ)
11. Shaipova M. Riddle about the pipe: who blew up the Nord Stream. 18.11.22 // Izvestia: [Electronic source]. URL: <https://iz.ru/1427697/mariia-shaipova/zagadka-o-trube-kto-vzorval-severnyi-potok> (accessed: 31.01.2023). (In Russ)
12. All sanctions // Datawrapper: [Electronic source]. URL: https://www.datawrapper.de/_MGzSP/ (accessed: 01.02.2023).
13. Russia has translated payments for gas into rubles. What does this mean for Europe? // RBK: [Electronic source]. URL: <https://www.rbc.ru/business/31/03/2022/6245b6c39a7947e7182a7ff2> (accessed: 01.02.2023). (In Russ)
14. On three chairs. What historical path do the Russians choose? // Project "Russia of the Future: 2017 → 2035": [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://2035.media/2017/10/24/russian-path/> (accessed: 01.02.2023). (In Russ)
15. Russia's energy export revenues grew by 38% in 2022.. 22.08.22 // Neftegaz.ru: [Electronic source]. URL: <https://neftegaz.ru/news/finance/747770-dokhody-rossii-ot-eksporta-energonositeley-v-etom-godu-vyrosli-na-38/> (accessed: 01.02.2023). (In Russ)
16. The heads of state of China and Russia exchanged congratulations on the New Year 《中俄两国元首互致新年贺电》. 31.12.22 // CCTV: [Electronic source]. URL: <https://news.cctv.com/2022/12/31/ARTIRKkLYDfjrf439iyWWxfy221231.shtml?spm=C94212.P4YnMod9m2uD.ENPMkWvfnaI.V138> (accessed: 05.01.2023).
17. The United States issued a warning to China after Xi Jinping's conversation with Putin. 31.12.22// RBK: [Electronic source]. URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/63af4d209a79472e12f0ed8c> (accessed: 01.02.2023).
18. List of sites blocked in China. 《中國封鎖之網站列表》. // ChinaVPN: [Electronic source]. URL: <https://www.chinavpn.tips/cn/websites-services-banned-in-china/> (accessed: 01.02.2023).
19. Monitoring registries // Roscomsvoboda: [Electronic source]. URL: https://reestr.rublacklist.net/ru/?status=1&gov=all&date_start=&date_end= (accessed: 01.02.2023).
20. Censorship (control) on the Internet Experience of China // Tadviser: [Electronic source]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (accessed: 01.02.2023).
21. Media blocked and closed in Russia after the start of the "military special operation" in Ukraine // Takie Dela: [Electronic source]. URL: <https://takiedela.ru/list/zablokirovannye-smi/> (accessed: 02.02.2023). (In Russ)
22. Beschetnova A.A. Astroturfing as a social problem of our time. Forum of Internet Conferences VolRC RAS: [El. source]. URL: <http://fic.vscs.ac.ru/index.php?forum/597> (accessed: 02.02.2023). (In Russ)
23. Meta Says It Shut Down Networks of Fake Accounts Engaged in "Clandestine Spread of Influence Operations" from China and Russia // Octagon: [Electronic source]. URL: https://octagon.media/novosti/meta_zayavila_chno_zakryla_seti_falshivyx_akkauntov_zanimavshixsya_tajnymi_operacijami_rasprostraneniya_vliyaniya_iz_kitaya_i_rossii.html (accessed: 02.02.2023). (In Russ)
24. Markov A.S. Cybersecurity and information security as a bifurcation of the nomenclature of scientific specialties. *Issues of cybersecurity*. 2022; 1(47): 2-9. (In Russ)
25. Wu X. Chinese Cyber Nationalism: Evolution, Characteristics, and Implications. Lanham, MD: Lexington Books. p. 158.
26. Limonier K. Russia in Cyberspace: Issues and Representations // Cairn Info: [Electronic source]. URL: https://www.cairn-int.info/article-E_HER_152_0140--russia-in-cyberspace-issues.htm (accessed: 01.02.2023).
27. Alekseenko A. New Russian Model BIT and the Practice of Investment Arbitration. *Manchester Journal of International Economic Law* 16(1):79-93.
28. Federal Law "On the Security of Critical Information Infrastructure of the Russian Federation" dated July 26, 2017 N 187-FZ
29. Regulation on the protection of critical information infrastructure State Order No. 745 dated 17.08.21 《关键信息基础设施安全保护条例》 // State Council of the People's Republic of China: [Electronic source]. URL: http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-08/17/content_5631671.htm (accessed: 19.01.22).

30. "Labor Code of the Russian Federation" dated December 30, 2001 N 197-FZ (as amended on November 22, 2021) (as amended and supplemented, effective from November 30, 2021). (In Russ)
31. "Civil Code of the Russian Federation" .Base Garant: [Electronic source]. URL: <https://base.garant.ru/10164072/> (accessed: 20.01.22). (In Russ)
32. "Code of the Russian Federation on Administrative Offenses" dated December 30, 2001 N 195-FZ (as amended on December 30, 2021) (as amended and supplemented, effective from January 10, 2022).
33. "Criminal Code of the Russian Federation" dated 06/13/1996 N 63-FZ (as amended on 12/30/2021).
34. Decree of the President of the Russian Federation of May 1, 2022 No. 250 "On additional measures to ensure the information security of the Russian Federation". Official Internet portal of legal information: [Electronic source]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205010023> (accessed: 01.02.2023). (In Russ)
35. The finalized text of the draft Decree of the Government of the Russian Federation "On the procedure for the transition of subjects of critical information infrastructure to the predominant use of trusted software and hardware systems at their significant objects of critical information infrastructure" (prepared by the Ministry of Industry and Trade of Russia on August 11, 2022) // Garant.ru: [Electronic source]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56833508/> (accessed: 01.02.2023). (In Russ)
36. The national standard "Information security technologies and requirements for the protection of critical information infrastructure" will be implemented in May next year 《信息安全技术 关键信息基础设施安全保护要求》国家标准将于明年5月实施// State Council of the People's Republic of China: [Electronic source]. URL: http://www.gov.cn/xinwen/2022-11/07/content_5725199.htm (accessed: 01.02.2023).
37. Regulatory documents on the safety of CII // CII 187-FZ: [Electronic source]. URL: <https://187.ussc.ru/blog/detail/normativnye-dokumenty-o-bezopasnosti-kii/> (accessed: 01.02.2023).
38. Academician's point of view | Feng Denguo: Three Key Opportunities to Protect Critical Information Infrastructure Security 《院士观点|冯登国：关键信息基础设施安全保护三大关键能力》// NetEase: [Electronic source]. URL: <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1714661850130545665&wfr=spider&for=pc> (accessed: 01.02.2023).

Сведения об авторах:

Семишкур Алена Романовна, магистрантка, факультет безопасности информационных технологий;
all7al@bk.ru

Лившиц Илья Иосифович, доктор технических наук, профессор; livshitz.il@yandex.ru

Information about the authors:

Alena R. Semishkur, Master's student, Faculty of Secure Information Technologies, all7al@bk.ru

Ilya I. Livshitz, Dr.Sci. (Eng.), Prof., Faculty of Secure Information Technologies, livshitz.il@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 06.05.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 01.06.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 01.06.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 519.711.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-153-159

Оригинальная статья /Original Paper

**Постановка задачи моделирования процесса вакуумной СВЧ – сушки
для определения температурных полей во вспененных суспензиях**

В.В.Ткач¹, Г.О. Магомедов², А.А Шевцов¹

¹Военный учебно – научный центр Военно – воздушных сил

«Военно–воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,

¹394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а, Россия,

²Воронежский государственный университет инженерных технологий,

²394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является формулировка математической модели процесса вакуумной СВЧ – сушки для определения температурных полей во вспененных суспензиях. При очевидных преимуществах СВЧ – сушки в вакууме не исключается возможность перегрева высушенного материала, что отражается на его качестве. Поэтому ограничение на температуру материала при сушке должно учитываться при моделировании. **Метод.** Исследование основано на методах имитационного компьютерного моделирования. **Результат.** Предложена постановка задачи моделирования для определения температурных полей во вспененных суспензиях в широком диапазоне режимных параметров. **Вывод.** Повышение точности результатов моделирования за счет совершенствования математического описания составляет основу современных исследований в области технологии и оборудования вакуумной СВЧ – сушки.

Ключевые слова: моделирование, вакуум, энергоподвод, СВЧ – нагрев, вспененное состояние

Для цитирования: В.В. Ткач, Г.О. Магомедов, А.А. Шевцов. Постановка задачи моделирования процесса вакуумной СВЧ – сушки для определения температурных полей во вспененных суспензиях. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):153-159. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-153-159

**Statement of the problem modeling the process vacuum microwave drying for
determining temperature fields in foamed suspensions**

V.V. Tkach¹, G.O. Magomedov², A.A. Shevtsov¹

¹Military Training and Research Center Air force «The Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin»,

¹54a, Stary Bolsheviks St., Voronezh 394064, Russia,

²Voronezh State University of Engineering Technology,

²19, Revolution Ave., Voronezh 394036, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to formulate a mathematical model of the process of vacuum microwave drying to determine the temperature fields in foamed suspensions. With the obvious advantages of microwave drying in a vacuum, the possibility of overheating of the dried material is not excluded, which affects its quality. Therefore, the limitation on the temperature of the material during drying must be taken into account in the simulation. **Method.** The study is based on the methods of simulation computer modeling. **Result.** The formulation of the modeling problem for determining the temperature fields in foamed suspensions in a wide range of regime parameters is proposed. **Conclusion.** Increasing the accuracy of simulation results by improving the mathematical description is the basis of modern research in the field of technology and equipment for vacuum microwave drying.

Keywords: designing, vacuum, power supply, microwave heating, foamed condition

For citation: V.V. Tkach, G.O. Magomedov, A.A. Shevtsov. Statement of the problem modeling the process vacuum microwave drying for determining temperature fields in foamed suspensions. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):153-159. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-153-159

Введение. В работе рассматривается процесс вакуумной сушки, сущность которого состоит в обезвоживании материалов с развитой пористой структурой (в виде пены) в поле токов сверхвысокой частоты (СВЧ). Этот весьма перспективный способ сушки и установка для осуществления получили развитие в работах [1 – 16]. В материале с развитой структурой механизм внутреннего массообмена заключается в том, что здесь поверхностью парообразования является не только и не столько наружная поверхность тела, сколько вся его развитая структура. В высокопористом материале внутренняя поверхность парообразования может превосходить по площади внешнюю поверхность в десятки и сотни раз. Поэтому даже при влажном состоянии такого материала изменение локального влагосодержания внутри него происходит в значительной мере за счет фазовых превращений. Таким образом, описание массообмена для обычных материалов и, в частности, описание процесса внутреннего парообразования требуют существенного уточнения при рассмотрении материалов с развитой пористой структурой.

Постановка задачи. Сформулировать математическую модель процесса вакуумной СВЧ – сушки для определения температурных полей во вспененных суспензиях.

Методы исследования. Для решения данной задачи считали, что продукт имеет пенную структуру, а процесс вакуумной сушки происходит в условиях вакуума при давлении 700 Па (рис. 1).

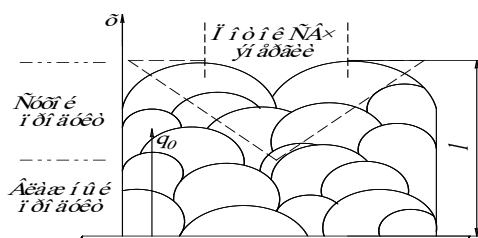


Рис.1. Физическая модель процесса вакуумной СВЧ – сушки

Fig. 1. Physical model of the vacuum microwave drying process

Предполагалось, что в первоначальный момент весь слой пены имеет замкнутые пузырьки, а после создания вакуума и подвода к ним энергии от СВЧ – генератора происходила вакуумная сушка влаги с поверхности пузырьков. В простейшем варианте процесс описывается уравнением теплообмена, в котором поглощением тепла пенным продуктом линейно зависит от разности температур ($T - T_0$):

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \beta \cdot (T - T_0) \quad (1)$$

где T – температура, при которой происходит процесс сушки; °С, T_0 – температура в рабочем объеме сушилки, при которой осуществляется процесс вакуумной сушки пенного продукта, °С; x – координата по толщине продукта, $x \in [0; l]$, м; l – толщина слоя продукта, м; α – коэффициент температуропроводности, м²/с; β – коэффициент теплопоглощения при вакуумной сушке, кДж/кг с граничными условиями

$$T \Big|_{x=l} = T_w, \quad (2)$$

где T_w – температура поверхности продукта на границе с вакуумом,

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = -q_0, \quad (3)$$

где q_0 – удельное количество теплоты, которое трансформируется в объеме пенообразного продукта из энергии сверхвысокочастотного электромагнитного поля и передается от поверхности, на котором он расположен к поверхности испарения.

$$q_0 = 0,556 \cdot 10^{-10} \varepsilon'' \nu E^2,$$

где $\varepsilon'' = \varepsilon' \tan \delta$ – коэффициент диэлектрических потерь; ε' – диэлектрическая проницаемость; δ – угол диэлектрических потерь; ν – частота электромагнитных колебаний, Гц; E – напряженность электрического поля, В/м; и начальными условиями:

$$T|_{\tau=0} = T_1, \quad (4)$$

где T_1 – постоянная температура по всему объёму продукта в начале процесса сушки.

Обсуждение результатов. С высокой степенью достоверности можно считать, что напряженность СВЧ поля E постоянна по объёму высушиваемого продукта, т.е. электромагнитные волны не затухают при прохождении от верхней поверхности слоя к нижней.

Вместе с тем, при моделировании СВЧ – нагрева учитывалась селективность поглощения электромагнитной энергии различными составляющими влагосодержащего материала – жидкой и твердой фазой влаги и паром. Так, коэффициент диэлектрических потерь воды весьма велик и значительно превышает соответствующие значения для сухой составляющей большинства материалов, а коэффициент диэлектрических потерь пара практически равен нулю. Поскольку в процессе сушки концентрация жидкой фазы влаги изменяется, то значение общего коэффициента диэлектрических потерь материала ε'' может на целые порядки различаться по высоте слоя. Поэтому значение ε'' должно определяться с учетом соответствующих условий (температуры и состава материала) в каждой конкретной точке объекта сушки. Тогда при моделировании учитывается не только объемный, но и направленный характер СВЧ нагрева.

Экспериментальное определение сложной зависимости коэффициента ε'' от состава, структуры, температуры материала и прочих факторов довольно трудоемко и не может гарантировать получения достаточно точных результатов. В связи с этим предложен способ упрощенной аналитической оценки зависимости ε'' от состава и структуры материала.

В соответствии с этим общий коэффициент ε'' представлен в виде суммы коэффициентов диэлектрических потерь сухого вещества, воды и пара, умноженных на некоторые весовые коэффициенты:

$$\varepsilon'' = \sigma_c \varepsilon_c'' + \sigma_b \varepsilon_b'' + \sigma_n \varepsilon_n'',$$

где ε_c'' , ε_b'' , ε_n'' – коэффициенты диэлектрических потерь соответственно для сухого вещества, воды и пара; σ_c , σ_b , σ_n – весовые коэффициенты. Все весовые коэффициенты неотрицательны, их сумма равна единице.

Так как удельная мощность СВЧ нагрева q_0 рассчитывалась по объёму материала, то каждый из весовых коэффициентов определялся как отношение объема соответствующего компонента к общему объёму материала. Это позволило учесть развитую структуру продукта, которая отражается на его способности поглощать энергию поля СВЧ.

Рассмотрен некоторый элементарный объем V внутри материала, в котором через V_c , V_b , и V_n соответственно объем сухого вещества, жидкости и заполненных паром пузырьков в объеме V , тогда:

$$\sigma_c = \frac{V_c}{V} = \frac{m_c}{\rho_c V} = \frac{\gamma}{\rho_c}; \quad \sigma_b = \frac{V_b}{V} = \frac{m_b}{\rho_b V} = \frac{m_b u_2}{\rho_b V} = \frac{\gamma}{\rho_b} (u - u_3); \quad \sigma_n = \frac{V_n}{V} = \Pi,$$

где m_c , m_b , – масса сухого вещества и жидкости в объеме V , кг; ρ_c , ρ_b – плотность сухого вещества, и жидкости (воды), кг/м³.

С учетом того, что пар практически не поглощает электромагнитную энергию ($\varepsilon_n'' = 0$), окончательно получено: $\varepsilon'' = \frac{\gamma}{\rho_c} \varepsilon_c'' + \frac{\gamma}{\rho_b} (u - u_3) \varepsilon_b''$.

Данная формула позволяет учесть зависимость коэффициента диэлектрических потерь материала от объемной концентрации сухого вещества и локального массосодержания жидкости. Полученная начально-краевая задача (1) – (4) была упрощена путём разложения неизвестной температуры $T(x, \tau)$ в ряд Фурье по собственным функциям.

Для нахождения собственных функций задача (1) – (4) сводилась к однородным граничным условиям. Это достигалось следующей заменой:

$$T = a + b \cdot x + v, \quad (5)$$

где $v(x, t)$ – новая неизвестная функция, a, b – неизвестные константы, которые необходимо подобрать так, чтобы граничные условия для v были однородными.

Пусть $v|_{x=l} = 0$, тогда из граничного условия (2) и формулы (5) получено:

$$T|_{x=l} = a + b \cdot l = T_w. \quad (6)$$

После дифференцирования уравнения (6) приведено к виду:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = b + \left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_{x=0} = -q_0.$$

Из условия $\left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$, следует, что $b = -q_0$. Подставляя полученное значение b в уравнение (6) определена константа a : $a = T_w - q_0 \cdot l$.

Найденные выражения для a и b подставляли в уравнение (5):

$$T = (T_w + q_0 \cdot l) - q_0 \cdot x + v. \quad (7)$$

Дифференцируя (7) по t и дважды по x , получены уравнения:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial v}{\partial \tau}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = -q_0 + \frac{\partial v}{\partial x}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}. \quad (10)$$

После подстановки (7) – (10) в уравнение (1) получено:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \beta \cdot (T_w + q_0 \cdot l - q_0 \cdot x + v - T_0). \quad (11)$$

Граничные условия для v получены из (7):

$$T|_{x=l} = T_w + q_0 \cdot l - q_0 \cdot l + v|_{x=l} = T_w, \quad v|_{x=l} = 0, \quad (12)$$

а из условия (9) следует:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = -q_0 + \left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_{x=0} = -q_0, \text{ или } \left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_{x=0} = 0. \quad (13)$$

Граничные условия (12) и (13) для v имеют однородный вид, который необходим для применения теории собственных функций и последующих спектральных разложений.

После подстановки (7) в (4) определены начальные условия для v :

$$T|_{\tau=0} = T_w + q_0 \cdot l - q_0 \cdot x + v|_{\tau=0} = T_1, \\ v|_{\tau=0} = T_1 - T_w - q_0 \cdot l + q_0 \cdot x. \quad (14)$$

Функция v представлена в виде двух слагаемых

$$v = F_1 + F_2 \quad (15)$$

Если считать, что F_1 удовлетворяет однородному дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial F_1}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 F_1}{\partial x^2} - \beta \cdot F_1, \quad (16)$$

то, после подстановки v из (15) в (11), с учетом (16) для F_2 получено следующее уравнение

$$\frac{\partial F_2}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 F_2}{\partial x^2} - \beta \cdot [(T_w - T_0) - q_0 \cdot (x - l) + F_2]. \quad (17)$$

Для F_1 были приняты однородные граничные условия

$$F_1|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial F_1}{\partial x}|_{x=0} = 0, \quad (18)$$

тогда из (12) и (13) для F_2 получены также однородные граничные условия

$$F_2|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial F_2}{\partial x}|_{x=0} = 0. \quad (19)$$

Если начальные условия для F_1 принимались в виде

$$F_1|_{\tau=0} = T_1 - T_w - q_0(1-x), \quad (20)$$

то после подстановки (15) и (20) в (14), получены начальные условия для F_2 :

$$F_2|_{\tau=0} = 0 \quad (21)$$

Таким образом, задача (1) – (4) о нахождении температуры T в пенообразном продукте в процессе вакуумной сушки сведена к двум более простым задачам о нахождении F_1 из системы {(16), (18), (20)}:

$$\frac{\partial F_1}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 F_1}{\partial x^2} - \beta \cdot F_1, \quad (22)$$

$$F_1|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial F_1}{\partial x}|_{x=0} = 0, \quad (23)$$

$$F_1|_{\tau=0} = T_1 - T_w - q_0(l-x), \quad (24)$$

и нахождении F_2 из системы {(17), (19), (21)}:

$$\frac{\partial F_2}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 F_2}{\partial x^2} - \beta \cdot [(T_w - T_0) - q \cdot (x-l)] - \beta \cdot F_2, \quad (25)$$

$$F_2|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial F_2}{\partial x}|_{x=0} = 0, \quad (26)$$

$$F_2|_{\tau=0} = 0. \quad (27)$$

Вывод. Сформулирована задача моделирования, для решения которой необходимо располагать теплофизическими и электрофизическими свойствами объекта моделирования; диапазоном изменения входных, выходных и промежуточных переменных; ограничениями, накладываемыми на условия проведения процесса вакуумной сушки в поле токов сверхвысокой частоты (СВЧ). Для математического описания необходимы экспериментальные данные, дополняющие полноту информации для решения поставленной задачи [17, 18]. Высушиваемые материалы с развитой поверхности парообразования при комбинированном методе энергоподвода, высокая интенсивность тепломассообмена и различные аспекты технического характера обуславливают особую сложность соответствующего процесса сушки в плане их моделирования, что требует специфического подхода в решении предлагаемой модели.

Библиографический список:

1. Журавлев А. В. Разработка конструкции вихревой сушильной камеры с СВЧ – энергоподводом [Текст] / А. В. Журавлев, Д. А. Казарцев, И. С. Юрова, Э. В. Рязских, Е. С. Бунин / Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2014. – № 4 (4). – С. 68 – 74.
2. Хвостов А. А. Математическое обеспечение процесса вакуумной СВЧ – сушки как предначальная стадия создания САПР сушилок нового поколения [Текст] / А.А. Хвостов, В.И. Рязских, А.А. Шевцов, В.В. Ткач. / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Том 49, №3, 2022. – С. 104 – 115.
3. Пат. № 2544406 РФ, МПК F26B 17/10, 3/347. Аппарат для сушки дисперсных материалов в закрученном потоке теплоносителя с СВЧ – энергоподводом [Текст] / Д. А. Казарцев, С. Т. Антипов, А. В. Журавлев, Д. А. Нестеров, А. В. Бородкина. – заявитель и патентообладатель: Воронеж. гос. ун – т. инж. технол. – № 2013150692, заявл. 14.11.2013, опубл. 20.03.2015. Бюл. № 8.
4. Пат. № 2425311 РФ, МПК F26B 17/10, 3/347. Вихревая сушильная камера для сушки дисперсного материала в закрученном потоке теплоносителя с СВЧ – энергоподводом [Текст] С. Т. Антипов, Д. А. Казарцев, А. В. Журавлев, Е. С. Бунин, А. Ю. Баранов, И. С. Юрова. – заявитель и патентообладатель: Воронеж. гос. технол. акад. № 2010115946, заявл. 21.04.2010, опубл. 27.07.2011. Бюл. № 21.
5. Пат. № 2444689 РФ, МПК F26B 25/22. Способ автоматического управления процессом сушки пищевых продуктов в ленточной сушилке с использованием конвективного и СВЧ – энергоподвода /

- С. Т. Антипов, Д. А. Казарцев, А. В. Журавлев, Т. В. Калинина, И. С. Юрова, А. Б. Емельянов. – заявитель и патентообладатель: Воронеж. гос. технол. акад. – № 2010135851, заявл. 26.08.2010, опублик. 10.03.2012. Бюл. № 7.
6. Пат. на пол. модель № 159476 РФ, МПК G01R 21/02. Устройство для измерения удельной мощности электромагнитного поля СВЧ в объеме заполненным сыпучим либо жидким материалом [Текст] / Д. А. Будников, А. Н. Васильев, А. А. Васильев, А. А. Цымбал. – Заявитель и патентообладатель: – Федеральное государственное бюджетное научное Учреждение Всероссийский научно – исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. – № 2015143412/28, заявл. 13.10.2015; опублик. 10.02.2016. Бюл. № 4.
 7. Пат. № 2755850 РФ, МПК F26B 9/06. Установка для вакуумной сушки [Текст] / С. В. Макеев, Е. С. Бунин, А. А. Шевцов, В. В. Ткач. – заявитель и патентообладатель: Воронеж. гос. ун – т. инж. технол. – № 2020141027, заявл. 14.12.2020, опублик. 22.09.2021. Бюл. № 27.
 8. Пат. № 2784271 РФ, МПК 26B 15/04. Вакуумная СВЧ – установка карусельного типа [Текст] / В. В. Ткач, А. А. Шевцов, И. Н. Тарашченко, А. М. Журавлев. – заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно – воздушных сил «Военно – воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации. – № 2021361133, заявл., 07.12.2021, опублик. 23.12.2022. Бюл. № 33.
 9. Пат. на пол. модель № 72536 РФ, МПК F26B 5/06 (2006.01). Вакуумная СВЧ – установка для лабораторных исследований процесса обезвоживания пищевых сред [Текст] / Г.О. Магомедов, С.В. Шахов, М.Г. Магомедов, В.В. Ткач, В.В. Новиков. – заявитель и патентообладатель: Г.О. Магомедов, С.В. Шахов, М.Г. Магомедов, В.В. Ткач, В.В. Новиков. – № 2007145105/22; заявл. 04.12.2007; опублик. 20.04.2008. Бюл. № 11.
 10. Orsat V., Vijaya G.S. Raghavan. Microwave technology for food processing. The Microwave Processing of Foods, July 2005, pp.105 – 118.
 11. Tong T.H., Lund, D.B. Microwave Heating of Baked Dough Products with Simultaneous Heat and Moisture Transfer. Journal of Food Engineering 19 (1993), 319 – 339 – 286.
 12. Bandita B. B, Sandeep J. Role of Food Microwave Drying in Hybrid Drying Technology. A Comprehensive Review of the Versatile Dehydration Processes, 2022, pp. 1 – 11.
 13. Bhargav K., Navnitkumar K. D. Drying of Food Materials by Microwave Energy. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 9 (5): May 2020, pp.1950 – 1973.
 14. Pere C., Rodier E. Microwave vacuum drying of porous media: Experimental study and qualitative considerations of internal transfers. Chemical Engineering and Processing 41 (5), May 2002, pp. 427 – 436.
 15. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
 16. Рудобашта С. П. Математическое моделирование процесса сушки дисперсных материалов [Текст] / С. П. Рудобашта / Известия Академии наук. Энергетика. – 2000. – № 4. – С. 98 – 109.
 17. Казарцев Д. А. Разработка общих видов математических моделей сушки пищевых продуктов с СВЧ – энергоподводом на основе законов химической кинетики гетерогенных процессов [Текст] / Д. А. Казарцев / Вестник ВГУИТ. – Воронеж, 2021. – Т. 83. № 3. С. 17 – 22.
 18. Антипов С. Т. Решение математической модели процесса сушки плодов черной смородины в вакуум – аппарате с СВЧ – энергоподводом [Текст] / С. Т. Антипов, Д. А. Казарцев, А. В. Журавлев, С. А. Виниченко / Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – № 2 (60). – С. 7 – 12.

References:

1. Zhuravlev A.V. Development of the design of a vortex drying chamber with a microwave energy supply [Text] / A.V. Zhuravlev, D. A. Kazartsev, I. S. Yurova, E. V. Ryazhskikh, E. S. Bunin. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2014;4(4):68-74. (In Russ)
2. Khvostov A. A. Mathematical support of the vacuum microwave drying process as a pre-initial stage of creating CAD dryers of a new generation [Text] / A.A. Khvostov, V.I. Ryazhskikh, A.A. Shevtsov, V.V. Tkach. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2022; 49(3):104–115. (In Russ)
3. Pat. No. 2544406 of the Russian Federation, IPC F26B 17/10, 3/347. Apparatus for drying dispersed materials in a swirling coolant flow with a microwave power supply [Text] D. A. Kazartsev, S. T. Antipov, A.V. Zhuravlev, D. A. Nesterov, A.V. Borodkina. – applicant and patent holder: Voronezh State University - T. eng. technol. – No. 2013150692, declared on 14.11.2013, published on 20.03.2015; 8. (In Russ)
4. Pat. No. 2425311 of the Russian Federation, IPC F26B 17/10, 3/347. Vortex drying chamber for drying dispersed material in a swirling coolant flow with a microwave power supply [Text] / S. T. Antipov, D. A. Kazartsev, A.V. Zhuravlev, E. S. Bunin, A. Yu. Baranov, I.S. Yurova. applicant and patent holder: Voronezh. gos. technol. acad. – No. 2010115946, application No. 21.04.2010, publ. 27.07.2011; 21. (In Russ)
5. Pat. No. 2444689 of the Russian Federation, IPC F26B 25/22. A method for automatic control of the drying process of food products in a belt dryer using convective and microwave power supply / S. T. Antipov,

- D. A. Kazartsev, A.V. Zhuravlev, T. V. Kalinina, I. S. Yurova, A. B. Emelyanov. applicant and patent holder: Voronezh. gos. technol. acad. No. 2010135851, application. 26.08.2010, publ. 10.03.2012; 7. (In Russ)
6. Pat. on the floor. Model No. 159476 RF, IPC G01R 21/02. A device for measuring the specific power of the microwave electromagnetic field in a volume filled with bulk or liquid material [Text] / D. A. Budnikov, A. N. Vasiliev, A. A. Vasiliev, A. A. Tsymbal. – Applicant and patent holder. – Federal State Budgetary Scientific Institution All – Russian Research Institute of Electrification of Agriculture. – No. 2015143412/28, declared on 13.10.2015; published on 10.02.2016; 4. (In Russ)
 7. Pat. No. 2755850 of the Russian Federation, IPC F26B 9/06. Installation for vacuum drying [Text] / S. V. Makeev, E. S. Bunin, A. A. Shevtsov, V. V. Tkach. – applicant and patent holder: Voronezh. gos. un – t. eng. technol. No. 2020141027, declared on 12/14/2020, published on 09/22/2021; 27. (In Russ)
 8. Pat. No. 2784271 of the Russian Federation, IPC 26B 15/04. Vacuum microwave installation of the carousel type [Text] / V. V. Tkach, A. A. Shevtsov, I. N. Tarashchenko, A.M. Zhuravlev. – applicant and patent holder: Federal State State-owned Military Educational Institution of Higher Education “Military Training and Research Center of the Air Force “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Garin” (Voronezh) of the Ministry of Defense of the Russian Federation. – No. 2021361133, application, 07.12.2021, publ. 23.12.2022; 33. (In Russ)
 9. Pat. on the floor. Model No. 72536 RF, IPC F26B 5/06 (2006.01). Vacuum microwave installation for laboratory studies of the process of dehydration of food media [Text] /G.O. Magomedov, S.V. Shakhov, M.G. Magomedov, V.V. Tkach, V.V. Novikov. – applicant and patent holder: G.O. Magomedov, S.V. Shakhov, M.G. Magomedov, V.V. Tkach, V.V. Novikov. – No. 2007145105/22; application 04.12.2007; publ. 20.04.2008; 11.
 10. Orsat V., Vijaya G.S. Raghavan. Microwave technology for food processing. The Microwave Processing of Foods, July 2005; 105 – 118.
 11. Tong T.H., Lund, D.B. Microwave Heating of Baked Dough Products with Simultaneous Heat and Moisture Transfer. *Journal of Food Engineering* 19,1993; 319 – 339 – 286.
 12. Bandita B. B., Sandeep J. Role of Food Microwave Drying in Hybrid Drying Technology. *A Comprehensive Review of the Versatile Dehydration Processes*, 2022; 1 – 11.
 13. Bhargav K., Navnitkumar K. D. Drying of Food Materials by Microwave Energy. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9 (5): May 2020; 1950 – 1973.
 14. Pere C., Rodier E. Microwave vacuum drying of porous media: Experimental study and qualitative considerations of internal transfers. *Chemical Engineering and Processing* 41 (5), May 2002; 427 – 436.
 15. Lykov A.V. Theory of drying. M.: Energiya 1968; 471. (In Russ)
 16. Rudobashta S. P. Mathematical modeling of the drying process of dispersed materials [Text] / S. P. Rudobashta. *Proceedings of the Academy of Sciences. Energy*. 2000; 4: 98 – 109. (In Russ)
 17. Kazartsev D. A. Development of common type mathematical model sushki pisev pengtov with SVH-extravnergodom on the basis of legal chemical kinetics gethrogenn urgentsov [text] *VGWIT newspaper*:- Voronezh, 2021; 83(3): 17 – 22. (In Russ)
 18. Antipov S. T. The solution of a mathematical model of the drying process of black currant fruits in a vacuum apparatus with a microwave power supply [Text] / S. T. Antipov, D. A. kazartsev, A.V. Zhuravlev, S. A. Vinichenko. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2014; 2 (60): 7-12. (In Russ)

Сведения об авторах:

Ткач Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин, tkachbalian@yandex.ru

Магомедов Газибег Омарович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств», gazibec.magomedov@yandex.ru

Шевцов Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин, shevalol@rambler.ru

Information about authors:

Vladimir V. Tkach, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of general professional disciplines; tkachbalian@yandex.ru

Gazibeg O. Magomedov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head. Department of Technologies of bakery, confectionery, pasta and grain processing industries

Alexander A. Shevtsov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof, Department of general professional disciplines shevalol@rambler.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 15.04.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 12.05.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 12.05.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 539.3

DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-160-168

Оригинальная статья /Original Paper

Моделирование влажностных напряжений в грунтовом полупространстве

Э.К. Агаханов¹, С.А. Агаханов², Г.Э. Агаханов¹

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия,

²Дагестанский государственный педагогический университет,

²367003, г. Махачкала, пр. Ярагского, 57, Россия

Резюме. Цель. Решение вопросов надежности, долговечности и экономичности зданий и сооружений неразрывно связано с поведением грунтов в их основаниях. В работе для установления более реального поведения грунтов рассмотрено определение их напряженно-деформированного состояния с учетом новых факторов, в том числе физических воздействий, в частности влажности. **Метод.** Представляя структуру грунта в виде модели, составленной из двух упругих и одного вязкого элемента, и полагая, что свойства упругих элементов при изменении влажности не меняются, выполнено математическое моделирование влажностных напряжений в грунтовом полупространстве. Целесообразность данной модели объясняется тем, что переход к чрезмерно усложненным схемам строения материала вносит мало существенных поправок в законы деформирования и приводит к серьезным трудностям расчета. **Результат.** Замена истинного времени условным временем приводит к значительному упрощению решения уравнения, так как сводит одну его часть к дифференциальному линейному оператору с постоянными коэффициентами. Противоположная часть при этом обычно может рассматриваться как заданная функция условного времени. Получено максимальное значение напряжений при полном увлажнении грунта, очень малой интенсивности увлажнения и очень интенсивном увлажнении. **Вывод.** Задаваясь соответствующей интенсивностью увлажнения, можно получить максимальное напряжение, не превосходящее заданного допускаемого значения.

Ключевые слова: математическое моделирование; грунтовое полупространство; увлажнение грунта; влажностное набухание грунта; вынужденные влажностные деформации; влажностные напряжения

Для цитирования: Э.К. Агаханов, С.А. Агаханов, Г.Э. Агаханов. Моделирование влажностных напряжений в грунтовом полупространстве. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2): 160-168. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-160-168

Modeling of humidity stresses in a soil half-space
E.K. Agakhanov¹, S.A. Agakhanov², G.E. Agakhanov¹

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

²Daghestan State Pedagogical University,

²57 Yaragskogo Ave., Makhachkala 367003, Russia

Abstract. Objective. Solving the issues of reliability, durability and efficiency of buildings and structures is inextricably linked with the behavior of soils in their foundations. In order to establish a more realistic behavior of soils, the paper considers the determination of their stress-strain state, taking into account new factors, including physical influences, in particular, humidity. **Method.** Representing the structure of the soil in the form of a model composed of two elastic and one viscous elements, and assuming that the properties of the elastic elements do not change

with changes in humidity, mathematical modeling of moisture stresses in the soil half-space was performed. The expediency of this model is explained by the fact that the transition to overly complicated material structure schemes introduces few significant corrections into the deformation laws and leads to serious calculation difficulties. **Result.** Replacing true time with conditional time leads to a significant simplification of the solution of the equation, since it reduces one part of it to a differential linear operator with constant coefficients. In this case, the opposite part can usually be considered as a given function of conditional time. The maximum value of stresses was obtained at full soil moisture, very low moisture intensity and very intensive moisture. **Conclusion.** By setting the appropriate moisture intensity, you can get the maximum stress that does not exceed the specified allowable value.

Keywords: mathematical modeling; ground half-space; soil moisture; moisture swelling of the soil; forced humidity deformations; moisture stress.

For citation: E.K. Agakhanov, C.A. Agakhanov, G.E. Agakhanov. Modeling of humidity stresses in a soil half-space. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2): 160-168. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-160-168

Введение. Решение актуальных сегодня вопросов надежности, долговечности и экономичности зданий и сооружений неразрывно связано с поведением грунтов в их основаниях [1-3]. Для установления более реального поведения грунтов требуется определение их напряженно-деформированного состояния с учетом новых факторов, в том числе физических воздействий, в частности влажности [4]. Влажностью грунта называют отношение массы воды к массе высушенного грунта (или к массе твердых частиц), выраженное в долях единицы, иногда в процентах. Особенностью влажности является то, что она может являться как причиной изменения свойств грунтов, так и причиной вынужденных деформаций. Примером являются глинистые грунты с большим содержанием гидрофильных глинистых минералов, которым свойственна способность изменять свой объем при изменении влажности. Увлажнение грунта приводит к увеличению его объема (набухание), а высыхание – к уменьшению его объемных деформаций (усадка).

Причиной увлажнения может быть повышение уровня подземных вод, накопление дополнительной влаги под сооружением из-за нарушения природных условий испарения воды из грунта при экранировании его поверхности построением сооружения т.д. Уменьшение влажности грунта обычно связано с технологическими или климатическими факторами [5].

Если набухание грунта происходит в стесненных условиях, то в нем возникают напряжения, определение которых является предметом данной статьи. Высокие градиенты влажности могут привести к высоким концентрациям напряжений. При сильном набухании может произойти вспучивание грунтов на поверхности, что часто сопровождается повреждением дорожного полотна, подземных коммуникаций, а также фундаментов, что может привести к обрушению зданий и сооружений.

Задачи теории упругости, в которых вынужденные влажностные деформации вносят существенный вклад в результаты решения, аналогично решению задач теории упругости для тел, находящихся в температурном поле, для которых существуют устоявшийся термин термоупругость, относятся к классу задач влагоупругости.

В работах [6-9] представлены решения стационарных и нестационарных одномерных, двумерных задач о влажностном набухании цилиндрического глинистого массива с отверстием и полого сферического массива.

Грунты, особенно при увлажнении, не обладают большой стабильностью деформаций под нагрузкой и при современных требованиях к точности результатов расчета нельзя игнорировать ярко выраженное свойство грунтов деформироваться во времени, т. е. ползучестью.

Автором в работе [10] в рамках модели линейно-деформируемого сплошного изотропного тела выполнено математическое моделирование физических воздействий в грунтовых средах со свойствами ползучести. При этом уравнения ползучести будут иметь только одну

независимую переменную – время, так как вынужденные деформации можно считать заданной функцией времени. Очевидно, что инвариантная во времени среда, вынужденные деформации которой изменяются по заданному закону во времени, может рассматриваться как среда с переменными свойствами. Для среды с неизменяющимися свойствами все зависимости должны быть инвариантными во времени.

При этом характеристики среды, зависящие от двух переменных t и τ , превращаются в функции разности этих двух переменных $t - \tau$, а функции t превращаются в постоянные величины. В квазиупругой постановке получено решение для неограниченного грунтового массива с плоской поверхностью, находящегося под действием плоско - параллельного потока тепла.

Данное решение может быть использовано для расчета напряжений с учетом ползучести в грунтовом массиве от действия вынужденных деформаций, вызванных колебаниями температуры на его поверхности.

В работе [11] автором для водонасыщенной двухфазной грунтовой среды с изменяющимися во времени свойствами в рамках сплошного изотропного тела с линейно-наследственной ползучестью выполнено математическое моделирование воздействия порового давления на грунт. Разработана новая расчетная модель, в которой поровое давление на грунт рассматривается как воздействие вынужденных деформаций.

Показано, что разработанная и известная расчетные модели (в известной модели поровое давление на грунт рассматривается как действие объемных сил) полностью согласуются с установленными ранее в механике деформируемого твердого тела общими условиями эквивалентности воздействий [12-14]. Рассмотрена водонасыщенная двухфазная грунтовая система, находящаяся под действием поверхностных сил. Процесс консолидации грунта сопровождается возникновением сил взаимодействия между двумя фазами грунта (грунтовым скелетом и поровой водой), обусловливаемых явлениями взвешивания скелета грунта за счет возникших давлений в поровой жидкости.

Постановка задачи. Глинистые грунты имеют широкое распространение в основаниях зданий и сооружений. Поэтому определение влажностных напряжений в грунтовом полупространстве является актуальным.

Рассмотрим грунтовое полупространство, подвергшее увлажнению в силу определенных причин, с изменением влажности во времени по закону

$$W = W_{\max}(1 - e^{-\nu t}), \quad (1)$$

где: W_{\max} - полная влагоемкость грунта;

ν - коэффициент, характеризующий интенсивность увлажнения.

Учитывая, что массив грунта бесконечен в направлениях горизонтальных осей Ox и Oy , следует положить деформации $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$, иначе суммарное увеличение размеров массива было бы также бесконечным. В силу равнозначности направлений Ox и Oy напряжения $\sigma_x = \sigma_y$. Кроме того, плоская поверхность $z = 0$ совершенна свободна, поэтому напряжения $\sigma_z = 0$, а деформации $\varepsilon_z = \beta W$, где β - коэффициент разбухания грунта [15].

Методы исследования. Представляя структуру грунта в виде модели, составленной из двух упругих и одного вязкого элемента, и полагая, что свойства упругих элементов при изменении влажности не меняются, основное упрощенное дифференциальное уравнение линейного деформирования имеет вид [16, 17]:

$$En(t) \frac{d\varepsilon}{dt} + H\varepsilon = \sigma + n(t) \frac{d\sigma}{dt}, \quad (2)$$

где: E - мгновенный модуль упругости;

H - длительный модуль упругости;

n - время релаксации.

Целесообразность данной модели объясняется тем, что переход к чрезмерно

усложненным схемам строения материала вносит мало существенных поправок в законы деформирования и приводит к серьезным трудностям расчета.

При очень медленных процессах деформирования в уравнении (2) скоростями напряжений и деформаций можно пренебречь по сравнению с величинами напряжений и деформаций, и тогда мы приходим к обычному закону Гука с длительным модулем упругости.

При очень быстрых процессах деформирования, наоборот, скорости деформаций и напряжений очень велики, и по сравнению с ними можно пренебречь самими деформациями и напряжениями. При этом снова получается закон Гука, но продифференцированный по времени и с мгновенным модулем упругости.

Рассмотрен случай постоянства мгновенного и длительного модулей упругости и переменного времени релаксации.

Введем шкалу условного времени по формулам [18]:

$$d\xi = \frac{dt}{n(t)}; \quad \xi = \int_0^t \frac{dt}{n(t)}. \quad (3)$$

При этом уравнение (2) преобразуется в

$$E \frac{d\varepsilon}{d\xi} + H\varepsilon = \sigma + \frac{d\sigma}{d\xi}. \quad (4)$$

Замена истинного времени условным временем приводит к значительному упрощению решения уравнения (2), так как сводит одну его часть к дифференциальному линейному оператору с постоянными коэффициентами [19].

Противоположная часть при этом обычно может рассматриваться как заданная функция условного времени.

Здесь ε представляет собой не полную деформацию, а лишь ту ее часть, которая остается после вычета деформации разбухания ε_δ , являющейся функцией влажности W .

Примем зависимость масштаба условного времени ξ от влажности W по следующей простой формуле:

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{W - W_{\max}}{n_0}, \quad (5)$$

где n_0 - постоянный коэффициент, физический смысл которого выяснится ниже.

Учитывая (3) и (5), найдем, что время релаксации равно:

$$n = \frac{n_0}{W - W_{\max}}, \quad (6)$$

и вместо (2) можно написать

$$\frac{En_0}{W - W_{\max}} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + H\varepsilon = \sigma + \frac{n_0}{W - W_{\max}} \cdot \frac{d\sigma}{dt}. \quad (7)$$

Отсюда видно, что n_0 представляет собой время релаксации влагонасыщенной грунтовой среды 100%-ной влажности.

При меньшей влажности время релаксации становится больше и в абсолютно сухой грунтовой среде обращается в бесконечность.

Из (5) получаем выражение условного времени

$$\xi = \frac{1}{n_0} \int_0^t (W - W_{\max}) dt = \frac{1}{n_0} \int_0^t [W_{\max}(1 - e^{-vt}) - W_{\max}] dt = \frac{W_{\max}}{n_0 v} (e^{-vt} - 1). \quad (8)$$

Деформацию разбухания можно в первом приближении считать пропорциональной влажности

$$\varepsilon_e = \beta W. \quad (9)$$

Влажностная деформация изменяется во времени, согласно формулам (1) и (9)

$$\varepsilon_e = \beta W_{\max}(1 - e^{-vt}). \quad (10)$$

В начале увлажнения $\varepsilon_e^0 = 0$. Увеличение влажностной деформации

$$\Delta \varepsilon_e = \beta W_{\max}(1 - e^{-vt}) \quad (11)$$

должно компенсироваться деформациями сжатия, связанных с напряжениями зависимостью (7).

Таким образом, получаем

$$\varepsilon = \beta W_{\max}(1 - e^{-vt}). \quad (12)$$

Используя выражение (8), получим вместо (12)

$$\varepsilon = -\beta n_0 v \xi. \quad (13)$$

Подставив это значение ε в уравнение (4), будем иметь:

$$-E\beta n_0 v - H\beta n_0 v \xi = \sigma + \frac{d\sigma}{d\xi}. \quad (14)$$

Это уравнение легко решается относительно σ [20]. При начальном условии

$$\sigma(0) = 0 \quad (15)$$

имеем решение

$$\sigma = -\beta n_0 v [(E - H)(1 - e^{-\xi}) + H\xi]. \quad (16)$$

Заменяя условное время ξ через истинное время t по формуле (8), получаем окончательно

$$\sigma = \beta n_0 v (E - H) \left(e^{\frac{W_{\max}(1 - e^{-vt})}{n_0 v}} - 1 \right) + \beta H W_{\max}(1 - e^{-vt}). \quad (17)$$

Обсуждение результатов. Полученное решение (17) для напряжений дает возможность для любого промежутка времени определить влажностные напряжения в грунтовом полупространстве.

Для выполнения расчетов при различных значениях исходных данных по полученному аналитическому решению составлена программа в пакете MatLab с использованием встроенного языка программирования системы Matlab.

Численный счет был выполнен при следующих значениях исходных данных:

$V = 0.3$ - полная влагоемкость грунта;

$V = 0.005; 0.006; 0.008; 0.01; 0.02; 0.03; 0.04; 0.05; 0.1; 1$ - время релаксации влагонасыщенной грунтовой среды 100%-ной влажности;

$v = 0; 5; 10; 15; 25; 30; 35; 40; 45; 50$ - коэффициент, характеризующий интенсивность увлажнения;

$\beta = 1.15$ - коэффициент разбухания грунта;

$H = 2 \cdot 10^8$ - мгновенный модуль упругости;

$H = 2 \cdot 10^9$ - длительный модуль упругости.

По полученным данным составлены таблицы 1, 2 и 3 и построены графики изменения влажностных напряжений и распределения влажностных деформаций в грунтовом полупространстве (рис.1 и 2).

Таблица 1. Зависимость деформации ε_z от времени и интенсивности увлажнения
Table 1. Dependence of deformation ε_z on time and moisture intensity

ν t	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0.02	0.033	0.063	0.089	0.114	0.136	0.156	0.174	0.190	0.205
0.04	0.063	0.114	0.156	0.190	0.218	0.241	0.260	0.275	0.288
0.06	0.089	0.156	0.205	0.241	0.268	0.288	0.303	0.314	0.322
0.08	0.114	0.190	0.241	0.275	0.298	0.314	0.324	0.331	0.336
0.1	0.136	0.218	0.268	0.298	0.317	0.328	0.335	0.339	0.341
0.12	0.156	0.241	0.288	0.314	0.328	0.336	0.340	0.342	0.343
0.14	0.174	0.260	0.303	0.324	0.335	0.340	0.342	0.344	0.344
0.16	0.190	0.275	0.314	0.331	0.339	0.342	0.344	0.344	0.345
0.18	0.205	0.288	0.322	0.336	0.341	0.343	0.344	0.345	0.345
0.2	0.218	0.298	0.328	0.339	0.343	0.344	0.345	0.345	0.345

Таблица 2. Изменение напряжений (МПа) во времени при различных значениях времени релаксации (случай $\nu = 10$)
Table 2. Change in stresses (MPa) over time at different values of relaxation time (case $\nu=10$)

n_0 t	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.01	8.48	16.40	20.80	22.71	23.45	23.73	23.83	23.87	23.89
0.02	5.89	9.08	10.47	11.02	11.23	11.30	11.33	11.34	11.34
0.03	5.35	7.85	8.86	9.25	9.39	9.44	9.46	9.47	9.47
0.04	5.13	7.36	8.24	8.57	8.69	8.74	8.75	8.76	8.76
0.05	5.00	7.10	7.91	8.22	8.33	8.37	8.39	8.39	8.39
0.1	4.78	6.64	7.35	7.61	7.70	7.74	7.75	7.76	7.76
1	4.60	6.30	6.93	7.16	7.24	7.27	7.29	7.29	7.29

Таблица 3. Изменение напряжений (МПа) во времени при различных значениях времени релаксации (случай $\nu = 20$)
Table 3. Change in stresses (MPa) over time at different values of relaxation time (case $\nu=20$)

n_0 t	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3
0.005	4.84	10.28	15.08	18.56	20.80	22.14	22.92	23.35	23.60	23.73
0.006	4.46	8.78	12.22	14.58	16.05	16.92	17.41	17.69	17.84	17.92
0.008	4.07	7.38	9.72	11.22	12.11	12.63	12.92	13.08	13.17	13.22
0.01	3.87	6.73	8.63	9.79	10.47	10.86	11.08	11.20	11.27	11.30
0.02	3.54	5.75	7.06	7.81	8.24	8.47	8.60	8.68	8.72	8.74
0.03	3.44	5.49	6.67	7.34	7.71	7.92	8.03	8.09	8.13	8.15
0.04	3.39	5.37	6.50	7.13	7.48	7.67	7.78	7.84	7.87	7.89
0.05	3.37	5.31	6.40	7.01	7.35	7.53	7.64	7.69	7.72	7.74

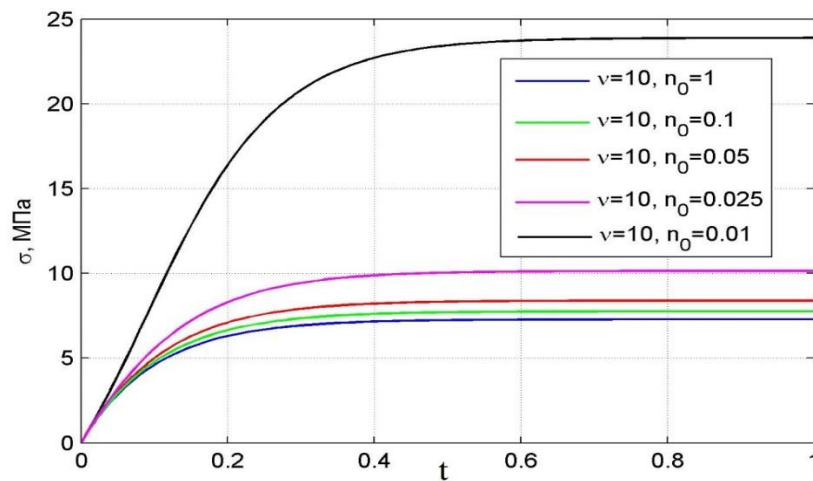


Рис. 1. Графики изменения влажностных напряжений
 Fig. 1. Graphs of changes in moisture stresses

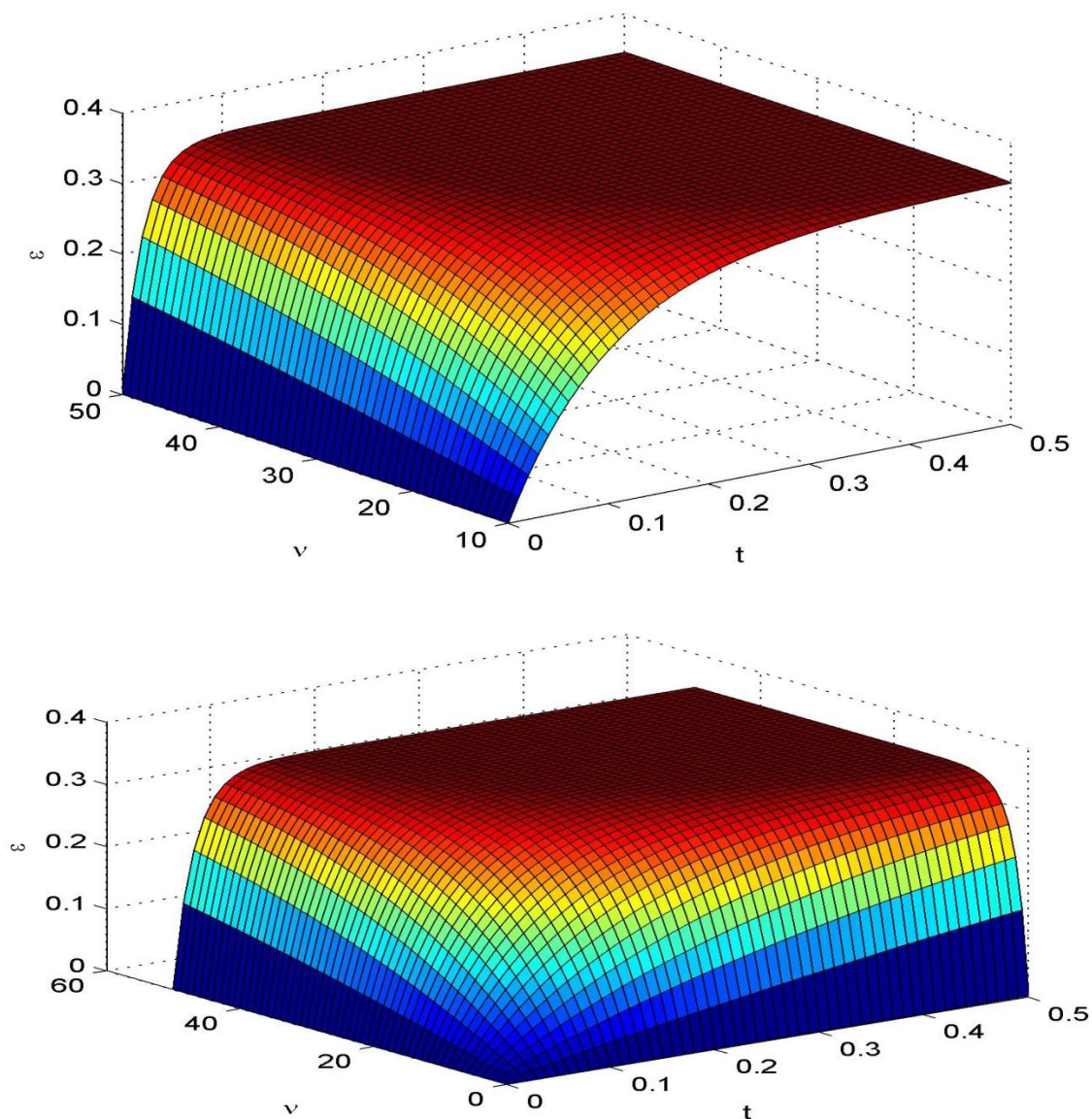


Рис. 2. Распределение влажностных деформаций
 Fig. 2. Distribution of moisture deformations

Вывод. Максимальное значение σ приобретает при полном увлажнении грунта, когда $W = W_{\max}, t = \infty$.

$$\text{При этом } \xi = -\frac{W_{\max}}{n_0 v} \text{ и } \sigma = \sigma_{\max} = \beta n_0 v (E - H) \left(e^{\frac{W_{\max}}{n_0 v}} - 1 \right) + \beta H W_{\max}.$$

Если интенсивность увлажнения очень мала, то, полагая $v \rightarrow 0$, получим $\sigma_{\max} = \beta H W_{\max}$.

При очень интенсивном увлажнении $v \rightarrow \infty$ и $\sigma_{\max} = \beta E W_{\max}$.

Очевидно, что, задаваясь соответствующей интенсивностью увлажнения v , можно получить максимальное напряжение, не превосходящее заданного допускаемого значения, большего, чем $\beta H W_{\max}$.

Библиографический список:

1. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K., Agakhanova R.E. Stress modelling in natural foundation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. «International Scientific and Practical Conference Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020». - 2020. - С. 012072.
2. Агаханов Э.К., Агаханов М.К., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В. Выбор оптимальной конструктивной модели высотного здания // Известия вузов. Строительство. 2022. № 11. С. 95-105. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-767-11-95-105.
3. Э. К. Агаханов, Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, М. К. Агаханов. Влияние способа моделирования свайного фундамента на напряженно-деформированное состояние каркаса здания сложной геометрической формы. - Системные технологии. - 2023. - № 1 (46). - С. 131-139.
4. Тер-Мартirosян З.Г., Нгуен Хуи Хиеп. Влияние степени водонасыщения глинистого грунта на его напряженно-деформированное состояние // Вестник МГСУ. 2012. № 8. С. 112-120.
5. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. пособ. / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышев. М.: АСВ, 2007. 566 с.
6. Андреев В.И., Аверсьев А.С. Стационарная задача влагуупругости для неоднородного толстостенного цилиндра // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 56-61.
7. Andreev V.I., Avershyev A.S. About Influence of Moisture on Stress State of Soil taking into account Inhomogeneity // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. Vol. 9. Iss. 3. pp. 14-20.
8. Андреев В.И., Аверсьев А.С. Влагуупругость неоднородного толстостенного полого шара при нестационарном влажностном режиме // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 1. С. 30-37.
9. Andreev V.I., Avershyev A.S. Two-dimensional Problem of Moisture Elasticity of Inhomogeneous Spherical Array with Cavity // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 580-583. pp. 812-815.
10. Агаханов Г.Э. О математическом моделировании физических воздействий в грунтах // Научное обозрение. 2014. № 12. С. 733-736.
11. Агаханов Г.Э. О математическом моделировании воздействия порового давления на грунт // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. № 1. С. 8-16.
12. Агаханов Э.К. О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. № 2. С. 39-45.
13. Агаханов Э.К., Агаханов М.К. О моделировании действия объемных сил в упругоползучем теле // Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2005. № 1. С. 25-26.
14. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. A complex approach to the solution of problems in mechanics of deformable rigid bodies // E3S Web of Conferences. 2018 International on Business Technologies for Sustainable Urban Development. SPbWOSCE 2018. 2019. С. 01071.
15. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: учебник / Г.С. Варданян, В.И. Андреев, Н.М. Атаров, А.А. Горшков. М.: АСВ, 1995. 568 с.
16. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. 418 с.
17. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности, М., В.Ш., 1982.
18. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.-Л.: Гостехиздат, 1951. 660 с.
19. Сахарников Н.А. Высшая математика, ЛГУ, 1973.
20. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений, Наука, 1966.

References:

1. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K., Agakhanova R.E. Stress modelling in natural foundation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. «International Scientific and Practical Conference Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020». 2020; 012072.
2. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. The choice of the optimal constructive model of a high-rise building. *Izvestiya vuzov. Construction*. 2022; 11:95-105. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-767-11-95-105. (In Russ)
3. E. K. Agakhanov, G. M. Kravchenko, E. V. Trufanova, and M. K. Agakhanov. The influence of the method of modeling a pile foundation on the stress-strain state of the frame of a complex geometric building. - *System technologies*. 2023; 1 (46): 131-139. (In Russ)
4. Ter-Martirosyan Z.G., Nguyen Huy Hiep. Influence of the degree of water saturation of clay soil on its stress-strain state. *Vestnik MGSU*. 2012; 8:112-120. (In Russ)
5. Soil mechanics, bases and foundations: textbook. Allowance. S.B. Ukhov, V.V. Semenov, V.V. Znamensky, Z.G. Ter-Martirosyan, S.N. Chernyshev. M.: ASV, 2007; 566. (In Russ)
6. Andreev V.I., Avershiev A.S. Stationary problem of moisture elasticity for an inhomogeneous thick-walled cylinder. *Vestnik MGSU*. 2012; 10:56-61. (In Russ)
7. Andreev V.I., Avershyev A.S. About Influence of Moisture on Stress State of Soil taking into account Inhomogeneity. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2013; 9(3):14-20.
8. Andreev V.I., Avershiev A.S. Moisture elasticity of an inhomogeneous thick-walled hollow ball under non-stationary humidity conditions. *Structural mechanics of engineering structures and structures*. 2014; 1:30-37. (In Russ)
9. Andreev V.I., Avershyev A.S. Two-dimensional Problem of Moisture Elasticity of Inhomogeneous Spherical Array with Cavity. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 580-583: 812-815.
10. Agakhanov G.E. On mathematical modeling of physical impacts in soils. *Scientific Review*. 2014; 12: 733-736. (In Russ)
11. Agakhanov G.E. On mathematical modeling of the impact of pore pressure on soil. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2015; 1: 8-16. (In Russ)
12. Agakhanov E.K. On the development of complex methods for solving problems of the mechanics of a deformable solid body *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2013; 2:39-45. (In Russ)
13. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. On modeling the action of body forces in an elastic creeping body. *Izvestiya Vuzov. North Caucasian region. Technical science*. 2005; 1: 25-26. (In Russ)
14. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. A complex approach to the solution of problems in mechanics of deformable rigid bodies. *E3S Web of Conferences*. 2018 International on Business Technologies for Sustainable Urban Development. SPbWOSCE 2018. 2019; 01071.
15. Resistance of materials with the basics of the theory of elasticity and plasticity: textbook / G.S. Vardanyan, V.I. Andreev, N.M. Atarov, A.A. Gorshkov. M.: ASV, 1995; 568. (In Russ)
16. Rzhantsyn A.R. Creep theory. M.: Stroyizdat, 1968; 418. (In Russ)
17. Samul V.I. Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity, M., V.Sh., 1982. (In Russ)
18. Tikhonov A.N., Samarskii A.A. Equations of mathematical physics. M.-L.: Gostekhizdat, 1951; 660. (In Russ)
19. Sakharikov N.A. Higher Mathematics, Leningrad State University, 1973. (In Russ)
20. Stepanov V.V. Course of differential equations, Nauka, 1966. (In Russ)

Сведения об авторах:

Агаханов Элифхан Керимханович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортные сооружения и строительные материалы», Elifhan@bk.ru

Агаханов Селимхан Агаханович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информатика и вычислительная техника», Elifhan@bk.ru

Агаханов Гаджи Элифханович, кандидат технических наук, gadzhi92@bk.ru

Information about authors:

Elifkhan K. Agakhanov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Transport Facilities and Building Materials, Elifhan@bk.ru

Selimkhan A. Agakhanov, Cand. Sci. (Physical and Mathematical), Assoc. Prof., Department of Informatics and Computer Engineering, Elifhan@bk.ru

Gadzhi E. Agakhanov, Cand. Sci. (Eng.), gadzhi92@bk.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 13.04.2023.

Одобрена после рецензирования Revised 16.05.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 16.05.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.044

DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-169-176

Оригинальная статья /Original Paper

Колебание балки с сосредоточенными массами на упруго-демпфирующих опорах

А.М. Казиев, И. И Кишит, А. М. Жинов, К.М. Карчаев, А.А. Бербеков

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является изучение работы многопролётных балок с точечными массами при одновременном действии векторных кинематических и силовых нагрузок с учётом влияния упругодемпфирующих опор. **Метод.** Исследование основано на решении краевой задачи и моделировании. **Результат.** Исследованы свободные поперечные колебания многопролётных балок постоянного сечения (в пределах каждого j -го пролёта A_j и G_j) с учётом упругодемпфирующих дискретных опор. Рассмотрены свободные и вынужденные гармонические колебания балки от векторных кинематических и силовых возмущений. Приведены примеры решения для различных условий закреплений трёхпролётной балки при разных точечных массах. **Вывод.** Авторскую разработку можно адаптировать к колебаниям континуально-дискретных стержней. Представленный алгоритм позволяет определять собственные частоты и формы свободных колебаний, а также рассчитывать многопролётные стержни на одновременное действие векторных кинематических и динамических нагрузок.

Ключевые слова: балка, вязкое трение, упругая опора, частота, амплитуда, комплексные функции, собственные формы, динамические и кинематические векторные возмущения

Для цитирования: А.М. Казиев, И. И Кишит, А. М. Жинов, К.М. Карчаев, А.А. Бербеков. Колебание балки с сосредоточенными массами на упруго-демпфирующих опорах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):169-176. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-169-176

Vibration of a Beam with Concentrated Masses on Elastically Damping Supports

A.M. Kaziev, I.I. Kishit, A.M. Zhinov, K.M. Karchaev, A.A. Berbekov

H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,
173 Chernyshevsky St., Nalchik 360004, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to study the operation of multi-span beams with point masses under the simultaneous action of vector kinematic and force loads. Taking into account the influence of elastic-damping supports. **Method.** The study is based on the solution of the boundary value problem and modeling. **Result.** Free transverse vibrations of multi-span beams of constant cross-section (within each j -th span A_j and G_j) are investigated taking into account elastic-damping discrete supports. Free and forced harmonic vibrations of the beam from vector kinematic and force perturbations are considered. Examples of solutions for various conditions of fixing a three-span beam at different point masses are given. **Conclusion.** The author's development can be adapted to the fluctuations of the continuo-discrete rods. This algorithm allows you to determine the natural frequencies and forms of free oscillations. It is also possible to calculate multi-span rods for the simultaneous action of vector kinematic and dynamic loads.

Keywords: beam, viscous friction, elastic support, frequency, amplitude, complex functions, eigenforms, dynamic and kinematic vector perturbations

For citation: A.M. Kaziev, I. I. Kishit, A. M. Zhinov, K. M. Karchaev, A.A. Berbekov. Vibration of a Beam with Concentrated Masses on Elastically Damping Supports. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2): 169-176. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-169-176

Введение. Расчётная схема рассматриваемой балки (рис. 1), состоит из n пролётов. На каждом участке имеются размеры l_j площадью сечения A_j , жёсткостью на изгиб G_i .

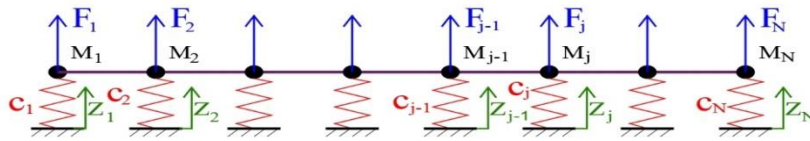


Рис. 1. Расчётная балки с точечными массами и упругодемпфирующим перемещающимися опорами

Fig.1. Analysis beams with point masses and resiliently damping moving supports

В узлах балки расположены точечные массы M_j . Балка поддерживается упруго-демпфирующими опорами с коэффициентами жёсткости c_j и коэффициентами демпфирования v_j . Колебания вызываются сосредоточенными силами F_j и смещениями опор z_j ($j = 1, 2, \dots, N$; $N = n + 1$). Имеем смешанную непрерывно – дискретную систему. Поперечные колебания состоят из двух систем дифференциальных уравнений. Одна система для непрерывных участков в виде однородных дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа, которая в векторной форме имеет вид

$$G \circ u^{IV} + m \circ \ddot{u} + \eta m \circ \dot{u} = 0. \quad (1)$$

Вторая система представляет собой обыкновенные дифференциальные уравнения для сосредоточенных точечных масс

$$M \circ \ddot{v} + v \circ \dot{v} + c \circ (v - z) + f = F. \quad (2)$$

Здесь $u(x, t)$ – вектор–функция векторного аргумента, соответствующая смещениям балки; $v(t)$ – вектор–функция скалярного аргумента отклонения сосредоточенных масс; $x_j \in [0, l_j]$, t – время; m – вектор погонных масс пролётов балки, $m_j = \rho_j A_j$, ρ – плотность, η – коэффициент вязкого трения; $z(t)$ – вектор–функция, задающая кинематические перемещения опор; 0 – нуль – вектор; (принято обозначение $a \circ b = c$, где $c_i = a_i b_i$). $f(t)$ – вектор суммы поперечных сил балки слева и справа от сосредоточенных масс

$$f_1(t) = G_1 u_1'''(0, t), \quad f_j(t) = G_j u_j'''(0, t) - G_{j-1} u_{j-1}'''(l_{j-1}, t), \quad j = 2, 3, \dots, n;$$

$$f_N(t) = -G_n u_n'''(l_n, t).$$

Постановка задачи. Для свободных колебаний необходимо определить спектр собственных частот, коэффициенты демпфирования и соответствующие им собственные формы. В таком случае $z(t) \equiv 0$, $F(t) \equiv 0$.

Уравнение (1) колебаний для произвольного j – го пролёта балки, разделим на G_j и запишем

$$u_j^{IV} + \alpha_j \ddot{u}_j + \beta_j \dot{u}_j = 0, \quad \alpha_j = m_j/G_j, \quad \beta_j = \eta m_j/G_j \quad (3)$$

К уравнениям (2) присоединяются граничные условия согласно расчётной схеме. Левый конец балки шарнирно оперт, поэтому изгибающий момент равен нулю т. е.

$$G_1 u_1''(0, t) = 0, \Rightarrow u_1''(0, t) = 0. \quad (4)$$

Колебания массы M_1 описываются первым уравнением системы (2) с учётом что $v_1(t) = u_1(0, t)$

$$M_1 \ddot{u}_1(0, t) + v_1 \dot{u}_1(0, t) + c_1 u_1(0, t) + G_1 u_1'''(0, t) = 0. \quad (5)$$

На стыках участков должны выполняться следующие условия сопряжения:

- перемещения, углы поворота и изгибающие моменты слева и справа от сосредоточенной массы равны между собой

$$u_{j-1}(l_{j-1}, t) = u_j(0, t), \quad u'_{j-1}(l_{j-1}, t) = u'_j(0, t), \quad G_{j-1} u''_{j-1}(l_{j-1}, t) = G_j u''_j(0, t); \quad (6)$$

- колебания сосредоточенных масс m_j описываются уравнениями системы (2) $u_j = u_j(0, t)$ $M_j \ddot{u}_j(0, t) + v_j \dot{u}_j(0, t) + c_j u_j(0, t) + G_j u_j'''(0, t) - G_{j-1} u_{j-1}'''(l_{j-1}, t) = 0, \quad j = 2, 3, \dots, n.$ (7)

На правом конце балки должны выполняться граничные условия, аналогичные (4), (5)

$$u_n''(l_n, t) = 0, \quad M_N \ddot{u}_n(0, t) + \nu_N u_n'(l_n, t) + c_N u_n(l_n, t) - G_N u_n'''(l_n, t) = 0. \quad (8)$$

Методы исследования. Решение задачи (3) - (8) отыскивается с помощью метода разделения переменных

$$u_j(x_j, t) = X_j(x_j) e^{\lambda t}, \quad (9)$$

$$\lambda = -\varepsilon + i\omega \quad (10)$$

- характеристический показатель, ε и ω – коэффициент затухания и частота свободных колебаний.

Подстановка (9) в (3) - (8) даёт

$$X_j^{IV} - \gamma_j^4 X_j = 0, \quad \gamma_j^4 = -\alpha_j \lambda^2 - \beta_j \lambda. \quad (11)$$

$$\begin{aligned} X_1''(0) = 0, (\lambda^2 M_1 + \lambda \nu_1 + c_1) X_1(0) + G_1 X_1'''(0) = 0, \quad X_{j-1}(l_{j-1}) = X_j(0), \quad X_{j-1}'(l_{j-1}) = X_j'(0), \\ G_{j-1} X_{j-1}''(l_{j-1}) = G_j X_j''(0), (\lambda^2 M_j + \lambda \nu_j + c_j) X_j(0) + G_j X_j'''(0) - G_{j+1} X_{j+1}''(l_{j+1}) = 0, \quad j = 2, 3, \dots, n, \\ X_n''(l_n) = 0, \quad (\lambda^2 M_N + \lambda \nu_N + c_N) X_n(l_n) - G_N X_n'''(l_n) = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Общее решение уравнения (11) имеет вид

$$X_j(x_j) = D_{j1} \sin \gamma_j x_j + D_{j2} \cos \gamma_j x_j + D_{j3} \operatorname{sh} \gamma_j x_j + D_{j4} \operatorname{ch} \gamma_j x_j, \quad (13)$$

где D_{ji} - произвольные постоянные интегрирования, j – номер пролёта.

Дифференцирование даёт

$$X_j'(x_j) = \gamma_j (D_{j1} \cos \gamma_j x_j - D_{j2} \sin \gamma_j x_j + D_{j3} \operatorname{ch} \gamma_j x_j + D_{j4} \operatorname{sh} \gamma_j x_j), \quad (14)$$

$$X_j''(x_j) = \gamma_j^2 (-D_{j1} \sin \gamma_j x_j - D_{j2} \cos \gamma_j x_j + D_{j3} \operatorname{sh} \gamma_j x_j + D_{j4} \operatorname{ch} \gamma_j x_j), \quad (15)$$

$$X_j'''(x_j) = \gamma_j^3 (-D_{j1} \cos \gamma_j x_j + D_{j2} \sin \gamma_j x_j + D_{j3} \operatorname{ch} \gamma_j x_j + D_{j4} \operatorname{sh} \gamma_j x_j). \quad (16)$$

Введём обозначения

$p_j = \sin \gamma_j l_j$	$q_j = \cos \gamma_j l_j$	$r_j = \operatorname{sh} \gamma_j l_j$	$s_j = \operatorname{ch} \gamma_j l_j$
$e_j = \lambda^2 M_j + \lambda \nu_j + c_j$	$a_j = G_j \gamma_j^3$	$\mu_j = \gamma_j / \gamma_{j+1}$	$g_j = G_j \gamma_j^2 / G_{j+1} \gamma_{j+1}^2$
$h_1 = c_k p_n + a_n q_n$	$h_2 = c_k q_n - a_n p_n$	$h_3 = c_k r_n - a_n s_n$	$h_4 = c_k s_n - a_n r_n$

подставим (13)-(16) в (12) и получим систему уравнений

$$Q(\lambda) \mathbf{d} = \mathbf{0} \quad (17)$$

относительно вектора постоянных интегрирования $\mathbf{d} = \{D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{21}, D_{22}, \dots, D_{n,n-1}, D_{nn}\}$, компонентами которого являются искомые коэффициенты, $Q(\lambda)$ - квадратная матрица порядка $4n$

$$Q = \begin{pmatrix} -1 & 1 & & & & & & & & \\ -a_1 & e_1 & a_1 & e_1 & & & & & & \\ p_1 & q_1 & r_1 & s_1 & & & & & & \\ \mu_1 q_1 & -\mu_1 p_1 & \mu_1 s_1 & \mu_1 r_1 & -1 & & -1 & & & \\ -g_1 p_1 & -g_1 q_1 & g_1 r_1 & g_1 s_1 & & 1 & & -1 & & \\ a_1 q_1 & -a_1 p_1 & -a_1 s_1 & -a_1 r_1 & -a_2 & e_2 & a_2 & e_2 & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ & & & & & & & & -p_n & -q_n & r_n & s_n \\ & & & & & & & & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \end{pmatrix}.$$

Строки 3-6 соответствуют условиям сопряжения 1-го и 2-го участков и являются повторяющимися как блок подматрицы. Элементы матрицы Q являются функциями характеристического показателя λ и через него - коэффициента затухания колебаний ε и частоты ω . Условие существования решения системы уравнений (2.15) даёт уравнение

$$\det Q(\lambda) = 0, \quad (18)$$

из которого определяется спектр собственных значений $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots\}$.

Уравнение (18) является трансцендентным и представляет комплексную функцию

$$f_1(\varepsilon, \omega) + i f_2(\varepsilon, \omega) = 0.$$

Поэтому коэффициент затухания ε и частота свободных колебаний ω должны определяться из системы двух нелинейных трансцендентных уравнений

$$f_1(\varepsilon, \omega) = 0, \quad f_2(\varepsilon, \omega) = 0. \quad (19)$$

Далее задача состоит в определении собственных форм каждого участка балки, имеющих вид (13). Следовательно, необходимо ставить вопрос о вычислении постоянных D_{jk} , т. е. об отыскании собственного вектора \mathbf{d} .

Составим алгоритм счёта, последовательно определяющий D_{jk} . Он состоит в следующем. Положим, что $D_{11} = 1$, исключим из системы уравнений (17) последнее. Порядок системы уравнений становится равным $4n-1$, что соответствует количеству оставшихся неизвестных. Запишем получившуюся систему уравнений в виде

$$\Gamma \Delta = \mathbf{b}, \quad (20)$$

где Γ - квадратная матрица, получающаяся из \mathbf{Q} путём вычёркивания первого столбца и последней строки, $\Delta = \{D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{21}, D_{22}, \dots, D_{n,n-1}, D_{nn}\}$ - вектор, остающийся от \mathbf{d} после исключения D_{11} , $\mathbf{b} = \{0, f_1, -p_1, -\mu_1 q_1, g_1 p_1, -f_1 q_1, \dots, 0, 0\}$ - вектор-столбец. Решение системы (20) даётся формулой

$$\Delta = \Gamma^{-1} \mathbf{b}, \quad (21)$$

$X_j(x_j)$, найденные по (13), являются комплексными функциями. Действительные собственные формы имеют вид

$$\varphi_j^r(x_j) = \text{real}[X_j^r(x_j)], \quad r = 1, 2, \dots, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

r – номер собственной формы, j – номер пролёта.

Обсуждение результатов. Рассмотрим свободные колебания балки с тремя участками при следующих входных данных

$$A = 165 \text{ мм}^2; \rho = 7850 \text{ кг/м}^3, \quad \varepsilon = 0.5 \text{ с}^{-1}, \quad m_1 = m_4 = 0, \quad c_1 = c_4 = \infty.$$

В табл.1 представлены первые три частоты и коэффициента затухания свободных колебаний при вариации параметров m_j, v_j, c_j , в первой строке $\varepsilon = 0$, в последней строке (№ 8) $l_1 = 1 \text{ м}, l_2 = 1,2 \text{ м}, l_3 = 1,4 \text{ м}$.

Таблица 1. Частоты и коэффициента затухания свободных колебаний при вариации параметров

Table 1. Frequencies and damping coefficients of free vibrations with varying parameters

№ №	m_2 кг	c_2 Н/м	v_2 кг/с	m_3 кг	c_3 Н/м	v_3 кг/с	ω_1 с ⁻¹	μ_1 с ⁻¹	ω_2 с ⁻¹	μ_2 с ⁻¹	ω_3 с ⁻¹	μ_3 с ⁻¹
1	0	0	0	0	0	0	52,36	0	104,7	0	157,1	0
2	0	0	0	0	0	0	52,12	2,50	104,6	2,50	157,0	2,50
3	0	0	0	0	0	0	50,04	2,20	100,4	2,40	150,7	2,40
4	4	0	0	0	0	0	38,53	2,63	85,3	2,03	150,7	2,40
5	4	500	0	0	0	0	48,21	2,96	87,4	1,90	150,7	2,40
6	4	1000	5	0	0	0	47,44	10,84	86,6	3,94	150,7	2,40
7	4	1000	5	7	500	5	40,74	8,35	66,7	5,82	150,7	2,40
8	4	1000	5	7	500	5	36,32	7,53	61,7	12,02	140,8	5,36

В первой строке специально подобраны данные для контроля как классическую схему однопролётной балки: сосредоточенные массы отсутствуют, коэффициенты трения равны нулю. Также для апробации предлагаемых алгоритмов и численного метода решения системы трансцендентных уравнений. Результаты, полученные численными и аналитическими методами, совпали с хорошей точностью. Анализируя, обнаруживаем следующее. Вторая строка соответствует той же балке, но уже при наличии трения с указанным коэффициентом ε . Ввиду его малости собственные частоты изменились незначительно, но

коэффициенты затухания системы приняли значения, предсказуемые по рис.2. Третья частота и коэффициент затухания в первых четырёх строках остаются постоянными опор и демпферов в неподвижных точках балки не сказывается на величине μ_3 . Данные четвёртой строки подтверждают ожидаемый факт уменьшения первых двух собственных частот при появлении сосредоточенной массы m_2 и соответствующего демпфера. Добавление опоры с коэффициентом c_2 (строка 5) увеличивает жёсткость нашего механизма и, следовательно, повышает собственные частоты ω_1 и ω_2 . Введение же демпфера с коэффициентом v_2 (строка 6) имеет обратный эффект. Появление второй массы с трением влечёт падение этих частот (строка 7). Строка 8 таблицы и найденные по (15) три собственные формы, представленные на рис. 2, соответствуют балке с уже наиболее общими данными. График первой собственной формы 1 близок к прямой линии. Это говорит о том, что основную роль играют колебания сосредоточенных масс по характерным собственным формам дискретных систем с двумя степенями свободы. В роль континуальных является преобладающей в собственных формах обертонов (кривые 2, 3). Из характера кривой 2 вытекает, что колебания по второй собственной частоте происходят по соответствующим вторым собственным формам колебаний дискретных систем (сосредоточенные массы) и систем с распределёнными параметрами (балка).

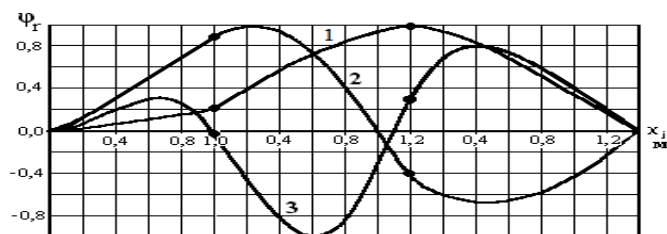


Рис.2. Первые три собственные формы колебаний

Fig.2. The first three eigenmodes

При колебаниях механизма по третьему тону (рис. 3) сосредоточенные массы перемещаются почти синфазно (по второй собственной форме для них), балка же колеблется по формам, подверженным влиянию собственных обертонов третьего порядка. Опоры балок совершают перемещения в поперечном направлении, что служит источником вынужденных колебаний. Пусть возмущения $z(t)$, возникающие по этим причинам, будут гармоническими с одинаковыми частотами Ω , но при этом с разными амплитудами a_k и начальными фазами α_k

$$z_k(t) = a_k e^{i(\Omega t + \alpha_k)} = A_k e^{i\Omega t}, \quad A_k = a_k e^{i\alpha_k}. \quad (22)$$

Здесь A_k – комплекснозначные амплитуды, образующие вектор A . В таком случае результирующие колебания, совершаемые балкой и дискретными массами, будут гармоническими колебаниями той же частоты. В установившемся режиме пределим функции перемещений и амплитуд колебаний. Тогда начальные условия к системе уравнений (1), (2) не требуются. Краевые условия (3) к уравнениям (1) остаются прежними. Задача (1), (2), (22), имеет общее решение

$$u(x, t) = H(x) A e^{i\Omega t}, \quad x \in (0, l), \quad t > -\infty, \quad (23)$$

$$y(t) = W A e^{i\Omega t}, \quad t > -\infty, \quad (24)$$

где $H(x)$, W – матрицы передаточных функций, элементы которых суть реакции пролётов балки и дискретных масс на единичные гармонические возмущения опор; например, $H^k(x_j)$ является амплитудой колебаний j – го пролёта балки при автономном гармоническом единичном возмущении $\xi_k(t) = e^{i\Omega t}$ k – той опоры, аналогично W_{jk} – амплитуда колебаний j – ой сосредоточенной массы. В развёрнутой форме (23) и (24) имеют

$$\text{вид } u^j(x_j, t) = e^{i\Omega t} \sum_{k=1}^N H^{jk}(x_j) A_k, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad y^j(t) = e^{i\Omega t} \sum_{k=1}^N W_{jk} A_k, \quad j = 1, 2, \dots, N.$$

Выполним простейшие операции упорядочения системы уравнений, объединим системы уравнений, полученные аналогично при возмущениях остальных опор, и запишем матричное уравнение

$$\mathbf{G} \mathbf{E} = \mathbf{F}. \quad (25)$$

Здесь \mathbf{G} - квадратная матрица порядка $4n \times 4n$

\mathbf{E}, \mathbf{F} – прямоугольные матрицы размерности $4n \times N$.

Здесь нулевые элементы матриц не выписаны, k – ый столбец матрицы \mathbf{E} соответствует постоянным интегрирования пролётов при возмущении k – той опоры; в частности B_{jk}, D_{jk} – постоянные интегрирования для j – того пролёта при возмущении k – той опоры. Решение матричной системы (25) имеет вид

$$\mathbf{E} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{F}.$$

Далее легко формируется матрица $\mathbf{H}(x)$; например,

$$H_{jk}^{ik}(x_j) = B_{jk} e^{\lambda_2 x_j} + D_{jk} e^{\lambda_2 x_j} \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (26)$$

Теперь можно найти вектор амплитуд колебаний с помощью (23)

$$\mathbf{a}_u(\mathbf{x}) = |\mathbf{H}(\mathbf{x}) \mathbf{A}|. \quad (27)$$

Для балки с параметрами, приведёнными в строке 8 табл. п. 3, при кинематических возмущениях $a_1 = a_4 = 0, a_2 = a_3 = 10$ мм и сдвигах фаз $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$ выполнены расчёты, представленные графиками рис. 3. Кривые соответствуют возрастающим значениям частоты возмущений $\Omega = 20 \text{ с}^{-1}$ (кривая 1); 30 с^{-1} (2); $36,32 \text{ с}^{-1}$ (3); 45 с^{-1} (4); $61,7 \text{ с}^{-1}$ (5); 115 с^{-1} (6); $140,8 \text{ с}^{-1}$ (7). Графики на рис. 3. показывают следующее. Сначала при сравнительно небольших частотах возмущений колебания происходят по первой форме свободных колебаний (см. кривые 2 – 3 и кривую 1 рис. 3).

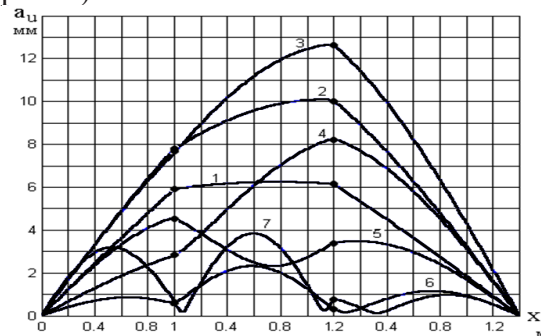


Рис. 3. Амплитуды вынужденных колебаний
 Fig.3. Amplitudes of forced vibrations

Наибольшие отклонения соответствуют массе m_3 , так как она больше m_2 и поддерживается пружиной с меньшей жёсткостью, а значит, более слабо сопротивляющейся перемещениям дискретной массы. При приближении Ω к первой собственной частоте амплитуды увеличиваются (кривая 2) и достигают наибольших значений при равенстве $\Omega = \omega_1 = 36,32 \text{ с}^{-1}$ (кривая 3), т. е. при резонансных колебаниях. С дальнейшим ростом частоты возмущений амплитуды падают (кривая 4), форма их распределения по длине балки постепенно меняется и при $\Omega = \omega_2 = 61,7 \text{ с}^{-1}$ (близко ко второй собственной частоте) приобретает очертания (кривая 5), подверженные влиянию второй собственной формы (см. кривую 2 рис. 3).

Эти колебания не носят выраженного резонансного характера по двум причинам. Во-первых, наличие демпфирования опор создаёт для высокочастотных колебаний серьёзные помехи; во-вторых, синфазные возмущения второй и третьей опор плохо согласуются с их возможными перемещениями, находящимися в антифазе при свободных колебаниях.

Интересно при этом заметить, что амплитуды колебаний второй массы, в противоположность предыдущим случаям, больше амплитуд колебаний третьей массы. Причина в том, что отклонения второй массы при свободных колебаниях существенно превышают отклонения третьей массы (кривая 2 рис. 3). Частота возмущений, дающая кривую 6, находится между второй и третьей собственными частотами. Поэтому уже заметно влияние

третьей собственной формы (см. кривую 3 рис. 3). Далее при равенстве $\Omega = \omega_3 = 140,7 \text{ с}^{-1}$ наблюдается слабо выраженный резонанс по отчётливо просматриваемому распределению амплитуд колебаний, сходному с третьей собственной формой.

Вывод. Анализ кривых показывает, что при низких частотах возмущений (кривые 1 - 4) учёт континуальности участков балки сказывается слабо. Балка является почти кусочно-прямой линией, натянутой между массами, и в целом конструкция ведёт себя как дискретная система. При более высоких же значениях частот (кривые 5 – 7) отклонения дискретных масс незначительны, главную роль играют колебания континуальных участков балок между ними.

Библиографический список:

1. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. – М.: Высшая школа. 1979. – 416 с.
2. Джанкулаев А.Я., Казиев А.М. Вынужденные колебания стержней при комбинированных возмущениях // Избранные труды научного семинара «Механика». Вып. 1. Нальчик: Каб.-Балк. гос. сель. акад., 2002. С.195-199.
3. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Наука, 1968. 560 с.
4. Казиев А. М. Колебания однородных и континуально-дискретных балок при векторных гармонических и случайных возмущениях: Дис. канд. техн. наук: 05.23.17 Нальчик, 2005 130 с. РГБ ОД, 61:05-5/3003.
5. Культербаев Х.П. Кинематически возбуждаемые колебания континуально-дискретной многопролётной балки // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. Труды X Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. 2011. No4, часть 2. С. 198-200.
6. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
7. Вержбицкий В.М. Основы численных методов. М.: Высшая школа, 2002. 840 с.
8. Клаф З., Пензиен Дж. Динамика сооружений. М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.
9. I.V. Kudinov, V.A. Kudinov. Mathematical simulation of the locally nonequilibrium heat transfer in a body with account for its nonlocality in space and time. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2015; 88(2): 406-422.
10. Amabili, M., Nonlinear Vibrations and Stability of Shells and Plates. Cambridge University Press, New York, USA. (2008)
11. Refined beam elements with arbitrary cross-section geometries / E. Carrera, G. Giunta, P. Nali [and others] // Computers and Structures. 2010. V. 88, No 5-6. pp. 283-293.
12. Elishakoff I. Eigenvalues of Inhomogeneous Structures: Unusual Closed-form Solutions. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.
13. Hsu J.C., Lai H.Y., Chen C.K. Free vibration of non-uniform Euler-Bernoulli beams with general elastically end constraints using Adomian modified decomposition method. Journal of Sound and Vibration. 2008; 318: 965-981.
14. Free vibration behavior of exponential functionally graded beams with varying cross-section / A.A Haasen, T. Abdelouahed, A.M. Sid [and others.] Journal of Vibration and Control. 2011. V. 17, No 2. pp. 311-318.
15. Maurini C., Pofiri M., Pouget J. Numerical methods for modal analysis of stepped piezoelectric beams // Journal of Sound and Vibration. 2006. V. 298, No 4-5. pp. 918-933.
16. Zheng T. X., Ji T. J. Equivalent representations of beams with periodically variable crosssections // Engineering Structures. 2011. V. 33, No 3. pp. 706-719.
17. Tejada A. A Mode-Shape-Based Fault Detection Methodology for Cantilever Beams: Tech. Rep.: CR-2009-215721: NASA, 2009.
18. Alshorbagy A. E., Eltaher M. A., Mahmoud F. F. Free vibration characteristics of a functionally graded beam by finite element method // Applied Mathematical Modelling. 2011. V. 35, No 1. pp. 412-425.
19. Huang Y., Li X. F. A new approach for free vibration of axially functionally graded beams with non-uniform cross-section // Journal of Sound and Vibration. 2010. V. 329, No 11. pp. 2291-2303.
20. Mohanty S.C., Dash R.R., Rout T. Free vibration of a functionally graded rotating Timoshenko beam using FEM // International Journal of Advanced Structural Engineering. 2013. V. 16, No 2. pp. 405-418.
21. Ke L.L., Yang J., Kitipornchai S. An analytical study on the nonlinear vibration of functionally graded beams // Meccanica. 2010. V. 45, No 6. pp. 743-752.
22. Simsek M., Cansiz S. Dynamics of elastically connected double functionally graded beam systems with different boundary conditions under action of a moving harmonic load. Composite Structures. 2012; 94(9): 2861-2878.

References:

1. Biderman V.L. Applied theory of mechanical oscillations. M.: Higher school. 1979; 416. (In Russ)
2. Dzhankulaev A. Ya., Kaziev A.M. Forced vibrations of rods under combined perturbations. Selected works of the scientific seminar "Mechanics". Nalchik: Kab.-Balk. State village acad., 2002;(1):195-199.
3. Babakov I.M. Theory of vibrations. M.: Nauka. 1968; 560. (In Russ)

4. Kaziev A. M., Oscillations of Homogeneous and Continuum-Discrete Beams under Vector Harmonic and Random Perturbations, Cand. cand. tech. Sciences: 05.23.17 Nalchik, 2005; 130. RSL OD, 61:05-5/3003. (In Russ)
5. Kulterbaev Kh.P. Kinematically excited vibrations of a continuous-discrete multi-span beam. *Bulletin of the Nizhny Novgorod University. N.I. Lobachevsky. Proceedings of the X All-Russian Congress on Fundamental Problems of Theoretical and Applied Mechanics*. 2011; 4 (2): 198-200. (In Russ)
6. Timoshenko S.P. Fluctuations in engineering. M.: Nauka. 1967; 444. (In Russ)
7. Verzhbitsky V.M. Fundamentals of numerical methods. M.: Higher school; 2002; 840. (In Russ)
8. Clough Z., Penzien J. Dynamics of structures. M.: Stroyizdat. 1979; 320. (In Russ)
9. I.V. Kudinov, V.A. Kudinov. Mathematical simulation of the locally nonequilibrium heat transfer in a body with account for its nonlocality in space and time. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2015; 88(2):406-422.
10. Amabili M. Nonlinear Vibrations and Stability of Shells and Plates. Cambridge University Press, New York, USA. 2008.
11. Refined beam elements with arbitrary cross-section geometries. E. Carrera, G. Giunta, P. Nali [and others]. *Computers and Structures*. 2010;88(5-6): 283-293.
12. Elishakoff I. Eigenvalues of Inhomogeneous Structures: Unusual Closed-form Solutions. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.
13. Hsu J.C., Lai H.Y., Chen C.K. Free vibration of non-uniform Euler Bernoulli beams with general elastically end constraints using Adomian modified decomposition method. *Journal of Sound and Vibration*. 2008;318: 965-981.
14. Free vibration behavior of exponentially functionally graded beams with varying cross-section. A.A Haasen, T. Abdelouahed, A.M. Sid [and others.] *Journal of Vibration and Control*. 2011;17(2):311-318.
15. Maurini C., Pofiri M., Pouget J. Numerical methods for modal analysis of stepped piezoelectric beams. *Journal of Sound and Vibration*. 2006; 298(4-5): 918-933.
16. Zheng T. X., Ji T. J. Equivalent representations of beams with periodically variable crosssections. *Engineering Structures*. 2011; 33(3): 706-719.
17. Tejada A. A Mode-Shape-Based Fault Detection Methodology for Cantilever Beams: Tech. Rep.: CR-2009-215721: NASA, 2009.
18. Alshorbagy A. E., Eltaher M. A., Mahmoud F. F. Free vibration characteristics of a functionally graded beam by finite element method. *Applied Mathematical Modelling*. 2011; 35(1): 412-425.
19. Huang Y., Li X. F. A new approach for free vibration of axially functionally graded beams with non-uniform cross-section. *Journal of Sound and Vibration*. 2010; 329(11): 2291-2303.
20. Mohanty S.C., Dash R.R., Rout T. Free vibration of a functionally graded rotating Timoshenko beam using FEM. *International Journal of Advanced Structural Engineering*. 2013;16(2): 405-418.
21. Ke L.L., Yang J., Kitipornchai S. An analytical study on the nonlinear vibration of functionally graded beams. *Meccanica*. 2010; 45(6): 743-752.
22. Simsek M., Cansiz S. Dynamics of elastically connected double functionally graded beam systems with different boundary conditions under action of a moving harmonic load. *Composite Structures*. 2012; 94(9):2861-2878.

Сведения об авторах:

Казиев Аслан Мугазович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и механики; 5.kaziev1969@mail.ru

Кишит Идар Ибрахим, аспирант; Edar.kasht@gmail.com

Жинов Астемир Мухамедович, магистрант; Zhinov.azretali@bk.ru

Карчаев Каншау Муратович, магистрант; kanshau.karchaev@mail.ru

Бербеков Астемир Ахмедович, магистрант; berbekov99@gmail.com

Information about the authors:

Aslan M. Kaziev, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Building Structures and Mechanics; kaziev1969@gmail.

Idar I. Kishit, Graduate Student; Edar.kasht@gmail.com

Astemir M. Zhinov, Master's Student; Zhinov.azretali@bk.ru

Kanshau M. Karchaev, Master's Student; kanshau.karchaev@mail.ru

Astemir A. Berbekov, Master's Student; berbekov99@gmail.com

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 11. 05.2022.

Одобрена после рецензирования / Reviced 29.05.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 29.05.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 536.621

DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-177-187

Оригинальная статья / Original Paper

**Методические аспекты оптимизации затрат энергопотребления малоэтажных
строений со встроенным воздушным тепловым насосом**

Е.И. Крупнов¹, И.А. Зайцева¹, С.А. Логинова², И.С. Зайцев³

¹Ивановский государственный политехнический университет,

¹153000, г. Иваново, Шереметевский просп., 21, Россия,

²Ярославский государственный технический университет,

²150023, г. Ярославль, Московский пр-кт, 88, Россия,

³Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина,

³153003 г. Иваново, Рабфаковская ул., 34, Россия

Резюме. Цель. Одним из перспективных путей решения проблемы рационального использования топливно-энергетических ресурсов является применение экологически чистых энергосберегающих воздушных тепловых насосов, основанных на использовании нетрадиционных источников энергии. Применение инновационных энергосберегающих технологий требует обоснованных методических рекомендаций по оценке их энергоэффективности. Целью исследования является разработка методики расчета потребляемой электрической и выработки тепловой энергии, а также сезонного показателя энергоэффективности эксплуатации воздушного теплового насоса. **Метод.** Методика в качестве исходных данных учитывает экспериментальные данные испытаний воздушного теплового насоса (ВТН) по теплопроизводительности в зависимости от изменения температуры источника низкопотенциальной теплоты и температурного режима теплоносителя. **Результат.** Разработанная методика последовательности расчета затрат на энергопотребление и энергосбережение при применении воздушного теплового насоса, начиная от определения потребностей в отоплении и охлаждении помещения до установки и настройки ВТН. Методика обусловлена существующими в нормативных документах недостатками методической базы для оптимизации энергозатрат и теплогенерации тепловыми насосами. **Вывод.** Методика может быть применена не только для расчета годовых эксплуатационных затрат применения теплового насоса и определения структуры потребления энергии (тепловой и электрической), но и для оптимизации энергетических параметров ВТН с оценкой энергетической эффективности разных вариантов их конфигураций. От правильного учета необходимой тепловой нагрузки малоэтажного строения и расхода электроэнергии для ее обеспечения зависит точность расчета эксплуатационных затрат, которые будут иметь место в отопительный период работы воздушного теплового насоса (ВТН).

Ключевые слова: методика, энергопотребление, энергоэффективность, ресурсосбережение, эксплуатационные затраты, воздушный тепловой насос

Для цитирования: Е.И. Крупнов, И.А. Зайцева, С.А. Логинова, И.С. Зайцев. Методические аспекты оптимизации затрат энергопотребления малоэтажных строений со встроенным воздушным тепловым насосом. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):177-187. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-177-187

**Methodological aspects of optimization of energy consumption costs of low-rise
buildings with a built-in air heat pump**

E.I. Krupnov, I.A. Zaitseva, S.A. Loginova, I.S. Zaitsev

¹Ivanovo State Polytechnic University,

¹153000, Ivanovo, Sheremetevsky avenue, 21, Russia,

²Yaroslavl State Technical University,

²88 Moskovsky Ave., Yaroslavl 150023, Russia

³ .I. Lenin Ivanovo State Power Engineering University,

³34 Rabfakovskaya St., Ivanovo 153003, Russia

Abstract. Objective. The rational use of fuel and energy resources is one of the urgent problems. One of the promising ways to solve this problem is the use of environmentally friendly energy-saving air source heat pumps based on the use of non-traditional energy sources. The use of such innovative energy-saving technologies requires not only modern architectural and planning, design and engineering solutions, but also sound methodological recommendations for assessing their energy efficiency and feasibility. The article presents a methodology for calculating the consumed electrical energy and heat generation, as well as the seasonal indicator of energy efficiency in the operation of an air source heat pump. **Method.** The technique takes into account, as input data, experimental data from tests of high-voltage heat pumps in terms of heat output depending on the change in the temperature of the source of low-grade heat and the temperature regime of the coolant. **Result.** The need to develop a methodology is due to the shortcomings in the regulatory documents of the methodological basis for optimizing energy costs and heat generation by heat pumps. The accuracy of calculating the operating costs that will occur during the heating period of the air source heat pump (AHP) depends on the correct accounting of the required heat load of a low-rise building and the consumption of electricity to ensure it. **Conclusion.** This technique can be applied not only to calculate the annual operating costs of using a heat pump and determine the structure of energy consumption (thermal and electrical), but also to optimize the energy parameters of HHP with an assessment of the energy efficiency of different options for their configurations.

Keywords: methodology, energy consumption, energy efficiency, resource saving, operating costs, air source heat pump

For citation: E.I. Krupnov, I.A. Zaitseva, S.A. Loginova, I.S. Zaitsev. Methodological aspects of optimization of energy consumption costs of low-rise buildings with a built-in air heat pump. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2): 177-187. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-177-187

Введение. В условиях увеличения объемов жилищного строительства в соответствии с перспективными планами Правительства РФ и Стратегией социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года в строительной отрасли основной акцент делается на малоэтажное (коттеджное) строительство и встроенные энергосберегающие экологически безопасные системы тепло-, водоснабжения.

Отрасли теплоснабжения и горячего водоснабжения являются крупнейшим энергопотребляющим сектором, на который приходится примерно треть всего энергопотребления. В соответствии с Федеральным законом №261-ФЗ от 29.11.2009 г. «Об энергосбережении и энергетической эффективности...», а также по результатам многочисленных исследований значительная часть энергопотребности может быть удовлетворена за счет нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

В настоящее время в связи с растущими ценами на энергоресурсы и необходимостью сокращения нагрузки на окружающую среду, вопрос оптимизации затрат на отопление и охлаждение малоэтажных строений становится все более актуальным. Для решения данной проблемы широко используются воздушные тепловые насосы, которые позволяют значительно снизить затраты на энергопотребление. Теплонасосные установки давно доказали свою эффективность благодаря тому, что передают потребителю в 3-5 раз больше энергии, чем потребляют сами на ее извлечение и перенос.

Однако сейчас наука развитых стран считает эту технологию недостаточно экологически чистой, поскольку тепловые насосы все-таки подключены к электросети, а электроэнергию обычно получают, используя традиционные источники (сжигая уголь и нефть).

Тем не менее, воздушный тепловой насос ВТН остается пока на сегодняшний день одной из энергосберегающих и экологически эффективных технологий получения из окружающего воздуха рассеянной тепловой энергии и преобразования ее в удобную для использования форму энергии, который может извлечь теплоту и при -30°C .

Одной из главных проблем развития теплоснабжения ТН в России является отсутствие нормативной документации для данных теплогенераторов [1, 2].

Документы, регулирующие использование тепловых насосов в России, начали появляться совсем недавно. До этого можно было сослаться только на СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» (СП 60.13330.2012), в котором тепловые насосы только упоминаются.

В настоящее время технико-экономическое обоснование эксплуатации ВТН для малоэтажного строительства основывается на двух основных источниках – сводах правил [3,4] и рекомендации по проектированию от заводов-изготовителей ВТН, которые сводятся к организации работ по проектированию и обслуживанию. Отдельные исследования по изучению термодинамических и теплофизических процессов создали математический аппарат [5], который позволяет оптимизировать конструкции ВТН и капитальные затраты на их установку.

Позже появился ГОСТ Р 54865–2011 «Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребления и эффективности системы производства тепла с тепловыми насосами. Настоящий ГОСТ непосредственно посвящен тепловым насосным системам. Представленная в нем методика позволяет рассчитать энергопотребление теплонасосной системы с учетом режимов ее работы, состава и характеристик основного и вспомогательного оборудования и др. Методика основана на использовании эксплуатационных параметров оборудования, указанных в технической документации, а также на характеристиках оборудования, полученных в результате испытаний по российским или европейским методикам.

Объединением «НОСТРОЙ» был разработан стандарт по монтажу, вводу в эксплуатацию и пусконаладке тепловых насосных систем - СТО НОСТРОЙ 149 «Устройство теплонасосных систем теплоснабжения зданий. Правила, контроль выполнения, требования к результатам работ». Настоящий стандарт разработан в развитие положений СП 60.13330.2012 (раздел 11), а также в целях конкретизации положений документа «Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии».

Постановка задачи. До сих пор отсутствует единая универсальная методическая база для оптимизации энергозатрат и теплогенерации тепловыми насосами. В этой связи целью данного исследования является разработка методики определения затрат энергопотребления малоэтажных строений со встроенным воздушным тепловым насосом и оценка экономической выгоды использования данной технологии.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение факторов, оказывающих влияние на выбор воздушных тепловых насосов с учетом преимуществ и недостатков их использования в малоэтажных строениях.
2. Измерение потребления электроэнергии на работу воздушного теплового насоса в течение определенного периода времени.
3. Оценка теплотерь здания с помощью специальных программ для расчета коэффициента теплопередачи.
4. Расчет затрат на отопление и охлаждение помещений с учетом параметров климатических условий, таких как температура воздуха, влажность.

Методы исследования. Выявление недостатков современной существующей нормативной документации позволяет сделать вывод о том, что для дальнейшего развития энергоэффективного теплоснабжения малоэтажных строений на основе применения ВТН в России необходимо усовершенствовать методическую базу для технико-экономического обоснования ресурсосбережения. Содержательно задача разработки методики сводится к следующему.

Использование воздушных тепловых насосов для малоэтажных строений имеет свои преимущества и недостатки (табл. 1).

Таблица 1. Преимущества и недостатки использования ВТН в малоэтажных строениях
Table 1. Advantages and disadvantages of using VTN in low-rise buildings

Преимущества/ Advantages and	Недостатки/ Disadvantages
1. Экономия энергии. Energy saving. Одним из главных преимуществ ВТН является экономия энергии. Они работают на основе цикла обратимой термодинамики, который позволяет использовать энергию воздуха для нагрева помещений и приготовления горячей воды. По сравнению с традиционными системами отопления, которые используют газ или мазут, ВТН потребляют <u>значительно меньше энергии.</u>	1. Высокая стоимость. High price. ВТН стоят значительно дороже, чем традиционные системы отопления.
2. Экологичность. Environmental friendliness. Использование ВТН также способствует сокращению выбросов вредных веществ в окружающую среду. Они не используют газ или мазут, что уменьшает количество выбросов углекислого газа и других вредных веществ.	2. Зависимость от температуры воздуха. Dependence on air temperature. ВТН работают на основе тепла из воздуха, что означает, что их эффективность зависит от температуры воздуха. В холодные зимние дни ВТН могут работать менее эффективно.
3. Удобство. Convenience. ВТН не требуют большого количества места для установки и не нуждаются в большом количестве труб, что делает их более удобными и простыми в установке.	3. Необходимость регулярного обслуживания. The need for regular maintenance. ВТН требуют регулярного обслуживания, включая проверку и чистку фильтров, чтобы обеспечить оптимальную работу системы.
4. Универсальность. Versatility. ВТН могут использоваться как для отопления, так и для охлаждения помещений. Это позволяет экономить не только на затратах на отопление, но и на затратах на кондиционирование воздуха.	4. Ограниченный радиус действия. Limited range. ВТН имеют ограниченный радиус действия, что означает, что они не могут быть использованы для отопления больших зданий.
5. Надежность. Reliability. ВТН имеют низкую вероятность поломок и требуют минимального обслуживания.	5. Шум. Noise. Некоторые модели ВТН могут быть довольно шумными, что может привести к дискомфорту для жильцов.

Учет всех факторов при правильном выборе ВТН позволяет добиться оптимальной работы системы теплоснабжения и минимизировать затраты на отопление и охлаждение помещений, что отражается на экономии не только энергоресурсов в физическом выражении, но и в финансовом и экологическом отношении. Воздушный тепловой насос использует энергию из воздуха, что позволяет сократить затраты на газ или мазут, а также снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду. Кроме того, использование ВТН для охлаждения помещений также позволяет экономить на затратах на кондиционирование воздуха.

Кроме перечисленных параметров ВТН при разработке методики учитываются такие ограничения, как экологичность применяемых в тепловых насосах марок фреонов – хладагентов, климатические особенности региона, тип и характеристики строения, а также его местоположение и др.

Обсуждение результатов. Методика расчета затрат на энергопотребление и энергосбережение при применении воздушного теплового насоса включает несколько этапов, начиная от определения потребностей в отоплении и охлаждении помещения до установки и настройки ВТН.

Этап 1: Определение потребностей в отоплении и охлаждении помещения.

Первый этап может быть реализован путем проведения анализа климатических условий, размеров и конструкции помещения, его использования, количества людей, находящихся в помещении, и других факторов.

От правильного учета необходимой тепловой нагрузки малоэтажного строения и

расхода электроэнергии для ее обеспечения зависит точность расчета эксплуатационных затрат, которые будут иметь место в отопительный период работы воздушного теплового насоса (ВТН).

Для определения потребностей в отоплении и охлаждении помещения необходимо провести анализ климатических условий. Это включает изучение средней температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра и количества солнечного света в регионе. Необходимо также учитывать возможные изменения климата в течение года, чтобы определить необходимые мощности ВТН.

Средняя температура воздуха является одним из основных параметров, которые необходимо учитывать при определении потребностей в отоплении и охлаждении помещения. Она может быть определена путем изучения климатических данных за последние годы или сезоны. Для более точного расчета необходимо учитывать изменения температуры воздуха в разное время суток и в различные сезоны года.

Относительная влажность также является важным фактором. Высокая влажность может привести к ощущению дискомфорта и увеличению затрат на охлаждение, в то время как низкая влажность может привести к сухости воздуха и повышенной электростатической зарядке.

Высокая скорость ветра может привести к большим тепловым потерям через стены и окна, что требует более мощных ВТН для поддержания комфортной температуры в помещении.

Большое количество солнечного света может привести к повышению температуры в помещении, что требует более мощных ВТН для поддержания комфортной температуры.

Размеры и конструкция крупных помещений могут требовать более мощных ВТН для обеспечения эффективного отопления и охлаждения. Плохо утепленные стены и окна могут привести к большим тепловым потерям и повышенным затратам на отопление.

Большое количество людей может привести к повышенным тепловыделениям, что требует более мощных ВТН для поддержания комфортной температуры в помещении.

Также необходимо учитывать цели использования помещения. Например, помещение, используемое как офис, может требовать более высокой температуры, чем помещение, используемое как склад. Это также может повлиять на выбор типа ВТН и его мощность.

Кроме того, необходимо учитывать другие факторы, такие как наличие оборудования и освещения в помещении, которые могут повышать температуру в помещении и требовать более мощного ВТН.

Этап 2: Выбор подходящего типа ВТН.

Второй этап заключается в выборе подходящего типа ВТН, учитывая потребности в отоплении и охлаждении помещения, климатические условия и другие факторы. В малоэтажных строениях наиболее распространены следующие типы тепловых систем: кондиционеры, тепловые насосы, электрические обогреватели и газовые котлы. Существует несколько видов тепловых насосов, включая воздушные, водяные и грунтовые.

Что касается воздушных тепловых насосов, то различают два типа систем с воздушным источником, которые могут быть использованы для отбора рассеянной тепловой энергии окружающего воздуха: «воздух-воздух» и «воздух-вода», в зависимости от того, какая среда используется для распространения тепла в здании – воздух или вода.

Тепловые насосы типа воздух-воздух предназначены для прямого нагрева воздуха внутри помещения. Тепловые насосы типа воздух-воздух могут работать как универсальная климатическая система, поддерживающая комфортную температуру в доме круглый год. В холодное время года ВТН обеспечивает отопление, а в жаркое время работает как кондиционер. Кроме того, практически любая модель воздух-воздух имеет встроенные функции очистки воздуха от пыли, запахов и различных микроорганизмов.

Преимущество теплового насоса типа воздух-воздух над системами типа воздух-вода заключается в более низкой температуре воздуха, проходящего через теплообменник конденсатора, а это $+20..+25^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает повышенное значение коэффициента произво-

дительности COP (и более высокий уровень теплоотдачи (у систем «воздух-вода» температура стока от +40°C до +65°C). Но системы «воздух-воздух» не могут обеспечить здание горячей водой [6-8].

При выборе подходящего типа ВТН необходимо учитывать не только потребности в отоплении и охлаждении помещения, но и затраты на энергопотребление. Любой тепловой насос при эффективной эксплуатации имеет различные значения выработки тепловой энергии и потребления электрической энергии. Эти показатели зависят от многих факторов, которые тем или иным образом влияют на работу воздушного теплового насоса и определяют его потребительские характеристики:

- тип (конфигурацию) генерации теплоты (моновалентный, бивалентный);
- тип теплового насоса (с электроприводом, с механическим приводом и т.д.);
- тип привода теплового насоса (электричество, топливо, газ и т.п.);
- тип источника низкопотенциальной теплоты и теплоносителя (воздух – воздух, воздух – вода и т.д.);
- рабочий режим работы (отопление, горячее водоснабжение, кондиционирование);
- стоимость.

При выборе воздушного теплового насоса необходимо учитывать ряд технических характеристик и параметров для определения затрат энергопотребления [9]:

1. КПД (коэффициент полезного действия) – это отношение полученной тепловой энергии к затраченной электроэнергии. Чем выше КПД, тем меньше электроэнергии потребуется для обогрева помещения.

2. Тепловая мощность – это количество тепла, которое может выдавать насос. Необходимо выбирать насос с соответствующей тепловой мощностью, чтобы обеспечить достаточный уровень тепла в помещении.

3. Тип компрессора – существуют два типа компрессоров: инверторный и обычный. Инверторные компрессоры более эффективны и экономичны, поскольку они могут регулировать мощность в зависимости от потребностей помещения.

4. Температурный диапазон – насосы имеют определенный диапазон рабочих температур. Необходимо учитывать, какой диапазон температур будет использоваться в конкретном помещении.

5. Уровень шума – насосы могут создавать шум при работе. Необходимо выбирать насос с приемлемым уровнем шума для конкретного помещения.

Решение о выборе подходящего типа ВТН должно быть принято на основе сравнительного анализа всех факторов и с учетом конкретных условий помещения и региона.

Этап 3: Расчет затрат на энергопотребление для ВТН.

Первым шагом в расчете затрат на энергопотребление является определение и анализ энергетических характеристик ВТН, таких как:

- коэффициент производительности (COP), который является мерой эффективности теплового насоса и определяется как отношение выходной тепловой мощности к затраченной электрической мощности. Чем выше COP, тем более эффективен тепловой насос;
- сезонный коэффициент производительности (SCOP), который учитывает эффективность работы теплового насоса в различных условиях окружающей среды, таких как температура воздуха и влажность.

SCOP определяется как среднее значение COP за отопительный сезон, учитывая изменения внешних условий. Расчет показателя сезонной энергоэффективности особенно актуален для центральных регионов РФ, так как климатические условия оказывают влияние на эффективность применения ВТН. Среднегодовая температура предполагает, что работать ВТН будет эффективно [10], но резкое снижение температуры в отопительный период обеспечивает значительный спад производительности ВТН.

Вторым шагом в расчете затрат на энергопотребление является анализ стоимости электроэнергии, используемой для питания ВТН, ее потребление в различные периоды времени, такие как дневные и ночные часы, выходные и праздничные дни, и других факторов, таких как тарифные планы и налоги, в зависимости от региона, поставщика электроэнергии.

В целом, расчет затрат на энергопотребление для ВТН включает анализ энергетических характеристик ВТН, стоимости электроэнергии и ее потребления в различные периоды времени, установку счетчиков электроэнергии и анализ полученных данных, а также расчет экономической эффективности ВТН [11].

Этап 4: Определение потенциала энергосбережения

Для определения потенциала энергосбережения необходимо провести анализ текущей системы отопления и охлаждения помещения и сравнения их с затратами при использовании ВТН. Это может включать оценку типа топлива, используемого для отопления, марки фреона, эффективности системы отопления и охлаждения, уровня утепления здания и других факторов, которые могут влиять на затраты энергопотребления.

Сравнение затрат на энергопотребление при использовании ВТН с затратами на текущую систему отопления и охлаждения помещения позволяет определить потенциал энергосбережения. Если затраты на энергопотребление при использовании ВТН ниже, чем затраты на текущую систему отопления и охлаждения, то использование ВТН может быть экономически выгодным и иметь потенциал для снижения затрат на энергопотребление.

Одним из факторов, который может повысить потенциал энергосбережения при использовании ВТН, является установка дополнительных мероприятий по улучшению эффективности системы отопления и охлаждения. Например, это может включать установку термостатов, которые позволяют управлять температурой в помещении и снижать затраты на энергопотребление.

Установка рекуперации и рециркуляции воздуха в ВТН может значительно повысить потенциал энергосбережения. Когда свежий воздух поступает в помещение через рекуператор, он уже нагрет или охлажден, что позволяет снизить затраты на отопление и охлаждение. Рециркуляция воздуха позволяет сохранять тепло в помещении и снижать затраты на отопление.

Кроме того, установка рекуперации и рециркуляции воздуха может улучшить качество воздуха в помещении. Рекуператоры воздуха удаляют загрязнения из свежего воздуха, поступающего в помещение, тем самым улучшая его качество. Рециркуляция воздуха также может помочь в удалении загрязнений из помещения, так как вентиляционная система перераспределяет воздух по всему зданию.

Однако при установке рекуперации и рециркуляции воздуха в ВТН необходимо учитывать некоторые факторы. Например, необходимо убедиться, что рекуператор и вентиляционная система работают эффективно и не увеличивают затраты на энергопотребление. Также необходимо убедиться, что воздух в помещении не становится слишком сухим или слишком влажным.

Другим фактором, который может повысить потенциал энергосбережения при использовании ВТН, является улучшение утепления здания. Утепление здания может снизить потребность в отоплении и охлаждении помещения и, следовательно, снизить затраты на энергопотребление.

Определение потенциала энергосбережения также может включать анализ возможности использования возобновляемых источников энергии для питания ВТН. Например, использование солнечных батарей для питания ВТН может снизить затраты на электроэнергию и повысить потенциал энергосбережения.

В целом, определение потенциала энергосбережения при использовании ВТН включает проведение анализа текущей системы отопления и охлаждения помещения, сравнение затрат на энергопотребление при использовании ВТН с затратами на текущую

систему отопления и охлаждения, установку дополнительных мероприятий по улучшению эффективности системы отопления и охлаждения, улучшение утепления здания и анализ возможности использования возобновляемых источников энергии для питания ВТН.

Этап 5: Выбор оптимального режима работы ВТН.

Пятый этап может быть выполнен путем определения оптимальной температуры в помещении и выбора наиболее эффективного режима работы ВТН для достижения этой температуры.

Оптимальный режим работы ВТН - это тот, который обеспечивает комфортную температуру в помещении при минимальных затратах на энергопотребление. Для определения оптимальной температуры в помещении можно использовать различные методы, такие как анализ теплопотерь, расчеты теплового баланса и тестирование системы отопления и охлаждения.

Анализ теплопотерь позволяет определить, сколько тепла уходит из помещения через окна, двери, стены и крышу, что является основанием для расчета необходимой мощности ВТН для обогрева или охлаждения помещения.

Расчеты теплового баланса учитывают не только теплопотери, но и тепловые нагрузки, которые могут быть вызваны людьми, оборудованием и освещением в помещении. Это позволяет определить оптимальную мощность ВТН для конкретного помещения.

Тестирование системы отопления и охлаждения дает возможность определения, как быстро система достигает заданной температуры в помещении и как долго она может поддерживать эту температуру без дополнительного энергопотребления.

Оптимальный режим работы ВТН может варьироваться в зависимости от времени суток, дня недели и времени года. Например, в зимние месяцы, когда температура на улице ниже, может потребоваться более высокая температура в помещении, что может привести к повышенным затратам на энергопотребление. В летние месяцы, когда температура на улице выше, может потребоваться более низкая температура в помещении, что также может привести к повышенным затратам на энергопотребление.

Для оптимизации работы ВТН можно использовать различные технологии и методы. Например, использование программного обеспечения для управления системой отопления и охлаждения позволяет автоматически регулировать температуру в помещении в зависимости от времени суток и дня недели. Это обеспечивает не только минимизацию затрат на энергопотребление, но и повышает комфорт в помещении.

Использование технологий для управления вентиляционной системой, например, датчиков CO₂ позволяет автоматически регулировать скорость вентиляции в зависимости от количества людей в помещении. Это позволяет снизить затраты на энергопотребление и улучшить качество воздуха в помещении.

Использование различных материалов и технологий для утепления и герметизации помещения, например, утеплителей высокой плотности и герметизация окон и дверей позволяет снизить теплопотери и улучшить эффективность работы ВТН.

Этап 6: Установка и настройка ВТН.

Установка ВТН начинается с выбора оптимального места для ее размещения. Это может быть выполнено путем обращения к специалистам, которые могут правильно установить и настроить ВТН для достижения оптимальной работы системы и минимизировать затраты на отопление и охлаждение помещений.

Обычно ВТН устанавливается в техническом помещении, которое должно быть оборудовано соответствующими коммуникациями и системой вентиляции. При выборе места для установки ВТН необходимо учитывать такие факторы, как доступность для обслуживания и ремонта, безопасность и возможность подключения к электросети.

После выбора места для установки ВТН необходимо провести монтаж системы. Это может включать в себя установку трубопроводов, радиаторов, насосов и другого

оборудования. При монтаже необходимо соблюдать все требования и нормы безопасности, а также следить за качеством выполненных работ.

После установки ВТН необходимо выполнить ее настройку, которая может включать в себя:

1. Настройка параметров системы - установка температурных режимов, режимов работы насосов и других параметров системы.
2. Проверка работоспособности системы - проверка теплообменника, насосов, клапанов и других элементов системы.
3. Регулировка параметров системы - регулировка температурных режимов, скорости потока воздуха и других параметров.
4. Обучение пользователя - обучение правильному управлению температурными режимами, использованию программного обеспечения для управления системой и другим нюансам.

При установке и настройке ВТН необходимо соблюдать все требования и нормы безопасности, а также следить за качеством выполненных работ. Неправильная установка и настройка ВТН может привести к повреждению оборудования, повышенным затратам на энергопотребление и другим проблемам.

Выходная тепловая мощность воздушного теплового насоса зависит от множества факторов, учитывающих внутренние термодинамические процессы работы тепловой системы, которые не были рассмотрены выше, а именно: от объема хладагента, от площади поверхности змеевиков в испарителе и конденсаторе, от предполагаемого объема теплоотдачи системе отопления и так далее. Поэтому расчеты затрат энергопотребления необходимо вести в специальной программе, учитывающей расчет отдельных показателей: тепловых потерь зданий и помещений, тепловой мощности ВТН и другие вводные данные.

На сегодняшний день не существует комплексной программы расчета затрат энергопотребления ВТН. В упрощенной форме оформлены программы в виде онлайн «калькуляторов» [3, 11], с открытыми полями для ввода следующих параметров:

- площади помещения и высоты потолков – они используются для расчета объема,
- региона, где расположено здание – с помощью этого параметра определяется среднегодовая температура воздуха, влияющая на производительность испарителя,
- степени утепления здания – с помощью этого параметра определяется ожидаемая «калорийность» системы отопления.

На финальной стадии два последних параметра преобразуются в коэффициенты, на которые умножают объем помещения. Полученную в результате подобных манипуляций сумму сравнивают с табличными значениями, увязывающими мощность насоса с отапливаемым объемом.

В настоящее время многие производители [6, 7] тепловых насосов предлагают воспользоваться своими «калькуляторами», специально разработанными под выпускаемые ими модели тепловых насосов. Но, как правило, их калькуляторы адаптированы под определенные типы тепловых насосов (например, циркуляционный, реверсивный и т.д.).

Вывод. Эффективность применения ВТН определяется двумя факторами: опережающим увеличением стоимости замещаемого топлива по сравнению с ростом электроэнергии и достижением термодинамической оптимизации цикла за счет совершенствования конструкций тепловых насосов [6, 9]. Конструктивная модернизация ВТН позволяет осуществлять комбинированную выработку тепловой энергии либо последовательным, либо параллельным способом. Таким образом, ВТН может эксплуатироваться в нескольких рабочих режимах:

- режим отопления, при котором работает только система отопления;
- режим горячего водоснабжения, при котором работает только система бытового горячего водоснабжения);

- универсальный режим (комбинированный) осуществляется отопление и горячее водоснабжение.

Данная методика может быть применена для решения следующих вопросов:

- оценки работы ВТН на соответствие нормативам энергопотребления;
- оптимизации энергетических параметров ВТН с оценкой энергетической эффективности разных вариантов их конфигураций;
- определения структуры потребления энергии (тепловой и электрической);
- расчета годовых эксплуатационных затрат применения теплового насоса;
- оценки эффективности применения различных энергосберегающих мероприятий и их сравнения по эффективности использования энергии.

В дальнейшем авторы предполагают представить результаты экспериментальных исследований и расчеты затрат энергопотребления по предложенной методике, в ходе которых будет выбрано наиболее лучшее решение по организации энергоэффективной и экологичной системы теплоснабжения малоэтажных строений в климатических условиях центральных регионов РФ на основе модернизации существующей модели ВТН.

Библиографический список:

1. Федосов, С.В. Особенности функционирования фреонового контура малоэтажного здания с воздушным тепловым насосом в отопительный период / С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, В.Е. Шебашев, И.А. Зайцева, В.Г. Котлов, В.А. Емелин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. - 2019. - № 4 (12). - С. 142-148.
2. Алоян, Р.М. Рациональное использование соотношений электротарифов для автономных текстильных строений в режиме теплоснабжения электродкотлом / Р.М. Алоян, В.Н. Федосеев, Н.В. Виноградова, И.А. Зайцева, М.Р. Иродова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2017. - №4(370). - С. 242-245.
3. Воздушные тепловые насосы // URL: <https://lucheeotoplenie.ru/tipy-otopleniya/vozdushnoe/vozdushnye-teplovye-nasosy.html>
4. Воронов, В.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса / В.А. Воронов, В.А. Емелин, В.Н. Федосеев, И.А. Зайцева // Сборник научных трудов. Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. Иваново. ИВГПУ. - 2015. - С. 241-251.
5. ГОСТ Р 54865-2011 Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200089610>
6. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов нетрадиционных возобновляемых источников энергии. – М. – 2001. URL:http://www.infosait.ru/norma_doc/8/8574/index.htm
7. Лунева, С.К. К вопросу применения тепловых насосов / С.К. Лунева, А.С. Чистович, И.Х. Эмиров // Техничко-технологические проблемы сервиса. - 2013. - № 4 (26). - С. 45-52.
8. Жуков, А.Д. Системы экологически устойчивого строительства / А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова, Н.В. Наумова, Р.М. Мустафаев // Строительство: наука и образование. - 2013. - № 3. - С. 4-12.
9. Оганесян, Л.С. Эффективность применения воздушных тепловых насосов в условиях Армении / Л.С. Оганесян, М.Г. Казарян // Вестник Национального политехнического университета Армении. Электротехника, энергетика. - 2015. - № 1. - С. 11-35.
10. Петросян, А.Л. Применение воздушных тепловых насосов для отопления зданий // Энергосбережение. - 2015. - № 4. - С. 54-61.
11. Яковлев, И.В. Энергоэффективность перехода на автономное теплоснабжение от воздушных теплонасосных установок в климатических условиях России / И.В. Яковлев, А.М. Исакова, И.В. Парехина // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. - 2016. - № 5. - С. 105-112.

References:

1. Fedosov, S.V. Features of the functioning of the freon circuit of a low-rise building with an air heat pump during the heating period / S.V. Fedosov, V.N. Fedoseev, V.E. Shebashev, I.A. Zaitseva, V.G. Kotlov, V.A. Emelin. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2019; 4 (12): 142-148. (In Russ)
2. Aloyan, R.M. Rational use of ratios of electric tariffs for autonomous textile buildings in the mode of heat supply by an electric boiler / R.M. Aloyan, V.N. Fedoseev, N.V. Vinogradova, I.A. Zaitseva, M.R. Irodova // *Izvestiya vuzov. Technology of the textile industry.* 2017; 4 (370): 242-245. (In Russ)
3. Air source heat pumps. URL: <https://lucheeotoplenie.ru/tipy-otopleniya/vozdushnoe/vozdushnye-teplovye-nasosy.html>

- nasosy.html(In Russ)
4. Voronov, V.A. Climatic conditions and factors affecting the performance of the air heat pump / V.A. Voronov, V.A. Emelin, V.N. Fedoseev, I.A. Zaitseva // Collection of scientific papers. Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions. Ivanovo. IVGPU. 2015; 241-251. (In Russ)
 5. GOST R 54865-2011 Heat supply of buildings. Methodology for calculating the energy demand and efficiency of a heat generation system with heat pumps URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089610>(In Russ)
 6. Guidelines for the use of heat pumps using secondary energy resources of non-traditional renewable energy sources. - М. - 2001. URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/8/8574/index.htm(In Russ)
 7. Luneva, S.K. To the question of the use of heat pumps / S.K. Luneva, A.S. Chistovich, I.Kh. Emirov. *Technical and technological problems of service*. 2013; 4 (26):45-52. (In Russ)
 8. Zhukov, A.D. Systems of environmentally sustainable construction / A.D. Zhukov, T.V. Smirnova, N.V. Naumova, R.M. Mustafae. *Construction: science and education*. 2013; 3: 4-12. (In Russ)
 9. Oganessian, L.S. The effectiveness of the use of air heat pumps in the conditions of Armenia / L.S. Oganessian, M.G. Ghazaryan. *Bulletin of the National Polytechnic University of Armenia. Electrical engineering, energy*. 2015; 1: 11-35. (In Russ)
 10. Petrosyan, A.L. Application of air heat pumps for heating buildings. *Energy saving*. 2015; 4: 54-61. (In Russ)
 11. Yakovlev, I.V. Energy efficiency of transition to autonomous heat supply from air heat pump installations in the climatic conditions of Russia / I.V. Yakovlev, A.M. Iskhakova, I.V. Parekhina. *Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. Bulletin of MPEI*. 2016; 5:105-112. (In Russ)

Сведения об авторах:

Крупнов Евгений Иванович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства и инженерных систем, ekrup@list.ru

Зайцева Ирина Александровна, кандидат экономических наук, доцент, магистр кафедры строительства и инженерных систем, e-mail:75zss@rambler.ru

Логинова Светлана Андреевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, sl79066171227@yandex.ru

Зайцев Иван Сергеевич, магистр кафедры программного обеспечения компьютерных систем, e30n3@yandex.ru

Information about the authors:

Evgeniy I. Krupnov, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Head of the Department of Construction and Engineering Systems, e-mail:ekrup@list.ru

Irina A. Zaitseva, Cand. Sci. (Econom), Assoc. Prof., Master of the Department of Construction and Engineering Systems, 75zss@rambler.ru

Svetlana A. Loginova, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Department of Building Structures, sl79066171227@yandex.ru

Ivan S. Zaitsev, Master of the Department of Computer Systems Software, e30n3@yandex.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 28.04.2023.

Одобрена после/рецензирования Reviced 20.05.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 20.05.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.011

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-188-196

Оригинальная статья /Original Paper

Системы с оптимальными геометрическими формами

А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Р.И. Вишталов

Дагестанский государственный технический университет,

367026 г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. В статье рассматриваются здания различного очертания, которые обладают высокой сейсмостойкостью, которую обеспечивают рациональная форма и очертания здания. Влияние кручения здания в плане сводится к минимуму, тем самым, исключаются большие напряжения на торцах проектируемого здания. При этом сохраняется поступательное перемещение здания в плане. **Метод.** Путём оптимизации формы и очертания зданий различного назначения обеспечивается высокая эффективность работы сооружения при сейсмических воздействиях. Методом сравнения формы и очертаний различных зданий выбирается наилучший вариант их компоновки. **Результат.** Разработаны конструктивные схемы зданий и сооружений различного в плане очертания: круглые, квадратные, прямоугольные; составлены конструктивные схемы объемных сейсмостойких сооружений, пирамидальных, конических различного очертания. Проведен сравнительный анализ и составлены рекомендации по проектированию сейсмостойких зданий и сооружений с оптимальными геометрическими формами. **Вывод.** Предлагаемые в статье конструктивные схемы могут найти применение при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений различного назначения.

Ключевые слова: сейсмостойкость и сейсмозащита, оптимальные формы зданий, объёмные сооружения, конструктивные схемы, сейсмические волны

Для цитирования: А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Р.И. Вишталов. Системы с оптимальными геометрическими формами. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50 (2):188-196. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-188-196

Systems with optimal geometric shapes

A.K. Yusupov, H.M. Muselemov, R.I. Vishtalov

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. In this paper, buildings of various shapes that have high seismic resistance are considered. Such seismic resistance is provided by the rational shape and outlines of the building itself. Here, the influence of the torsion of the building in the plan is minimized, thereby eliminating large stresses at the ends of the designed building. At the same time, the translational movement of the building in the plan is preserved. **Method.** By optimizing the shape and shape of buildings for various purposes, high efficiency of the structure is ensured under seismic effects. By comparing the shape and outlines of various buildings, the best variant of their layout is selected. **Result.** Structural schemes of buildings and structures with high resistance to seismic effects are given. A comparative analysis and recommendation for the design of earthquake-resistant buildings are given. Structural schemes for buildings and structures of various outlines have been developed: round, square, rectangular; constructive schemes of volumetric seismic-resistant structures, pyramidal, conical of various shapes, have been drawn up. Recommendations for the design of earthquake-resistant buildings and structures with optimal geometric shapes are made. **Conclusion.** The design schemes proposed in the article can be used in the design of earthquake-resistant buildings and structures for various purposes.

Keywords: seismic resistance and seismic protection, optimal forms of buildings, three-di-

mensional structures, structural schemes, seismic waves

For citation: A.K. Yusupov, Kh.M. Muselemov, R.I. Vishtalov. Systems with optimal geometric shapes. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2023; 50(2): 188-196. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-188-196.

Введение. Обычные мероприятия по сейсмозащите зданий и сооружений сводятся в основном к повышению несущей способности элементов и конструкций. Такая сейсмозащита осуществляется в соответствии со строительными нормами «Строительство в сейсмических районах» [4,5,7,10,11]. При этом выполняемые мероприятия не снижают сейсмических нагрузок на здания и сооружения, а только их учитывают. Балльность землетрясений зависит от грунтовых условий участка строительства [1,3,6].

В последнее время в России, США, Японии, Франции и других зарубежных странах всё более широкое применение находят активные методы сейсмозащиты. Эти методы предусматривают изменение массы или жёсткости, или демпфирования системы в зависимости от её перемещений и скоростей. В настоящее время известно более 100 запатентованных конструкций сейсмозащиты. Преимуществом активных методов перед традиционными методами является то, что они существенно снижают сейсмические нагрузки на здания и сооружения.

Актуальность исследований по повышению сейсмостойких зданий и сооружений становится очевидной после землетрясений, которые произошли в Турции с 6 по 12 февраля 2023 года. Эти землетрясения унесли более 45 000 тысяч человеческих жизней и нанесли колоссальный материальный ущерб [9]. Многие здания и сооружения рухнули под воздействием сейсмических толчков. Это - невиданная трагедия для человечества, которая наталкивает нас к серьёзным размышлениям. Ранее происходили аналогичные землетрясения в Турции 1999 году [2].

Постановка задачи. Далее приводятся конструктивные схемы зданий и сооружений. Они все обладают одним преимуществом – сейсмостойкостью. Причём каждая приведенная ниже конструктивная схема имеет свои недостатки. В комментариях к конструктивным схемам мы приводим эти недостатки, не указывая на приведенное выше преимущество, общее для всех схем. Рассматриваются различные конструктивные схемы, обладающие высокой сейсмостойкостью, с указанием присущих им недостатков, которые должны учитываться при проектировании зданий и сооружений.

Методы исследования. Приведём конструктивные схемы зданий и сооружений с высокой сейсмостойкостью, давая к ним соответствующие комментарии. На рис. 1 показаны круглые в плане здания.

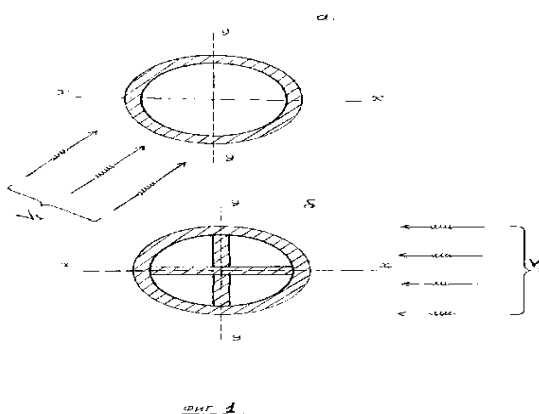


Рис.1. Взаимодействия круглых в плане зданий с сейсмической волной V_1 :
 а) - при диагональном воздействии; б) - при горизонтальном воздействии.

Fig. 1. Interaction of round buildings with seismic wave V_1 :
 а) - with a diagonal impact; б) - with a horizontal impact.

Если здание имеет в плане круговое очертание и центр его массы совпадает с центром его жёсткости, то при взаимодействии с сейсмической волной V_1 (рис. 1) такое сооруже-

ние получает только поступательные перемещения: исключается кручение. Таким образом, уменьшаются напряжения в конструкции от сейсмических нагрузок. Недостатки: здания кругового очертания имеют ограниченную область применения.

На рис. 2 показаны конструктивные схемы зданий квадратного в плане очертания. Если центр масс совпадает с центром жёсткости, то здание квадратное в плане при взаимодействии с сейсмической волной V (рис. 2) получает поступательные перемещения. При этом кручение здания – минимальное: напряжения от сейсмических нагрузок за счёт этого уменьшаются.

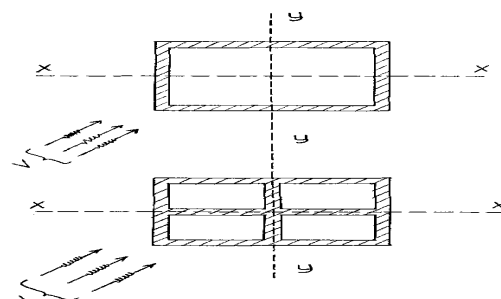


рис. 2

Рис. 2. Взаимодействию квадратного в плане зданий с сейсмической волной V

Fig. 2. Interaction of a square building with a seismic wave V

Недостатки: при значительных габаритах (в плане) затрудняется освещение и аэрация, ухудшается планировка и архитектурная выразительность здания.

На рис. 3.а показано прямоугольное в плане здание, причём здание – довольно вытянутое в одном направлении. Здесь одного совпадения центра масс с центром жёсткости не даёт нужного результата, поскольку здание вытянутое; сейсмическая волна (рис. 3.а), доходя до одного края здания, успевает его раскрутить: кручение здания – неминуемо.

На рис. 3.б показано то же самое здание, расчлененное на отдельные блоки. Это достигается за счёт устройства антисейсмических швов. Каждый квадратный в плане (или близкий к квадрату) блок должен удовлетворять условию совпадения центра масс блока с центром его жёсткости. При этом каждый отдельный блок работает автономно по схеме, изложенной в предыдущем пункте. Достигается нужный эффект.

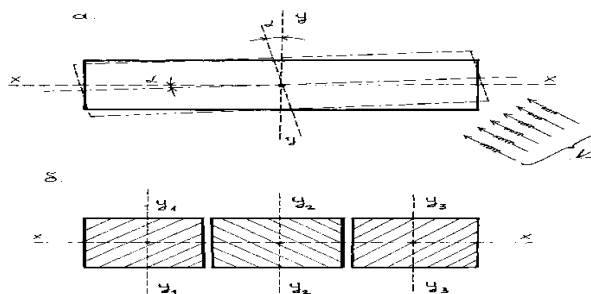


рис. 3

Рис.3. Взаимодействию прямоугольного в плане зданий с сейсмической волной V : а)прямоугольное вытянутое в одном направлении здание; б) расчленённое на отдельные блоки

Fig.3. Interaction of a rectangular building with a seismic wave V :

а) a rectangular building elongated in one direction;b) divided into separate blocks.

Недостатки: устройство антисейсмических швов требует дополнительных затрат.

Древнейшие сейсмостойкие конструкции строились в виде пирамид или конусов (усеченных или не усеченных). К ним относится «Бабушка» Вавилонской башни, сама Вавилонская башня, Египетские пирамиды.

На рис. 4 показана схема многоярусного ступенчатого (многоэтажного) конуса: каждый ярус представляет собой отдельный этаж со своими «лабиринтами», залами, проемами

и т.д. Такая форма технологична, возводится с помощью применения малых механизмов; центр тяжести здания располагается ближе к земле: на $1/3$ H от земли, - повышается сопротивляемость здания к воздействию сейсмических сил. Меняя высоту H и диаметр D , можно получить различные схемы, можно оптимизировать сооружение.

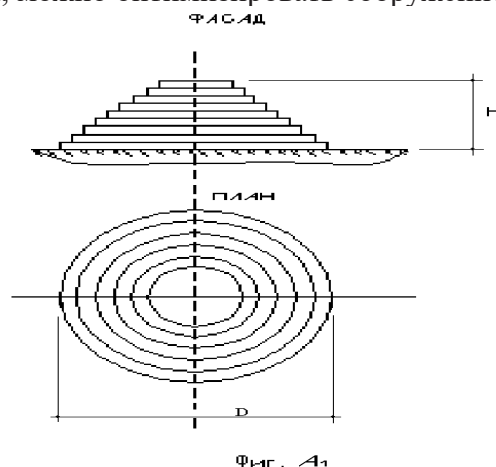


Рис. 4. Схема многоярусного ступенчатого (многоэтажного) конуса

Fig. 4. Scheme of a multi-tiered stepped (multi-story) cone

Недостатки: освещение и аэрация внутренних лабиринтов такого здания затруднены; требуется устройство воздухопроводов и обеспечение искусственного освещения; необходимы наклонные лифты; слишком много наклонных и вертикальных коммуникаций различного назначения.

На рис. 5 показана схема ступенчатой пирамиды, сечение которой имеет вид квадрата или четырехугольника, близкого к квадрату; это здание устойчиво; технологично при возведении и обладает высокой сейсмостойкостью. Недостатки были изложены в предыдущей схеме.

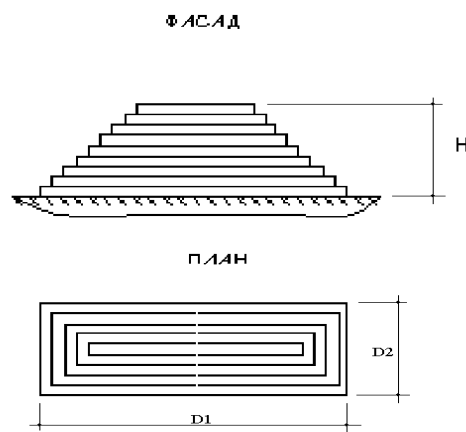


Рис. 5. Схема ступенчатой пирамиды, сечение которой имеет вид квадрата или четырехугольника

Fig. 5. Scheme of a step pyramid, the section of which has the form of a square or quadrangle

На рис. 6 показана схема ступенчатой пирамиды, в сечении которой правильный шестиугольник (можно проектировать в сечении пяти, шести, семи, восьми – угольники). Оптимизируя соотношение между высотой H и размером D (рис. 6), можно обеспечить необходимые свойства системы. Численность населения Земли растет квадратично, к 2030 году ожидается 9 млрд. человек. В связи с этим строительство многоэтажных зданий становится актуальным. Будущее за многоэтажными сейсмостойкими зданиями. Японцы уже разработали проект здания в виде ступенчатой пирамиды высотой $H = 1000$ м, (300 этажей!).

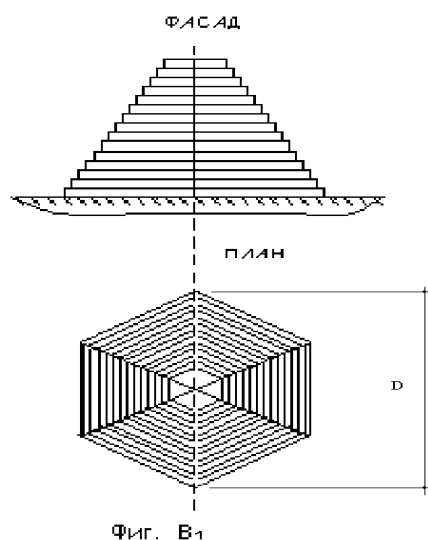


Рис. 6. Схема ступенчатой пирамиды, в сечении которой правильный шестиугольник
Fig. 6. Scheme of a stepped pyramid, in the section of which a regular hexagon

Недостатки изложены выше. Приведенные конструктивные схемы (рис.4-6), являются обобщением древнейшей конструктивной схемы *вавилонской башни*.

На рис. 7 показано здание с первым гибким этажом: колонны первого этажа – гибкие; верхние этажи – жёсткие. При землетрясениях здание получает достаточно большие горизонтальные перемещения. За счёт этого воздействие сейсмических сил на здание снижается [4,8]. В уровне фундаментов верхняя жёсткая часть здания (1) (рис. 8 и 9) опирается на катки 2, которые катятся или качаются за счёт наличия сферических поверхностей. Здание получает значительные горизонтальные перемещения при землетрясениях: снижаются сейсмические нагрузки.

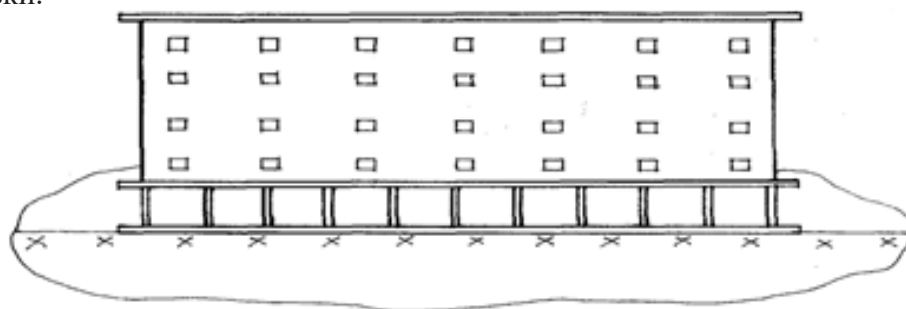


Рис. 7. Здание с первым гибким этажом
Fig. 7. Building with a first flexible floor

Недостатки: относительная сложность изготовления гибких конструкций; повышенная чувствительность к воздействиям с низким или широкополосным спектром частот.

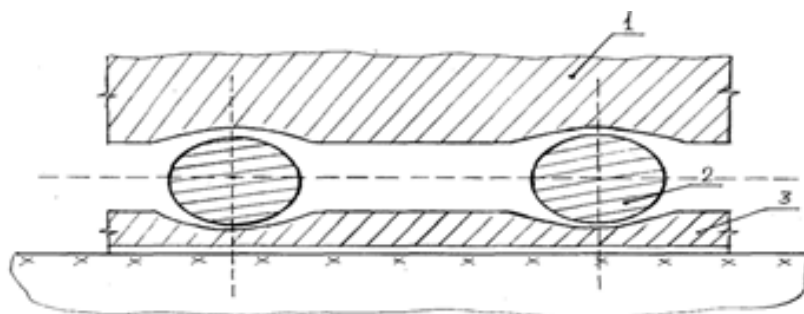


Рис. 8. Опираие здания на катки
Fig. 8. Supporting the building on the rollers

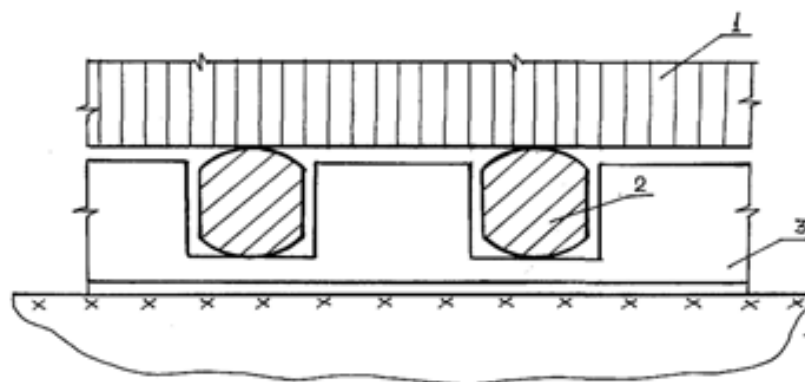


Рис. 9. Опираение здания на качающиеся катки
Fig. 9. Supporting the building on rocking rollers

Недостатки: точечные контакты быстро выходят из строя; изготовление стоек и катков со сферическими торцами малого радиуса и высокопрочными контактными поверхностями присуще скорее машиностроительному производству, чем строительной технологии; приходится применять для изготовления катков дорогие высокопрочные материалы (металлы), которые быстро корродируют; высокая концентрация напряжений охрупчивает материал.

На рис. 10. показаны схемы зданий на скальных основаниях (грунты I-ой категории по сейсмическим свойствам). Здания могут быть в виде гибкого каркаса с навесными панелями или сооружения с первым гибким этажом (колонны). Основание обладает избирательной способностью: жёсткое скальное основание усиливает перемещение основания с высокими частотами (из всего спектра частот). Напротив, здания с гибкой схемой обладает низкими собственными частотами. слабо реагируют на высокочастотные возмущения землетрясения.

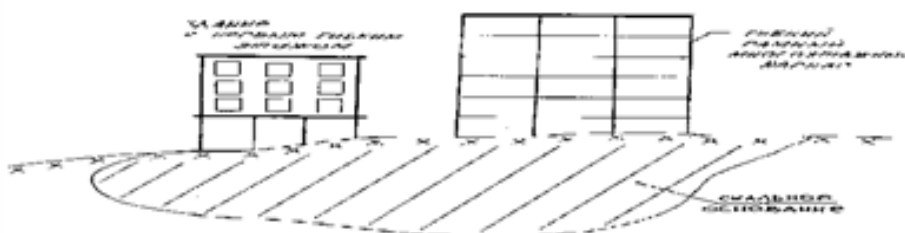


Рис. 10. Опираение здания на скальное основание
Fig. 10. Supporting the building on a rock foundation

Недостатки: при увеличении этажности приходится делать колонны достаточно мощными, что снижает эффективность системы «сооружение – основание», т.к. при этом жёсткость здания существенно возрастает.

На рис.11 показана схема жёсткого здания. Подстилающий грунт мягкий, а здание жёсткое (к мягким грунтам здесь относятся грунты III-ей категории по сейсмическим свойствам). Мягкий грунт из всего спектра частот колебаний поверхности Земли реагирует в основном на низкие частоты. Здание, будучи жестким, обладает высокими собственными частотами. Таким образом, система «сооружение - основание» далека от резонанса или состояния, близкого к нему.

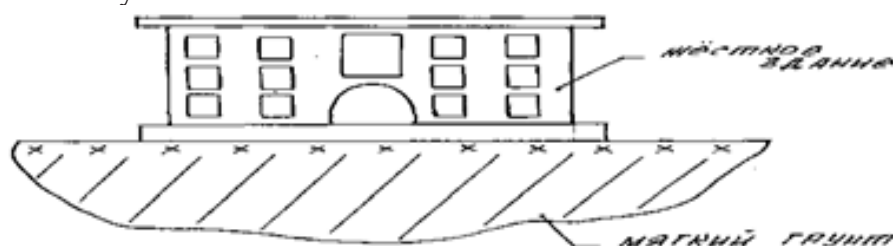


Рис. 11. Жёсткое здание на мягком основании
Fig. 11. Rigid building on a soft base

Недостатки: здание может потерять общую устойчивость, опрокинуться при землетрясении, получить большие перемещения. Требуются дополнительные мероприятия.

На рис. 12 показана схема здания на железобетонной плите. Между плитой и фундаментом устроен, так называемый компенсирующий подстилающий слой 1, из сильно деформируемого материала с низким значением модуля сдвига (резина, неопрен) [4, 8]. За счёт этого при землетрясении сейсмические силы снижаются. Система близка (с точки зрения фильтрации волны) к системе с кинематическими связями.

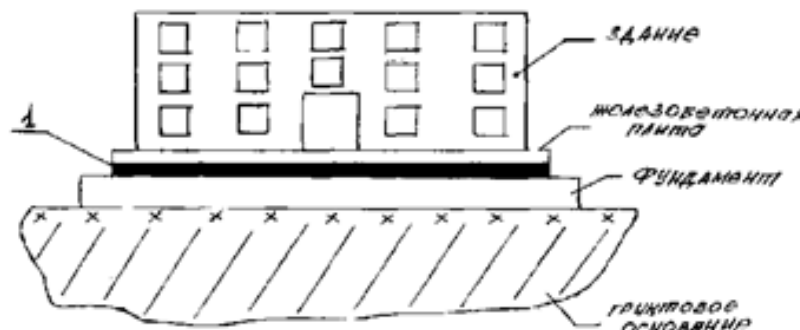


Рис. 12. Здание на мягком подстилающем слое
Fig. 12. Building on a soft underlying layer

Недостатки: конструкция сложна; компенсирующий слой недолговечен. Система рациональна только в сооружениях специального назначения.

На рис. 13 показана конструктивная схема кинематической опоры в виде колонны с двумя оголовками.

Оголовки представляют собой корытообразные обоймы из металла или железобетона, заполненные упругим материалом, играющим роль буфера, например, резина. В процессе землетрясения колонны имеют возможность получать достаточно большие горизонтальные перемещения (с обратным возвратом за счёт буфера). В результате этого сейсмические силы снижаются. В частном случае, столбчатые катки могут быть изготовлены с одним буферным оголовком.

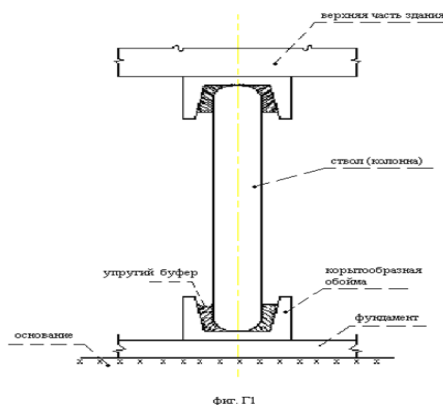
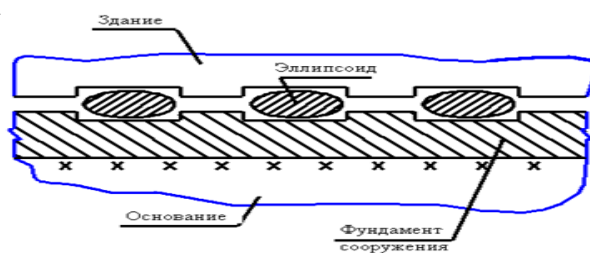


Рис. 13. Колонна на упруго-податливых опорах
Fig. 13. Column on resiliently compliant supports

Недостатки: резина и металл подвержены коррозии; устойчивость колонны на опрокидывание невысока; за счёт концентрации напряжений торцы колонны охрупчиваются.

На рис.14 показана схема кинематических опор в виде трехосных эллипсоидов. Два радиуса у этих эллипсоидов друг другу равны, а третий радиус отличен от них. В процессе землетрясения эллипсоиды позволяют зданию достаточно свободно перемещаться в горизонтальных направлениях. При этом сейсмические силы уменьшаются. Такие катки можно устроить не только в цокольном и первом этажах здания, но и на уровне каждого этажа или через этаж, в сечениях колонн, где изгибающие моменты равны нулю (в фокусных точках).



Фиг. Е2

Рис.14. Здание на кинематических эллипсоидах

Fig. 14. Building on kinematic ellipsoids

Недостатки: в точках контакта возникает высокая концентрация напряжений, что вызывает охрупчивание материала; материал катков должен быть высокопрочным; если катки из металла, то они подвержены коррозии. Рациональны в сооружениях специального назначения.

На рис. 15 показано подвешенное на гибких подвесках 3 здание или бокс 1. Всё это держится на жёсткой раме 2. При землетрясениях бокс 1 качается с малыми частотами и воздействие сейсмических сил на бокс мало.

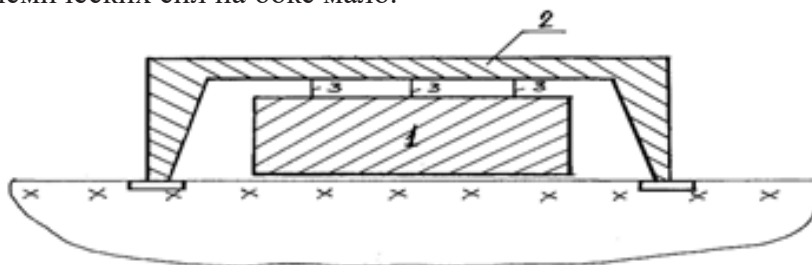


Рис.15. Здание на гибких подвесках

Fig.15. Building on flexible suspension

Недостатки: основная несущая рама должна быть достаточно жёсткой; раму догружают сейсмические силы. Применяется только в сооружениях специального назначения.

На рис.16 показан скользящий пояс. Верхняя часть 1 представляет собой здание или сооружение с достаточно большой жёсткостью. Поверхности скольжения должны иметь слой с небольшим коэффициентом трения (например, фторопласт). За счёт наличия (рис.16) свободного зазора 3 верхняя часть скользит относительно нижней. Таким образом, здание получает горизонтальные перемещения при землетрясении: снижается воздействие сейсмических сил.

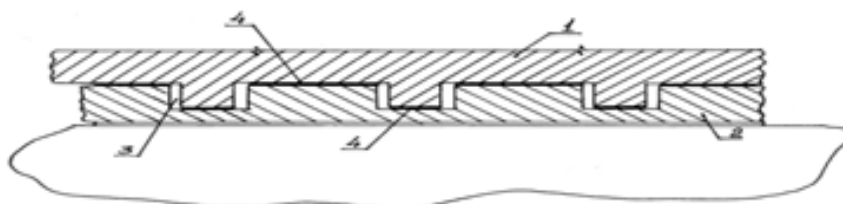


Рис. 16. Схема скользящего пояса

Fig. 16. Scheme of the sliding belt

Недостатки: поверхности скольжения приходится покрывать дорогими материалами, долговечность которых невысока; при слабых колебаниях скольжение затруднительно и ускорения основания передаются на здание, как при жёсткой связи с фундаментом 2 (рис. 16). Происходит залипание поверхностей скольжения.

Вывод. Разработаны конструктивные схемы зданий и сооружений различного в плане очертания: круглые, квадратные, прямоугольные; составлены конструктивные схемы объемных сейсмостойких сооружений, пирамидальных, конических различного очертания. Составлены рекомендации по проектированию сейсмостойких зданий и сооружений с оптимальными геометрическими формами. Предлагаемые в статье конструктивные схемы могут найти применение при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений различного назначения.

Библиографический список:

1. Абакаров А.Д., Крамынин П.И. Выбор рациональных площадок для строительства сейсмостойких зданий в г. Махачкале (Инженерно геологические особенности Дагестанской АССР), 1984.
2. Айзенберг Я.М. Два разрушительных землетрясения в Турции за три месяца 1999г. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». 2000. - №1.- С. 54-57.
3. Айзенберг Я.М., Миносян А.В. Взаимодействие сооружения с упруго-пластическим грунтом при сейсмических воздействиях //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2001, №2.
4. Айзенберг Я.М. Сейсмоизоляция зданий в России и СНГ// Сейсмостойкое строительство», 1998, № 1. С. 23-26.
5. Кириков Б. А. Древнейшие и новейшие сейсмостойкие конструкции. Изд-во “Наука”, М. 1990.
6. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий (Основы теории сейсмостойкости). Изд-во Высшая школа, М.1983.
7. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. Стройиздат, М. 1989.
8. Уздин А.М. Задание сейсмического воздействия. Взгляд инженера-строителя//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. №1.С. 27-31.
9. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. — М.: Стройиздат, 1978.—311с.
10. СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах.
11. Айзенберг Я.М, В. И. Смирнов, А. В. Минасян. Качающиеся опоры с гидроциркуляционной системой для сейсмоизоляции сооружений// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений — Вып. 2. 2000. С. 34-36.

References:

1. Abakarov A.D., Kramynin P.I. Selection of rational sites for the construction of earthquake-resistant buildings in the city of Makhachkala (Engineering and geological features of the Dagestan ASSR), 1984. (In Russ)
2. Aizenberg Ya.M. Two devastating earthquakes in Turkey in three months in 1999. Earthquake-resistant construction. Building safety”. 2000; 1: 54-57. (In Russ)
3. Aizenberg Ya.M., Minosyan A.V. Interaction of a structure with an elastic-plastic soil under seismic influences. *Seismic-resistant construction. Building safety*. 2001; 2. (In Russ)
4. Aizenberg Ya.M. Seismic isolation of buildings in Russia and the CIS. *Earthquake-resistant construction*, 1998; 1: 23-26. (In Russ)
5. B.A. Kirikov, Ancient and Newest Seismic-Resistant Structures. Publishing house “Science”, M. 1990. (In Russ)
6. Polyakov S.V. Seismic-resistant structures of buildings (Fundamentals of the theory of seismic resistance). Publishing House Higher School, M.1983. (In Russ)
7. Polyakov S.V., Kilimnik L.Sh., Cherkashin A.V. Modern methods of seismic protection of buildings. Sroyzdat, M. 1989. (In Russ)
8. Uzdin A.M. Setting the seismic impact. View of a civil engineer. *Seismic-resistant construction. Building safety*. 2005; 1:27-31. (In Russ)
9. Polyakov S.V. Consequences of strong earthquakes. М.: Sroyzdat, 1978; 311. (In Russ)
10. SP 14.13330.2018 “SNiP II-7-81* Construction in seismic areas. (In Russ)
11. Aizenberg Ya.M., V.I. Smirnov, A.V.Minasyan. Swinging supports with a hydrocirculation system for seismic isolation of structures. *Earthquake-resistant construction. Building Safety*.2000;2: 34-36. (In Russ)

Сведения об авторах:

Юсупов Абуспян Курашевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; hairulla213@mail.ru

Муселемов Хайрулла Магомедмуратович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; hairulla213@mail.ru

Вишталов Раджаб Исабекович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; hairulla213@mail.ru

Information about the authors:

Abusupyan K.Yusupov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures; hairulla213@mail.ru

Hairulla M.Muselemov, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures; hairulla213@mail.ru

Rajab I. Vishtalov, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof. Department of Building Structures and Hydrotechnical Structures; hairulla213@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 04.05.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 01.06.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 01.06.2023.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Верстка журнала осуществляется с электронных копий. Используется компьютерная обработка штриховых и полутоновых (в градациях серого) рисунков. Журнал изготавливается по технологии офсетной печати. В редакцию журнала необходимо представить: распечатку рукописи (1 экз.); распечатка должна представлять собой письменную копию файла статьи; электронную копию (допустима передача по электронной почте); экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати (1 экз.); метаданные авторов: ФИО, место работы, ученое звание, должность (1 экз.);

Правила оформления текста

Текст подготавливается в текстовом редакторе MicrosoftWord. Статья должна предусматривать разделы: «Введение», «Постановка задачи», «Методы исследования», «Обсуждение результатов», «Вывод». Объем непосредственно содержания статьи должен составлять не менее 9 -10 страниц машинописного текста. Формулы подготавливаются во встроенном редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType. Шрифтовое начертание обозначений в формулах, в таблицах и в основном тексте должно быть полностью идентичным. Ссылки на формулы и таблицы даются в круглых скобках, ссылки на использованные источники (литературу) - в квадратных скобках. Формат бумаги А4. Параметры страницы: поля - левое 3 см, верхнее и нижнее 2 см, правое 1,5 см; колонтитулы отсутствуют.

Элементы заглавия публикуемого материала

- УДК
- Перечень авторов (разделяется запятыми, инициалы после фамилий, на русском и английском языке); выравнивание по центру.
- Название статьи (на русском и английском языке).
- Резюме (Abstract) – 200-250 слов, характеризующих содержание статьи (на русском и английском языке).
- Ключевые слова (keywords) 5-10 слов или словосочетаний, отражающих содержание статьи (на русском и английском языке).

Каждый элемент заглавия приводится, начиная с новой строки; выравнивание проводится по центру. **Основной текст** Шрифт TimesNewRoman 12 pt, выравнивание по ширине, первая строка с отступом 1,25 см, межстрочный интервал - 1.

Библиографический список

В статье указывается строка с текстом «**Библиографический список**». Библиографический список на русском языке выполняется по ГОСТ Р 7.0.5 -2008.

Библиографический список должен составлять не менее 20 наименований источников литературы, среди которых от 30-70 % ссылок на иностранные источники. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Обязательно цитирование современных работ, изданных по тематике статьи за последние 5 лет. Доля ссылок на статьи авторов рукописи, изданных ранее, не должна превышать 20% от общего количества ссылок. Библиографический список обязательно должен быть переведен на английский язык. «References» должен быть составлен по стандарту «Ванкувер». Ссылки на материалы, размещенные на электронных носителях, следует допускать в крайнем случае. Редакция оставляет за собой право потребовать от автора замены ссылки, если на момент обработки статьи по указанному адресу материал будет отсутствовать.

Справка об авторах

Включает для каждого автора фамилию, имя, отчество (полностью), ученую или академическую степень, ученое звание, ORCID, название и полный адрес места работы. Обязательно указывается адрес электронной почты. Сведения представляются на русском и английском языках.

Верстка формул

Формулы подготавливаются во встроенном редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType; нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи; использование при нумерации букв и других символов не допускается. Выписанные в отдельную строку формулы выравниваются по середине строки, номер заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю текста. Все впервые встречающиеся в формуле обозначения должны быть расшифрованы сразу после формулы.

Верстка рисунков

Рисунки, представляющие собой графики, схемы и т. п., должны быть выполнены в графических векторных редакторах (встроенный редактор Microsoft Word, CorelDraw, Microsoft Visio и т. п.). Использование точечных форматов (.bmp, .jpeg, .tif, .html) допустимо только для рисунков, представление которых в векторных форматах невозможно (фотографии, копии экрана монитора и т. п.). Название рисунка указывается на русском и английском языках.

Верстка таблиц

Таблица состоит из следующих элементов: нумерационного заголовка (слова «Таблица» и ее номера арабскими цифрами); шапки (заголовочной части), включающей заголовки граф (объясняют значение данных в графах); боковика (первой слева графы) и прографки (остальных граф таблицы). Название таблицы указывается на русском и английском языках.

Требования к рецензированию и хранению рецензий научных статей, поступивших в редакцию журнала

Научная статья, поступившая в редакцию журнала, рассматривается ответственным редактором на соответствие тематике и направлениям журнала, правилам оформления и наличие сопроводительных документов. Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в редакции издания в течение 5 лет. При поступлении соответствующего запроса редакция вправе направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования РФ.

План-график издания журнала

Выпуск 1 (март) – прием статей до 31 декабря предыдущего года; Выпуск 2 (июнь) – прием статей до 31 марта текущего года; Выпуск 3 (сентябрь) – прием статей до 30 июня текущего года; Выпуск 4 (декабрь) – прием статей до 30 сентября текущего года.

Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются. Рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлгией окончательного текста статьи.

Адрес редакционного совета: 367026, РД, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «ДГТУ», Учебно-лекционный корпус 2, редакция журнала «Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки». Технические вопросы можно выяснить по электронному адресу: aidaesetova@rambler.ru и по телефону 8(8722)62-39-64, +79280504268

FORMATTING REQUIREMENTS FOR PAPERS

Electronic copies are used when laying out the journal. Computer processing is used for line and halftone (grayscale) graphics. The journal is produced by offset printing technology. Therefore, the following should be submitted to the editor: a printout of the manuscript (2 copies.); the printout should be a hard copy of the electronic article file; electronic copy (e-mail is acceptable); an expert opinion supporting the article's suitability for publication (1 copy); Information about authors: Name, place of work, academic rank, position.

Guidance for the preparation of texts

The text should be prepared in Microsoft Word. The article must include sections entitled: “**Introduction**”, “**Background**”, “**Methods**”, “**Results and Discussion**”, “**Conclusion**”. The article itself is supposed to comprise at least 9-10 if typewritten pages. Formulae should be prepared in Microsoft Word's built-in equation editor or MathType. Font symbols used in formulae, tables and in the main text must be completely identical. References to formulae and tables are given in round brackets; references to the sources referred to (literature) – in square brackets.

Paper size – A4. Page setup: margins – left 3 cm, top and bottom – 2 cm, right – 1.5 cm; no headers or footers.

Elements of the title of the published material

- UDC / LBC
- List of authors (separated by commas; initials after surnames; in Russian and English); alignment *right*.
- Title of the article (in Russian and English).
- Abstract – 200-250 words or characters describing the content of the article (in Russian and English).

- **Keywords** – 5-10 words or phrases that reflect the content of the article (in Russian and English). Each title element should start on a new line; aligned centre.

Body text. Font TimesNewRoman 12 pt, full justification, first line with 1.25 cm indentation, line spacing – 1.

Bibliography

The bibliography list should be entitled References. References in Russian prepared according to GOST R 7.0.5 -2008.

The reference list is considered to include at least 20 names of literature sources, including 30–70% of references to foreign sources. References to unpublished works are not permitted. Only recent works on the subject of the article published within the past 5 years should be cited. The proportion of references to articles previously published by the authors should not exceed 20% of the total number of references. The bibliography must be translated into English. “References” should be drawn up according to the “Vancouver” standard. Please indicate your chosen standard when formulating the bibliography. Links to material on electronic media shall be allowed as a last resort. The editors reserve the right to require a replacement reference from the author if an item is absent at a specified address at the time of processing of the article.

Information about authors

For each author, the following information should be provided: first name, middle name (or patronymic) and last name, scientific or academic degree, academic title, brief academic biography (no more than 5-6 lines), name and full address of place of work. The specification of an email address is mandatory.

Composition of formulas

Formulas should be prepared in the built MicrosoftWord equation editor or MathType Editor; only those formulas that are referenced in the text should be numbered; the use of letters or other characters is not permitted when enumerating equations. Formulas written out on a separate line are aligned to the middle of the line; their respective numbers shall be in parentheses and right-aligned. All symbols occurring in the formula for the first time must be decoded immediately after the formula.

Layout of figures

Drawings, consisting of graphs, charts, etc. should be prepared in graphic vector editors (the internal editor of MicrosoftWord, CorelDraw, MicrosoftVisio etc.). The use of bitmap formats (.bmp, .jpeg, .tif) is only permissible for graphics whose presentation is not possible in vector formats (photos, screenshots, etc.).

Layout of tables

A table should consist of the following elements: numerical title (the word “Table” and its number in Arabic numerals); title (header section) including column headings (explaining the meaning of the data in the columns); side heading (the first column on the left) and the table body (the other columns of the table).

Reviewing requirements for and saving of scientific article reviews, received by the journal editorial staff

A scientific article received by the editorial office is considered by the responsible editor in terms of its compliance with topics and directions of the magazine, formatting guidelines and availability of supporting documents. The editorial staff carries out a review of all incoming materials to the editor with a view to peer review. All reviewers are acknowledged experts on the topic of the peer-reviewed material. Reviews are stored at the editorial office for 5 years. On receipt of a proper request, editorial staff have the right to submit copies of reviews to the RF Ministry of Education and Science.

Publication schedule

Issue 1 (March) – articles accepted until 31 December of the previous year; Issue 2 (June) – articles accepted until March 31 of the present year; Issue 3 (September) – articles accepted until 30 June of the present year; Issue 4 (December) – articles accepted until September 30 of the present year; The Editorial Board reserves the right to make editorial changes which do not distort the main content of the article.

Articles that do not conform to formatting guidelines will not be taken into consideration. Manuscripts and electronic media will not be returned. The date of acceptance shall be deemed to be the date of receipt of the final text by the editorial board. Address of the editorial board: 70 Imama Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Daghestan, Russia. Daghestan State Technical University, Tutorial-Lecture Building 2, Editorial Board «Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences». Technical questions can be clarified by e-mail: aidaesetova@rambler.ru or by telephone 8 (8722) 62-39-64; +79280504268.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation



ВЕСТНИК

ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Махачкала, Том 50– №2 – 2023.

HERALD

OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES

Makhachkala, Volume 50, No.2. 2023.

Верстка: Красикова А.В., Бирюкова И.А.

Перевод: Эсетова А.М.

Адрес редакции:

367026, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный
технический университет»

Тел./факс (8722) 623715

(8722) 623964

E-mail: vestnik.dgtu@mail.ru Website: <http://vestnik.dgtu.ru>

Layout: Krasikova A.V., Biriukova I.A.

Translation: Esetova A.M.

Editorial and Publisher address: 70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Daghestan, Russia.

FSBEE HE «DSTU»

Tel./fax (8722) 623715

(8722) 623964

«БЕСПЛАТНО»

Подписано в печать 01.07.2023г. Сдано в печать 15.07.2023г.

Формат 60x84 ¹/₈. Гарнитура «Times». Бумага офсетная

Тираж 500. Усл. п.л. 23,25 Уч. изд.л. 17,0207

Заказ № 27723

Отпечатано в типографии ИП Копыльцов П.И.

394052, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Маршала Неделина, д. 27, кв. 56.

Тел.: 89507656959. E-mail: Kopyltsov_Pavel@mail.ru