

ISSN (Print) 2073-6185

ISSN (On-line) 2542-095X

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 51, № 1, 2024.

ВЕСТНИК

**ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Volume 51, No.1, 2024.

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 технологий 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). Категория 2.

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», 2024.

The research journal is registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications (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). Category 2.

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

© Founder and Publisher Daghestan State Technical University, 2024.



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

ВЕСТИК ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. ТОМ 51, № 1 2024

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)

Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Том 51, № 1 Махачкала, 2024. 228с.

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
Х.М. Гаджиев, С.М. Гаджиева, П.С. Магомедова, А.М. Курбанов. Энергосберегающий термоэлектрический генератор для питания аппарата охлаждения тепловыделяющих электронных компонентов.....	6
О.В. Евдулов, И.Ю. Аминова, Г.И. Аминов, И.Г. Аминов, Г.А. Муталипова. Термоэлектрическое устройство для транспальпебральной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека.....	14
Е.И. Страшко, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо. Методика охлаждения центрального процессора.....	22
Информационные технологии и телекоммуникации.....	31
Т.Г. Асланов, С.А. Ибрагимов. Исследование зависимостей антенны Вивальди с резонатором в программном комплексе электродинамического моделирования.....	31
В.В. Афонин, В.В. Никулин. Эвристическое принятие решений выбора моделей дронов по заданным характеристикам.....	40
В.А. Воеводин, Н.А. Крахотин. Методы оценивания связности неориентированного двухполюсного помеченного графа с учетом деструктивного воздействия внешних угроз на его вершины.....	46
Р.В. Гусейнов, П.А. Дадаева, М.М. Шабазов, М.Т. Муталибов, М.Р. Ахмедова. Особенности математического моделирования безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах.....	61
И.Г. Дровникова, А.Д. Попова. Характеристика дефектов безопасности и анализ критичности уязвимостей в программном обеспечении автоматизированных систем органов внутренних дел.....	68
А.И. Дубровина, Мустафа Х. Алкорди. Обнаружение вируса «Telegram Rat».....	79
В.А. Егунов, В.С. Сурин, П.С. Ступницкий, Р.Д. Ахметова. Исследование эффективности методов компрессии данных в реляционных и NoSQL СУБД.....	87
Р.А. Жилин, Р.В. Никулин, В.Ю. Лазарев. Задача разработки системы поддержки принятия решений для расчета ведомственной оценки административной деятельности полиции.....	95
А.С. Кечеджиев, О.Л. Цветкова. Исследование обнаружения аномалий с использованием Isolation Forest в машинном обучении.....	106
В.И. Кураедов. Применение генетического алгоритма для оптимизации процесса автоматической генерации тестовых шаблонов.....	113
И.И. Лившиц. Проблемы подготовки специалистов в области информационной безопасности.....	123
Д.И. Лобач. Об оценке групповых аспектов влияния человеческого фактора на безопасность технических систем.....	132
А.И. Магомедов, И.А. Магомедов, М.Н. Хидивов, М.Ш. Усманов. Структурная организация многоуровневой интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг с повышенной живучестью.....	142
А.В. Мельников, А.А. Караваев, А.О. Железняков. Анализ основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения.....	153
У.А. Михалёва. Применение миварных экспертных систем в борьбе с телефонным мошенничеством.....	166
А.Д. Попов, А.Н. Никитенко. Принципы сбора данных для построения защищенной инфраструктуры предприятия на базе SIEM систем.....	173
Строительство и архитектура.....	180
Э.К. Агаханов, М.К. Агаханов, Е.В. Труфанова, Д.А. Высоковский, А.З. Джабраилов. Влияние конструктивных решений при динамическом расчете каркаса здания сложной формы.....	180
К.В. Важаев, В.А. Мартяшева, А.Б. Аллабердин, И.С. Хамидуллин, Т.Т. Муллоджанов, Ю.М. Хабилов. Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт с системой рекуперации вторичной тепловой энергии.....	187
Е.В. Корнеева. Механохимическая активация сталеплавильного шлака для получения бесцементного композиционного вяжущего.....	193
А.А. Крутилин, Ф.П. Потапов, Н.А. Инькова, О.К. Пахомова. Совместное влияние различного состава мелющих тел и поверхностно-активного вещества на эффективность процесса измельчения клинкера.....	200
А.А. Олейников, К.Н. Тимофеева. Система контроля расхода тепловой энергии в контуре горячего водоснабжения в составе системы управления умным домом.....	206
Т.А. Хежев, Г.Н. Хаджишалапов, А.В. Журтов, А.А. Джанкулаев, Р.Г. Раджабов. Экспериментально-теоретические исследования строительно-технических свойств огнезащитных вермикулитобетонных композитов.....	215
Требования к оформлению статей.....	225

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 1 , N o . 1 , 2 0 2 4 .

Editor-in-Chief: Rasul M. Aliev, Dr. Sci. (Eng.), Professor,, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; https://orcid.org/0000-0002-3061-4121 Deputy Editor: Aida M. Esetova, Dr. Sci. (Econom.), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; https://orcid.org/0000-0003-1093-5507 Editorial Board: Scientific rubric «Energy and Electrical Engineering» Executive editor: Oleg V. Evdulov, Dr. Sci. (Eng.), Aassoc. Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Ganapi J. Akhmedov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Alexander P. Ivanov, Dr. Sci. (Mathematics and Physics), Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny, Russia; 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; Dmitry N. Kobzareno, 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; Alexander A. Krugljakow, 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; Magomed Kh. Magomedov, Dr. Sci. (Mathematics and Physics), General Director, "SAUNO" Ltd. Moscow, Russia; Gadzhimet K. Safaraliyev, Dr. Sci. (Mathematics and Physics), Professor, Scientific Director of the «Microelectronics and Nanotechnology» Research Institute, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; 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; Scientific rubric «Information Technology and Telecommunications» Executive editor: Vladimir B. Melekhin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Mahir M. Bashirov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan; Arkady N. Larionov, Dr. Sci. (Economics), Professor, General Director LLC Research Center «Strategy», Moscow, Russia Igor E.Lobanov, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia; Mher V. Markosyan, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of Yerevan Research Institute of Communication Facilities, Yerevan, Republic of Armenia; 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.	Research areas 2.4.8. Machines and devices, processes of refrigeration and cryogenic equipment (Technical Sciences), 2.3.1. System analysis, management and information processing (Technical Sciences), 2.3.3. Automation and management of technological processes and production (Technical Sciences), 2.3.4. Management in organizational systems (Technical Sciences), 1.2.2. Mathematical modeling, numerical methods and program complexes (Technical Sciences), 2.3.6. Methods and systems for information security, information security(Technical Sciences), 2.3.7.Computer modeling and design automation (Technical sciences) 2.1.3.Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (Technical Sciences), 2.1.5. Building materials and products (Technical Sciences), 2.1.9.Construction mechanics (Technical Sciences),
Scientific rubric «Building and architecture» Executive editor: Gadzhimurad N.Khadzhishalapov, 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. Djanzakov, 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;	Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science.Vol. 51, No.1 Makhachkala, 2024–228p. Published by Decision of the Academic Council Daghestan State Technical University Edition and Publisher Address: 70 I. Shamil Ave., Makhachkala, the Republic of Daghestan 367026, Russia. Daghestan State Technical University Tel./fax (8722)623715 (8722)623964

CONTENTS

Energy and Electrical Engineering.....	6
H.M. Gadzhiev, S.M. Gadzhieva, P.S. Magomedova, A.M. Kurbanov. Energy-saving thermoelectric generator for powering the cooling apparatus of heat-generating electronic components.....	6
O.V. Evdulov, I.Yu. Aminova, G.I. Aminov, I.G. Aminov, G. A. Mutalipova. Thermoelectric device for transpalpebral hypothermia of the anterior segment of the human eyeball.....	14
E.I. Strashko, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo. Methods of CPU cooling.....	22
Information Technology and Telecommunications.....	31
T.G. Aslanov, S.A. Ibragimov. Investigation of the dependencies of the Vivaldi antenna with a resonator in the electrodynamic modeling software complex.....	31
V. V. Afonin, V.V. Nikulin. Heuristic decision making selection of drone models according to specified characteristics.....	40
V.A. Voevodin, N.A. Krahotin. Methods for assessing the connectivity of an undirected bipolar labeled graph taking into account the destructive impact of external threats on its vertices.....	46
R.V. Guseynov, P.A. Dadaeva, M.M. Shabozov, M.T. Mutalibov, M.R. Akhmedova. Features of mathematical modeling of road safety on highways.....	61
I.G. Drovnikova, A.D. Popova. Characterization of security defects and analysis of vulnerability criticality in software for automated systems of internal affairs bodies.....	68
A.I. Dubrovina, Mustafa H. Alcordi. Detection of «Telegram Rat» virus.....	79
V.A. Egunov, V.S. Surin, P.S. Stupnitskiy, R.D. Akhmetova. Research on the effectiveness of data compression methods in relational and NoSQL DBMS.....	87
R.A. Zhilin, R.V. Nikulin, V.Yu. Lazarev. The task of developing a decision support system for calculating departmental assessment of police administrative activities.....	95
A.S. Kechedzhiev, O.L. Tsvetkova. Anomaly detection research using Isolation Forest in Machine Learning.....	106
V.I. Kuraedov. Applying Genetic Algorithm for test pattern generation process optimization.....	113
I.I. Livshits. Problems of training specialists in the field of information security.....	123
D. I. Lobach. About the assessment of group aspects of the human factor influence on safety of technical systems.....	132
A.I. Magomedov, I.A. Magomedov, M.N. Khidirov, M.Sh. Usmanov. Structural organization of a multilevel intelligent utility metering system with increased survivability.....	142
A.V. Melnikov, A.A. Karavaev, A.O. Zheleznyakov. Analysis of the main approaches to modeling management processes for special-purpose organizational and technical systems.....	153
U.A. Mikhaleva. Application of mivar expert systems in the fight against telephone fraud.....	166
A.D. Popov, A.N. Nikitenko. Principles of data collection for building a secure enterprise infrastructure based on SIEM systems.....	173
Building and Architecture.....	180
E.K. Agakhanov, M.K. Agakhanov, E.V. Trufanova, D.A. Vysokovsky, A.Z. Dzhabrailov. Influence of design solutions during dynamic calculations building frame of complex shape.....	180
K.V. Vazdaev, V.A. Martyasheva, A.B. Allaberdin, I.S. Khamidullin, T.T. Mullodzhanov, Y.M. Khabirov. Automated individual heat point with secondary heat energy recovery system.....	187
E.V. Korneeva. Mechanochemical activation of steelmaking slag to obtain a cementless composite binder.....	193
A.A. Krutinin, F.P. Potapov, N.A. Inkova, O.K. Pakhomova. The combined influence of different compositions of grinding media and surfactants on the efficiency of the clinker grinding process.....	200
A.A. Oleynikov, K.N. Timofeeva. Thermal Energy consumption monitoring System in the Hot water Supply circuit as part of the Smart Home management system.....	206
T.A. Khezhev, G.N. Khadzhashalapov, A.V. Zhurtov, A.A. Dzhankulaev, R.G. Radjabov. Experimental and theoretical studies of the construction and technical properties of fire-retardant vermiculite-concrete composites.....	215
Formatting requirements for papers.....	225

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING



УДК 620.92

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-6-13

Оригинальная статья /Original article

**Энергосберегающий термоэлектрический генератор для питания аппарата
охлаждения тепловыделяющих электронных компонентов**

Х.М. Гаджиев, С.М. Гаджиева, П.С. Магомедова, А.М. Курбанов

Дагестанский государственный технический университет,

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

Резюме. Цель. В статье рассматриваются энергосберегающие термоэлектрические генераторы для автономного питания аппарата охлаждения тепловыделяющих электронных компонентов. **Метод.** Применены методы моделирования теплообменных процессов при функционировании термоэлектрических генераторов на основе эффекта Зеебека. Нагретые и охлажденные зоны генератора топологически разнесены в пространстве для уменьшения паразитного кондуктивного переноса. Полупроводниковые ветви изготовлены по тонкопленочной технологии для уменьшения паразитных Джоулевых тепловыделений. Материалы спаев и электродов подобраны с учетом энергии электронов. **Результат.** Энергосбережение процессов повысилось в термоэлектрических генераторах за счет снижения паразитных Джоулевых тепловыделений, уменьшения паразитного кондуктивного переноса и дополнительного получения энергии от металлических электродов. **Вывод.** Для повышения энергосбережения термоэлектрических генераторов для автономного питания аппарата охлаждения тепловыделяющих электронных компонентов необходимо нагретые и охлажденные зоны генератора топологически разнести в пространстве на разные уровни, причем полупроводниковые ветви изготовить по тонкопленочной технологии и дополнительно охлаждать вентиляцией спаи генератора, а на нагретых спаях дополнительно рекуперировать энергию от тепловыделяющих компонентов.

Ключевые слова: энергосбережение, аппарат охлаждения, термоэлектрический генератор, эффект Зеебека

Для цитирования: Х.М. Гаджиев, С.М. Гаджиева, П.С. Магомедова, А.М. Курбанов. Энергосберегающий термоэлектрический генератор для питания аппарата охлаждения тепловыделяющих электронных компонентов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):6-13. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-6-13

Energy-saving thermoelectric generator for powering the cooling apparatus of heat-generating electronic components

H.M. Gadzhiev, S.M. Gadzhieva, P.S. Magomedova, A.M. Kurbanov

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The article discusses energy-saving thermoelectric generators for autonomous power supply of the cooling apparatus of heat-generating electronic components. **Method.** Methods of modeling heat exchange processes in the operation of thermoelectric generators based on the Seebeck effect are applied. The heated and cooled zones of the generator are topologically spaced to reduce parasitic conductive transport. The semiconductor branches are manufactured using thin-film technology to reduce parasitic Joule heat emissions. The materials of the junctions and electrodes are selected taking into account the energy of the electrons. **Result.** Energy saving of processes has increased in thermoelectric generators by reducing parasitic Joule heat generation, reducing parasitic conductive transfer and additional energy generation from metal

electrodes. **Conclusion.** The conducted studies allow us to conclude that in order to increase the energy saving of thermoelectric generators for autonomous power supply of the cooling apparatus of the heat-generating electronic components, it is necessary to topologically separate the heated and cooled zones of the generator into different levels in space, and to manufacture semiconductor branches using thin-film technology and additionally cool the generator junctions with ventilation, and additionally recover energy from the heat-generating components on the heated junctions.

Keywords: energy saving, cooling device, thermoelectric generator, Seebeck effect

For citation: H.M. Gadzhiev, S.M. Gadzhieva, P.S. Magomedova, A.M. Kurbanov. Energy-saving thermoelectric generator for powering the cooling apparatus of heat-generating electronic components. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):6-13. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-6-13

Введение. Современный уровень военно-политической обстановки в мире предъявляет новые требования к проектируемой аппаратуре военного и гражданского назначения. Как показывает опыт проведения современных гибридных войн и специальной военной операции, наибольшей актуальностью в современных условиях обладают системы противовоздушной обороны для борьбы с дронами и другими летательными аппаратами [1-10]. Опыт применения крылатых ракет, беспилотных летательных аппаратов, квадрокоптеров и других летательных аппаратов показывает, что пеленгацию перехватов этих объектов наиболее целесообразно осуществлять на дальних подступах к охраняемым объектам [11 -17].

Эти требования подразумевают размещение средств противовоздушной обороны на территориях, где отсутствует надежное энергопитание. Применение автономных источников питания в течение длительного времени предполагает использование возобновляемых ресурсов. Наибольшей надежностью обладает источник питания в виде солнечной радиации [18]. Существуют различные способы преобразователя солнечной радиации в электричество [14-17].

Наиболее распространенным способом является использование полупроводниковых солнечных батарей [1-8]. Так же используются преобразователи на основе фотоэффекта, которые применяют металлические поверхности с низкой работой выхода электрона [9]. Все большее распространение получают термогенераторы на основе эффекта Зеебека [1-6]. Однако им присущи недостатки в виде маленького КПД [10-12].

В то же время, применение термогенератора позволяет повысить энергосбережение при интегральном использовании совместно с аппаратом охлаждения радиолокационной системой типа цифровой активной фазированной антенной решетки за счет рекуперации части тепловой энергии от мощных тепловыделяющих компонентов электронных схем [19, 20]. Разработка энергосберегающих термоэлектрических генераторов для автономного питания аппарата охлаждения тепловыделяющих электронных компонентов позволяет повысить энергоэффективность процессов в термоэлектрических генераторах за счет снижения паразитных Джоулевых тепловыделений, уменьшения паразитного кондуктивного переноса и дополнительного получения энергии от металлических электродов.

Постановка задачи. Для повышения энергосбережения термоэлектрического генератора необходимо применить методы моделирования теплообменных процессов при функционировании термоэлектрических генераторов на основе эффекта Зеебека [15]. Нагретые и охлажденные зоны генератора топологически надо разнести в пространстве для уменьшения паразитного кондуктивного переноса.

Полупроводниковые ветви надо изготовить по тонкопленочной технологии для уменьшения паразитных Джоулевых тепловыделений. Материалы спаев и электродов подбирать с учетом энергии электронов. Необходимо интегрально использовать термогенератор совместно с аппаратом охлаждения за счет рекуперации части тепловой энергии от мощных тепловыделяющих компонентов электронных схем [13].

Методы исследования. Если конструктивно изменить термогенератор и топологически пространственно в разных местах установить нагретую и охлаждаемую зону, то можно повысить энергосбережение термогенератора за счет уменьшения паразитного кондуктивного теплопереноса. Изготовление полупроводниковых ветвей в виде тонких пленок позволит уменьшить Джоулевые потери [11]. Методика уменьшения высоты полупроводниковых ветвей оправдана за счет уменьшения сопротивления протекания тока. Но эта же методика при снижении высоты ветвей теоретически увеличит паразитный кондуктивный перенос, однако, за счет размещения в разных местах металлических электродов зон нагрева и охлаждения этот фактор будет нейтрализован. Методика рекуперации энергии от тепловыделяющих компонентов электронных схем также повысит энергоэффективность источника питания [8].

Обсуждение результатов. В результате проведенных исследований очевидно, что применение термоэлектрического генератора совместно с аппаратом охлаждения позволит рекуперировать паразитные тепловыделения электронных мощных полупроводниковых компонентов радиолокационной системы и повысить энергоэффективность в целом. Для того, чтобы термоэлектрический генератор работал с большей эффективностью и уменьшить уровень паразитного кондуктивного теплопереноса необходимо в различных уровнях в различных плоскостях разместить p и n полупроводниковые ветви (рис.1).

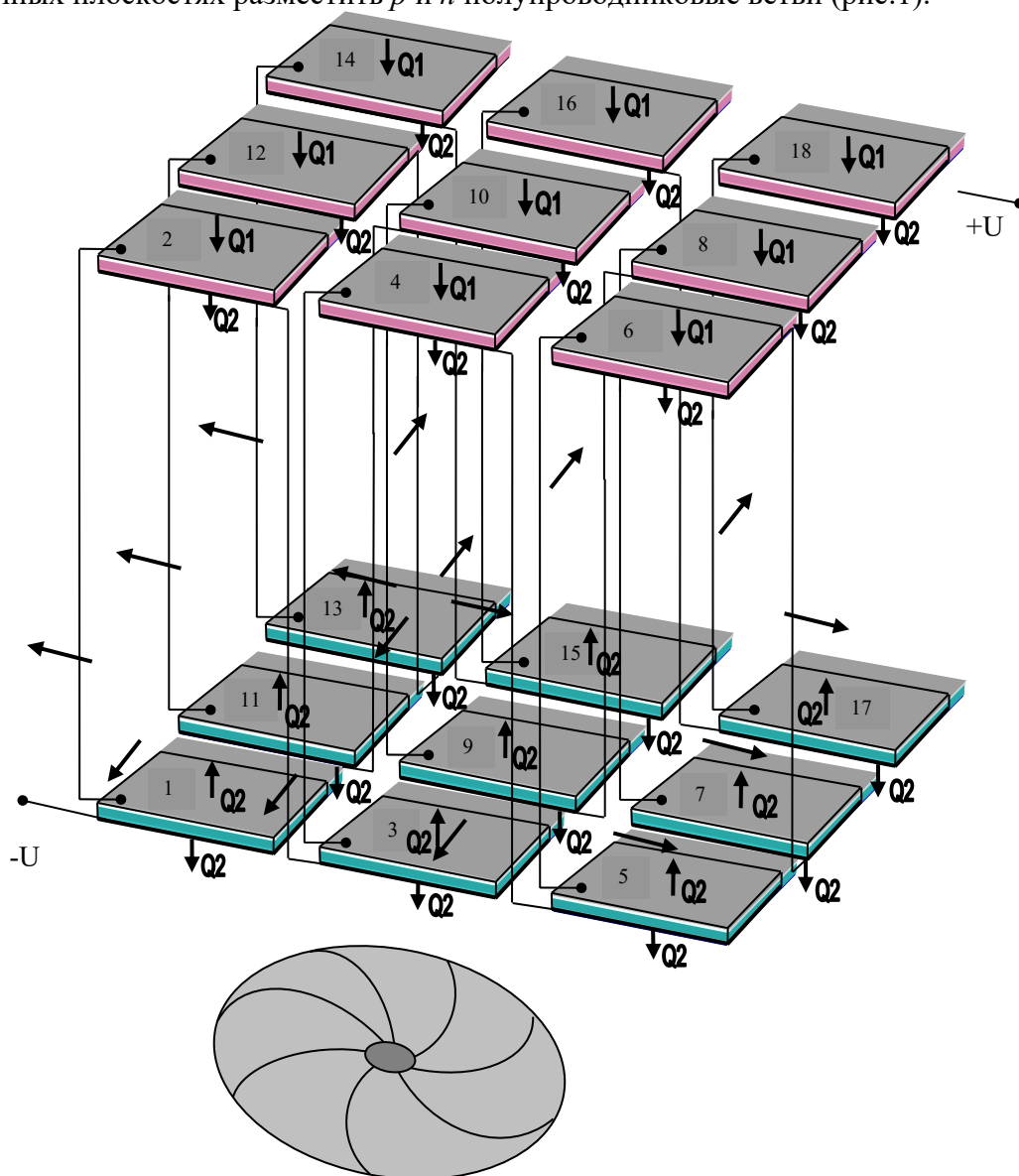


Рис.1. Энергоэффективный термоэлектрический генератор
 Fig.1. Energy efficient thermoelectric generator

Это делает возможным уменьшение кондуктивного переноса за счёт того, что металлические спаи и электроды, которые соединяют полупроводниковые ветви, будут иметь большую длину, и материал этих полупроводниковых ветвей будет так стыковаться с материалом этих электродов, что там будут возникать термоэлектрические явления, соответствующие увеличению тепловыделения или поглощению тепла.

На рис. 1 изображена структура энергоэффективного термоэлектрического генератора. Для того, чтобы уменьшить Джоулевы потери целесообразно выполнить полупроводниковые ветви в виде тонких плёнок. В этом случае сопротивление протекающему току будет минимальное, и тепловыделения будут незначительными. Однако, обратным эффектом будет то, что перепад температур на такой тонкой плёнке будет незначительным и паразитный перенос будет очень большим. Но, если сделать так, что с одной стороны полупроводникового электрода будет выделяться тепло, а с другой стороны поглощаться, то это приведёт к тому, что можно разнести уровни выделения тепла и поглощения тепла. В этом случае паразитный перенос будет устранён полностью. Кроме того, возникает дополнительный эффект от того, что у нас электроды будут вытянуты на большое расстояние, то их можно обдувать вентилятором совместно с той зоной, где нам необходимо отводить тепло. Если на обычном термогенераторе только один спай обдувался или охлаждался, то на предлагаемом термогенераторе у нас будет охлаждаться сам спай с одной стороны, этот же спай с другой стороны и вертикальные электроды с обеих сторон. В этом случае поверхность отвода тепла возрастает в несколько порядков, и эффективность термогенератора также будет повышена.

Изготовление в обычных термогенераторах холодных и горячих спаев из одного материала не позволяет получить значительного эффекта. Так как, если изготовить их из разных материалов, то можно так подобрать материалы, что при переходе из полупроводника p типа в металл, будет происходить эффект Зеебека или не будет. И, тем самым, можно так подобрать с одной стороны материал полупроводника и электрода, чтобы там эффективно происходило поглощение тепла, а с другой стороны эффективно, наоборот, выделялось тепло. Это позволяет учесть свойства электродов и повысить энергоэффективность термогенератора в целом.

Металлические спаи полупроводников и электродов нужно подбирать таким образом, что разность температур между ними будет давать максимальный эффект Зеебека, так как электроны в металле имеют энергию, отличающуюся от аналогичной энергии в полупроводнике. Рациональный выбор таких металлических спаев с учётом контактных явлений позволяет получить большую величину тока Зеебека в обоих случаях.

Для того, чтобы уменьшить Джоулевы потери целесообразно выполнить полупроводниковые ветви в виде тонких плёнок. В этом случае сопротивление протекающему току будет минимальное, и тепловыделения будут незначительными. Однако, обратным эффектом будет то, что перепад температур на такой тонкой плёнке будет незначительным и паразитный перенос будет очень большим. Но, если сделать так, что с одной стороны полупроводникового электрода будет выделяться тепло, а с другой стороны поглощаться, то это приведёт к тому, что у нас можно разнести уровни выделения тепла и поглощения тепла. В этом случае паразитный перенос будет устранён полностью. Кроме того, возникает дополнительный эффект от того, что у нас электроды будут вытянуты на большое расстояние, то их можно обдувать вентилятором совместно с той зоной, где нам необходимо отводить тепло. Если на обычном термогенераторе только один спай обдувался или охлаждался, то на предлагаемом термогенераторе у нас будет охлаждаться сам спай с одной стороны, этот же спай с другой стороны и вертикальные электроды с обеих сторон. В этом случае поверхность отвода тепла возрастает в несколько порядков, и эффективность термогенератора также будет повышена.

Изготовление в обычных термогенераторах холодных и горячих спаев из одного материала не позволяет получить значительного эффекта. Так как, если изготовить их из разных материалов, то можно так подобрать материалы, что при переходе из полупроводника p

типа в металл, будет происходить эффект Зеебека или не будет. И, тем самым, можно так подобрать с одной стороны материал полупроводника и электрода, чтобы там эффективно происходило поглощение тепла, а с другой стороны эффективно, наоборот, выделялось тепло. Это позволяет учесть свойства электродов и повысить энергоэффективность термогенератора в целом. На рис. 2 представлен аппарат охлаждения с термоэлектрическими многослойными металлическими спаями [9].

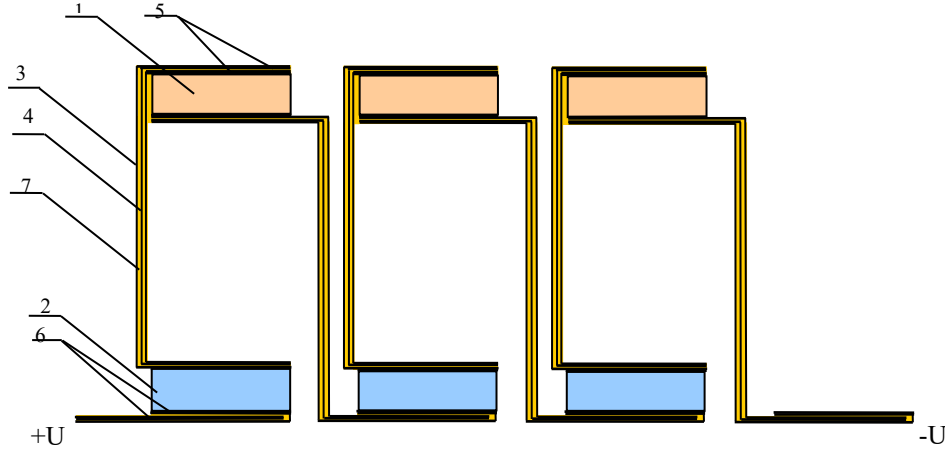


Рис. 2. Аппарат охлаждения с термоэлектрическими многослойными металлическими спаями

Fig. 2. Cooling apparatus with thermoelectric multilayer metal junctions

Аппарат для охлаждения мощных полупроводниковых тепловыделяющих компонентов представляет собой структуру многослойных электрических электродов и спаев с полупроводниковыми ветвями разного типа, размещенными топологически в разных зонах. Полупроводники p типа обозначены на рис. 2 цифрой 1. Полупроводники n типа обозначены на рис. 2 цифрой 2. Биметаллические электроды составлены из металлов 3 и 4 с различными термоэлектрическими свойствами для формирования при протекании тока охлаждающего эффекта Пельтье. Тоже относится и к спаям 5 и 6. Диэлектрик 7 предназначен для электрической изоляции электродов 3, 4 и спаев 5, 6. Для определения температуры холодного спая аппарата охлаждения необходимо найти полное сопротивление R биметаллического термоэлемента:

$$R = \frac{l_1}{S_1 \sigma_1} + \frac{l_2}{S_2 \sigma_2}, \quad (1)$$

где: l – длина;

S – площадь поперечного сечения;

σ – электропроводность у биметаллических ветвей термоэлемента.

Для нахождения K (общей теплопроводности) для двух ветвей термоэлемента:

$$K = \frac{S_1 k_1}{l_1} + \frac{S_2 k_2}{l_2}, \quad (2)$$

где: k – удельная теплопроводность.

Для холодного спая аппарата охлаждения степень отвода тепла за счет эффекта Пельтье будет соответствовать $\pi_{21}I$. Как справедливо будет по формуле Томсона степень отвода тепла равна $\alpha_{21} \left(T_M - \frac{\Delta T}{2} \right) I$, (α_{21} – дифференциальная термоэлектродвижущая сила, T_M – соответствует средней абсолютной температуре). Количество поглощаемого холодным спаем тепла равно:

$$Q = \alpha_{21} \left(T_M - \frac{\Delta T}{2} \right) I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T. \quad (3)$$

Мощность W , потребляемая термоэлементом аппарата охлаждения, равна:

$$W = \alpha_{21} \Delta T \cdot I + I^2 R. \quad (4)$$

Холодильный коэффициент аппарата охлаждения:

$$\varphi = \frac{\alpha_{21} \left(T_M - \frac{\Delta T}{2} \right) I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T}{\alpha_{21} \Delta T I + I^2 R}. \quad (5)$$

φ принимает максимальное значение, при условии достижения элементами размеров, соответствующих следующему значению:

$$\frac{l_1 S_2}{l_2 S_1} = \left(\frac{\sigma_1 k_1}{\sigma_2 k_2} \right)^{1/2}. \quad (6)$$

При этом

$$KR = \left[\left(\frac{k_1}{\sigma_1} \right)^{1/2} + \left(\frac{k_2}{\sigma_2} \right)^{1/2} \right]^2 \quad (7)$$

А также

$$\varphi = \frac{\alpha_{21} \left(T_M - \frac{\Delta T}{2} \right) (IR) - \frac{1}{2} (IR)^2 - \Delta T \left[\left(\frac{k_1}{\sigma_1} \right)^{1/2} + \left(\frac{k_2}{\sigma_2} \right)^{1/2} \right]^2}{\alpha_{21} \Delta T (IR) + (IR)^2}. \quad (8)$$

После дифференцирования φ по IR получим оптимальный ток аппарата охлаждения, соответствующий разности температур:

$$(IR)_{\text{опт}} = \frac{\alpha_{21} \Delta T}{\sqrt{1 + ZT_M} - 1}, \quad (9)$$

откуда:

$$Z = \frac{\alpha_{21}^2}{\left[\left(\frac{k_1}{\sigma_1} \right)^{1/2} + \left(\frac{k_2}{\sigma_2} \right)^{1/2} \right]^2}. \quad (10)$$

После подстановки IR из уравнения (6) в (7), получим максимальную характеристику эффективности аппарата охлаждения, которая будет выражаться как:

$$\varphi_{\text{макс}} = \frac{T_M (\sqrt{1 + ZT_M} - 1)}{\Delta T (\sqrt{1 + ZT_M} + 1)} - \frac{1}{2}. \quad (11)$$

В том случае, когда Z стремится к бесконечности получим φ из (11), которая приближается к $(T_M - \Delta T/2)/\Delta T$. Соотношение (11) позволяет определить максимальную разность температур аппарата охлаждения. Отсюда следует:

$$\Delta T_{\text{макс}} = 2T_M \frac{\sqrt{1 + ZT_M} - 1}{\sqrt{1 + ZT_M} + 1}. \quad (12)$$

$$Q_u = (\alpha_1 - \alpha_2) T_1 I - \frac{1}{2} I^2 l \left(\frac{1}{\sigma_1 s_1} + \frac{1}{\sigma_2 s_2} \right) - \frac{T_1 - T_0}{l} (x_1 s_1 + x_2 s_2) \quad (13)$$

Оптимальные условия получить можно в результате экспериментов, комбинируя различные полупроводниковые материалы и различные металлы.

Также можно применять биметаллические конструкции электродов аппарата охлаждения, когда переход с p полупроводником будет с помощью одного металла осуществлен, а с n полупроводником с помощью другого материала. Также можно осуществить соединение полупроводников между собой в виде плоских пластин. В этом случае обдувать эти плоские пластины и отводить тепло также можно с большей эффективностью.

Вывод. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что для повышения энергосбережения термоэлектрических генераторов для автономного питания аппаратов охлаждения

необходимо нагретые и охлажденные зоны генератора топологически разнести в пространстве на разные уровни, причем полупроводниковые ветви изготовить по тонкопленочной технологии и дополнительно охлаждать вентиляцией спаи генератора, а на нагретых спаях дополнительно рекуперировать энергию от тепловыделяющих компонентов электронных схем.

Библиографический список:

1. Патент РФ №2335825. Термоэлектрическое устройство с высоким градиентом температур / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М. // 10.10.2008.
2. Патент РФ № 2417356. Способ оптимизации режимов работы термоэлектрической батареи с учетом геометрических и электротеплофизических параметров при импульсном питании / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. // Б.И. № 12, 2011.
3. Патент РФ №2449417. Способ охлаждения полупроводниковых тепловыделяющих электронных компонентов через биметаллические термоэлектрические электроды / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. // Б.И. № 12, 2012.
4. Патент РФ № 2565523. Устройство охлаждения на основе нанопленочных термомодулей/ Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. // Б.И. № 29, 2015.
5. Патент РФ № 2575614. Термоэлектрический генератор с высоким градиентом температур между спаями / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. // Б.И. № 5, 2016.
6. Патент РФ № 2595911. Термоэлектрический тепловой насос с нанопленочными полупроводниковыми ветвями / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. // Бюл. №24, 2016.
7. Патент РФ № 2575618. Термоэлектрическое устройство с тонкопленочными полупроводниковыми ветвями и увеличенной поверхностью теплоотвода / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. // Бюл. №5, 2016.
8. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Т.2. Термоэлектрические преобразователи энергии. Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. 386с.
9. Гаджиев Х.М., Исмаилов Т.А. Полупроводниковые термоэлектрические энергоэффективные устройства / Санкт-Петербург: Лань, 2020. 124 с.
10. Гаджиев Х.М., Ахмедов М.Э., Гаджиева С.М., Курбанова П.А. Термоэлектрические процессы в экономичном светотранзисторе / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала: ФГБОУ ВПО ДГТУ, 2019. Т.46. №3. С.8-19.
11. Гаджиев Х.М., Курбанов И.М., Гаджиев Д.С. Декомпрессионный полупроводниковый термоэлектрический опреснитель / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала: ФГБОУ ВПО ДГТУ, 2019. Т.46. №4. С.8-18.
12. Исмаилов Т.А., Гаджиева С.М. Термоэлектрические полупроводниковые интенсификаторы теплопередачи // Изв. Вузов, Приборостроение. Спб. 1994. Т.37. № 11-12. С.74-75.
13. Исмаилов Т.А., Гаджиева С.М. Экспериментальные исследования полупроводниковых термоэлектрических интенсификаторов теплопередачи контактного типа // Изв. Вузов, Приборостроение. СПб. 1995. Т.38. №3-4. С.51-53.
14. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М. Термоэлектрические полупроводниковые системы теплоотвода и охлаждающие устройства // Холодильное дело. М. 1997. №4. С.32-33.
15. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Применение полупроводниковых термоэлектрических модулей для формирования топологии температурных полей с целью термотренировки тканей человеческого организма // Мониторинг. Безопасность жизнедеятельности. СПб.: Элмор. 1997. №2. С 48-49.
16. Anatychuk L.I. Physics of Thermoelectricity. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity . 1998.
17. Harpstep Taseph W.C. Improved spacecraft heat rejection with practical thermoelectric. Energy convers. N.Y., 1980, p. 126.
18. Jianzhong Z., Tiemin W. Application of the thermoelectric cooler in the seventeenth chinesse retrievable satellite // Abstracts of the 17th Int. Conf. on Thermoelectrics, Nagoya, Japan, 1998, p.81.
19. La thermoelectricite: utisee pour le refroidissement electronique et pour lo survie dess homines travaillant en milieux extremes / Steerholm Tohn / techn.mod. 1989,81, N1-3.
20. Sulin A. Knowledge representation for TE devices engineering // Abstracts of the 17th Int/ Conf/ on Thermoelectrics, May 25-26, 1998, Nagoya, Japan, 1998, p. 82.

References

1. RF Patent No. 2335825. Thermoelectric device with a high temperature gradient. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M. 10.10.2008. (In Russ)
2. RF Patent No. 2417356. Method for optimizing the operating modes of a thermoelectric battery taking into account geometric and electrothermophysical parameters with pulsed power supply. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T. A. B.I. 2011; 12. (In Russ)
3. RF Patent No. 2449417. A method for cooling semiconductor heat-generating electronic components through bimetallic thermoelectric electrodes. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. B.I. 2012;12. (In Russ)

4. RF Patent No. 2565523. Cooling device based on nanofilm thermal modules. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. B.I. 2015; 29. (In Russ)
5. RF Patent No. 2575614. Thermoelectric generator with a high temperature gradient between the junctions. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. B.I. 2016;5. (In Russ)
6. RF Patent No. 2595911. Thermoelectric heat pump with nanofilm semiconductor branches. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Bull. 2016; 24. (In Russ)
7. RF Patent No.2575618. Thermoelectric device with thin-film semiconductor branches and an increased heat sink surface. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Bull., 2016;5. (In Russ)
8. Anatychuk L.I. *Thermoelectricity*. Thermoelectric energy converters. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity, 2003; 2: 386.
9. Gadzhiev Kh.M., Ismailov T.A. Semiconductor thermoelectric energy-efficient devices. St. Petersburg: Lan, 2020; 124. (In Russ)
10. Gadzhiev Kh.M., Akhmedov M.E., Gadzhieva S.M., Kurbanova P.A. Thermoelectric processes in an economical light transistor. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. Makhachkala: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education DSTU, 2019; 46(3):8-19. (In Russ)
11. Gadzhiev Kh.M., Kurbanov I.M., Gadzhiev D.S. Decompression semiconductor thermoelectric desalination plant. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2019;46(4):8-18. (In Russ)
12. Ismailov T.A., Gadzhieva S.M. Thermoelectric semiconductor heat transfer intensifiers. *Izv. Universities, Instrumentation*. St. Petersburg 1994; 37(11-12):74-75. (In Russ)
13. Ismailov T.A., Gadzhieva S.M. Experimental studies of semiconductor thermoelectric heat transfer intensifiers of contact type. *Izv. Universities, Instrumentation*. SPb. 1995;38(3-4):51-53. (In Russ)
14. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M. Thermoelectric semiconductor heat removal systems and cooling devices. *Refrigeration*. M. 1997; 4:32-33. (In Russ)
15. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Application of semiconductor thermoelectric modules to form the topology of temperature fields for the purpose of thermal training of tissues of the human body. *Monitoring. Life safety*. SPb.: Elmore. 1997; 2:48-49. (In Russ)
16. Anatychuk L.I. *Physics of Thermoelectricity*. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity. 1998.
17. Harpstep Taseph W.C. Improved spacecraft heat rejection with practical thermoelectric. *Energy convers*. N.Y., 1980; 126.
18. Jianzhong Z., Tiemin W. Application of the thermoelectric cooler in the seventeenth chinese retrievable satellite. *Abstracts of the 17th Int. Conf. on Thermoelectrics*, Nagoya, Japan, 1998;81.
19. La thermoelectricite: utilee pour le refroidissement electronique et pour lo survie dess homines travaillant en milieux extremes. *Steerholm Tohn / techn.mod*. 1989; 81:1-3.
20. Sulin A. Knowledge representation for TE devices engineering. *Abstracts of the 17th Int/ Conf/ on Thermoelectrics*, May 25-26, 1998, Nagoya, Japan, 1998; 82.

Сведения об авторах:

Гаджиев Хаджимурат Магомедович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники; gadjiev.xad@mail.ru

Гаджиева Солтанат Магомедовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники; gadjieva_soltanat@mail.ru

Магомедова Патимат Солтановна, аспирантка кафедры теоретической и общей электротехники; altra588@mail.ru

Курбанов Арслан Магомедович, аспирант кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники; m.kurbanov.a@mail.ru

Information about authors:

Khadzhimurat M. Gadzhiev, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Head of Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics; gadjiev.xad@mail.ru

Soltanat M. Gadzhieva, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering; gadjieva_soltanat@mail.ru

Patimat S. Magomedova, Postgraduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; altra588@mail.ru

Arslan M. Kurbanov, Postgraduate Student, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics; m.kurbanov.a@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 09.11.2023.

Одобрена после/рецензирования Revised 29.12.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 29.12.2023.

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.362:537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-14-21



Оригинальная статья /Original article

Термоэлектрическое устройство для транспальпебральной гипотермии
переднего отрезка глазного яблока человека

О.В. Евдулов¹, И.Ю. Аминова², Г.И. Аминов², И.Г. Аминов³, Г.А. Муталипова¹

¹Дагестанский государственный технический университет,

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

²Филиал «Университет Дубна» - Дмитровский институт непрерывного образования,

²141800, г. Дмитров, ул. Космонавтов, д. 33, Россия,

³НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих Минздрава России,

³123423, г. Москва, ул. Саляма Адия, д. 2, Россия

Резюме. Целью исследования является разработка конструкции термоэлектрического устройства для транспальпебральной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека. **Метод.** Описана конструкция ТЭУ для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока. Устройство включает воздействующий наконечник, сопрягаемый одной поверхностью с веком, а противоположной, с холодной поверхностью термоэлектрического модуля. Горячая поверхность контактирует с корпусом, заполненным рабочим веществом, имеющим стабильную температуру плавления, лежащую в пределах от 303 до 330 К. Прибор снабжен регулируемым источником электроэнергии с блоком управления. **Результат.** Обеспечение требуемого режима теплового воздействия, при котором температура переднего отрезка глазного яблока находится на уровне 283-288 К, может быть осуществлено путем использования в устройстве стандартного ТЭМ типа ТВ-17-1.4-1.15 производства ООО «Криотерм» (г. Санкт-Петербург). **Вывод.** Рабочий диапазон мощностей ТЭУ будет находиться в пределах 3-4 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К. Ток питания составляет 6-7 А при потребляемой мощности 13-14 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,5. Устройство может быть использовано при лечении кератитов, кератоконъюнктивитов, дистрофических состояний роговицы, переднего увеита и необскурирующего помутнения роговицы.

Ключевые слова: тепловое и транспальпебральное воздействие, термоэлектрическое устройство, термоэлектрический модуль, плавящееся вещество

Для цитирования: О.В. Евдулов, И.Ю. Аминова, Г.И. Аминов, И.Г. Аминов, Г.А. Муталипова. Термоэлектрическое устройство для транспальпебральной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):14-21. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-14-21

Thermoelectric device for transpalpebral hypothermia of the anterior segment
of the human eyeball

O.V. Evdulov¹, I.Yu. Aminova², G.I. Aminov², I.G. Aminov³, G. A. Mutalipova¹

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Branch "University of Dubna" - Dmitrov Institute of Continuing Education,

²33 Kosmonavtov St., Dmitrov 141800, Russia,

³A. N. Ryzhikh National Medical Research Center of Coloproctology,

³2 Salama Adilya St., Moscow 123423, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to develop the design of a thermoelectric device for transpalpebral hypothermia of the anterior segment of the human eyeball. **Method.** The design of a TEU for thermal impact on the anterior segment of the human eyeball is described. The

device includes an impact tip mated with one surface to the human eyelid, and the opposite surface to the cold surface of the thermo-electric module. The hot surface is in contact with a housing filled with a working substance having a stable melting point ranging from 303 to 330 K. The device is equipped with an adjustable power source with a control unit. **Result.** Ensuring the required mode of thermal exposure, in which the temperature of the anterior segment of the eyeball is at the level of 283-288 K, can be achieved by using in the device a standard TEM type TV-17-1.4-1.15 produced by Kryotherm LLC (St. Petersburg). **Conclusion.** The operating power range of the TEU will be within 3-4 W with an average temperature difference between the junctions of 45 K. The supply current is 6-7 A with a power consumption of 13-14 W. The refrigeration coefficient varies from 0.1 to 0.5. The device can be used in the treatment of keratitis, keratoconjunctivitis, dystrophic conditions of the cornea, anterior uveitis and non-obscuring corneal opacities.

Keywords: Thermal and transpalpebral effects, thermoelectric device, thermoelectric module, melting substance

For citation: O.V. Evdulov, I.Yu. Aminova, G.I. Aminov, I.G. Aminov, G. A. Mutalipova. Thermoelectric device for transpalpebral hypothermia of the anterior segment of the human eyeball. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024;51(1):14-21. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-14-21

Введение. Физические методы являются важной составной частью комплексного лечения глазных заболеваний [1-4], поскольку отличаются высокой эффективностью, простотой, надежностью и удобством реализации процедур, а также применяются как средство профилактики, лечения и борьбы с осложнениями различных офтальмологических заболеваний, характеризуются высоким лечебным эффектом. Благодаря новейшим достижениям в области медицины, физики, техники, электроники и биофизики появились новые методы физиотерапии, которые в настоящее время все шире применяются и в офтальмологии [5]. Среди современных научно-обоснованных физических методов лечения глазных болезней выделяются электролечение, водо-, свето-, грязелечение, механический массаж, ультразвуковая терапия, инфракрасное воздействие, теплолечение, в том числе криовоздействие [6,7]. Последнее имеет широкое распространение ввиду положительных свойств, как повышение трофики тканей, тонуса нервно-мышечного аппарата, улучшения крово- и лимфообращения, ускорения рассасывания отеков и инфильтратов, понижения отечности и воспалительных процессов в тканях.

Постановка задачи. В некоторых случаях терапии глазных заболеваний требуется обеспечить тепловое воздействие на орган зрения человека через закрытое веко, т.е. транспальпально [8]. Медицинская практика показывает, что проведение локальной транспальпальной гипотермии непосредственно перед и сразу после операций эксимерлазерной хирургии роговицы повышает эффективность данной операции. Методика позволяет избежать развития роговичных помутнений, приводит к лучшим визуальным и рефракционным эффектам. Для обеспечения транспальпальной гипотермии переднего отрезка глазного яблока разработано ТЭУ [9], отличающееся компактностью, экологичностью, надежностью работы [10-15] и высоким оздоровительным эффектом при реализации физиотерапевтических тепловых методик [16-18].

Целью настоящей работы является разработка конструкции ТЭУ, анализ параметров и методики использования в медицинской практике.

Методы исследования. Структурная схема ТЭУ для транспальпальной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека изображена на рис. 1.

ТЭУ состоит из корпуса 1, заполненного рабочим веществом 2, имеющим стабильную температуру плавления, лежащую в пределах от 303 до 330 K [19]. В объем рабочего вещества погружены два теплообменника 3, представляющие собой две параллельные медные пластины, соединенные между собой медными штырями, на которые насажены тонкие медные диски. Верхняя пластина каждого теплообменника 3, выступающая из корпуса 1, по двум противоположным сторонам, параллельным длинной стороне корпуса 1, имеет высту-

пы, заканчивающиеся фиксаторами 4. В тепловом контакте с этой пластиной каждого теплообменника 3 находится ТЭМ 5. К противоположным спаям ТЭМ 5 с обеспечением теплового контакта прижимается основание контактной головки 6.

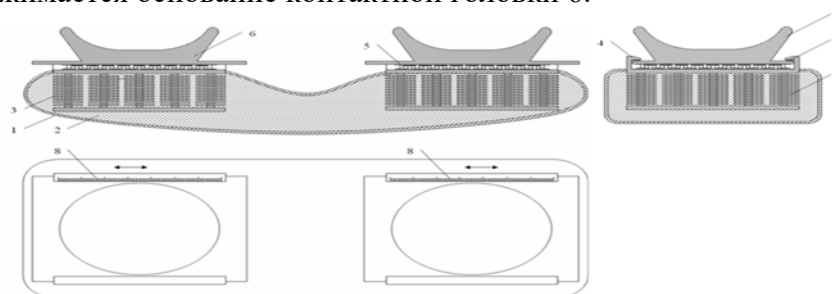


Рис. 1. Структурная схема ТЭУ для транспальпебральной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека

Fig. 1. Structural diagram of TEU for transpalpebral hypothermia of the anterior segment of the human eyeball

Прижим осуществляется с помощью упругой прокладки 7, проложенной между фиксаторами 4 и основанием контактной головки 6. На одном из фиксаторов 4 каждого теплообменника 3 нанесена размерная линейка 8, проградуированная в миллиметрах в масштабе 1:2. А на основании контактной головки 6 напротив линейки нанесена отметка, соответствующая центру контактной головки.

Работа устройства осуществляется в следующем режиме: врач выставляет контактные головки по линейкам в соответствии с межзрачковым расстоянием глаз пациента. Пациент принимает лежащее положение лицом вверх, после чего устройство накладывается контактными головками на закрытые веки. Врач выставляет температурный уровень воздействия с помощью программного блока контроля и регулировки температуры, а также время проведения процедуры. По окончании процедуры устройство выключается и подается звуковой сигнал. Процедура локальной транспальпебральной гипотермии осуществляется непосредственно перед и сразу после операции эксимерлазерной хирургии роговицы, а также во время реабилитационного периода.

Обсуждение результатов. Определены основные параметры ТЭУ. Его рабочие характеристики приведены на рис. 2-5. Графики представляют собой зависимости 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.

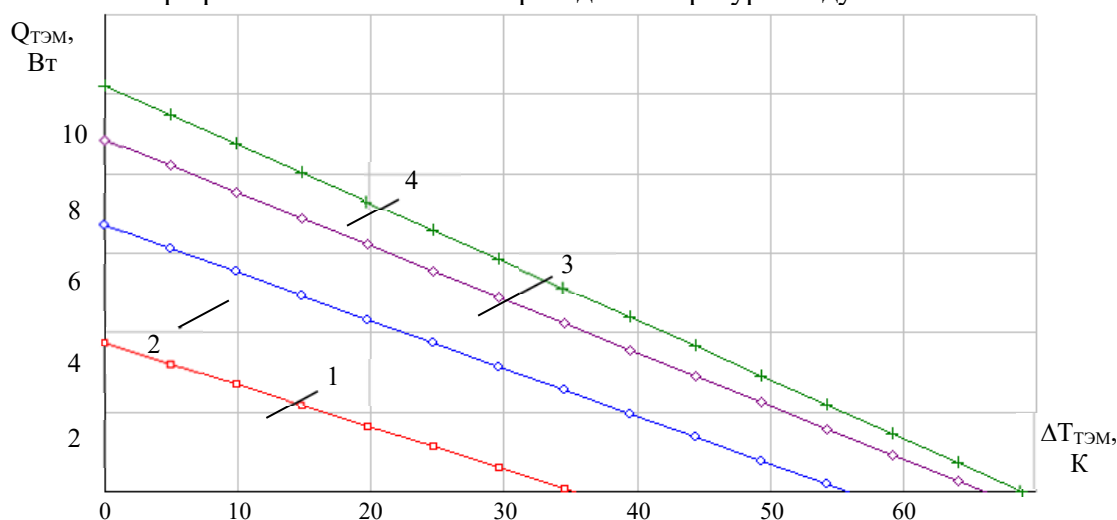


Рис. 2. Зависимость мощности ТЭМ ТВ-17-1.4-1.15 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания: 1- $I_{TEM}=2$ А, 2- $I_{TEM}=3.9$ А, 3 - $I_{TEM}=5.9$ А, 4 - $I_{TEM}=7.9$ А
Fig. 2. Dependence of the power of TEM TV-17-1.4-1.15 on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current: 1- $I_{TEM}=2$ A, 2- $I_{TEM}=3.9$ A, 3 - $I_{TEM}=5.9$ A, 4 - $I_{TEM}=7.9$ A

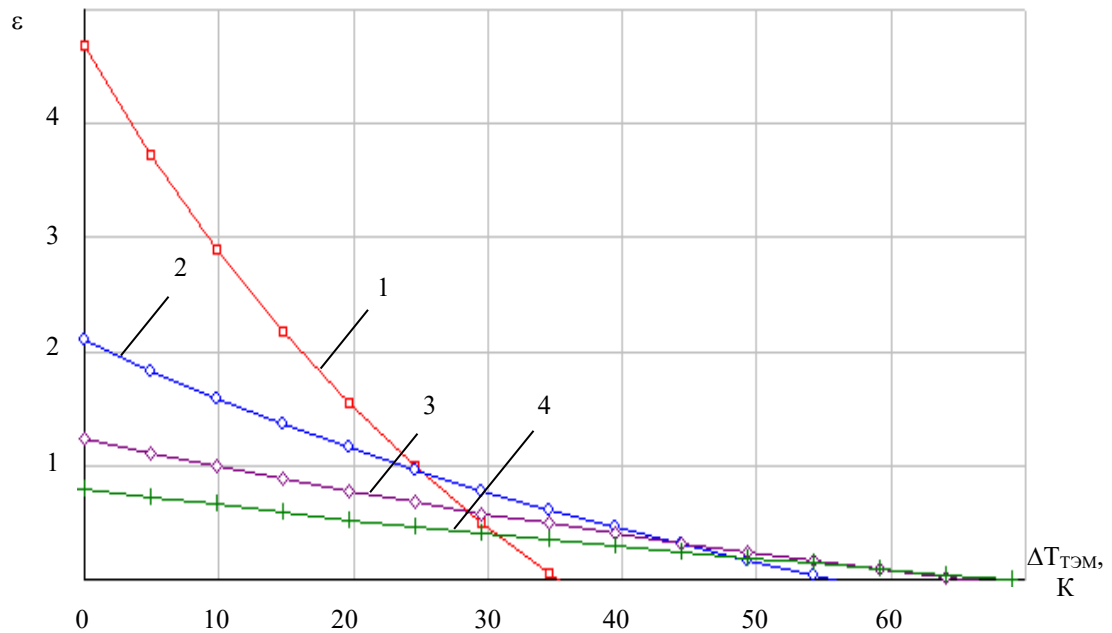


Рис. 3. Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ ТВ-17-1.4-1.15 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания

1- $I_{TEM}=2 A$, 2- $I_{TEM}=3.9 A$, 3- $I_{TEM}=5.9 A$, 4- $I_{TEM}=7.9 A$

Fig. 3. Dependence of the coefficient of performance of TEM TV-17-1.4-1.15 on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current

1- $I_{TEM}=2 A$, 2- $I_{TEM}=3.9 A$, 3- $I_{TEM}=5.9 A$, 4- $I_{TEM}=7.9 A$

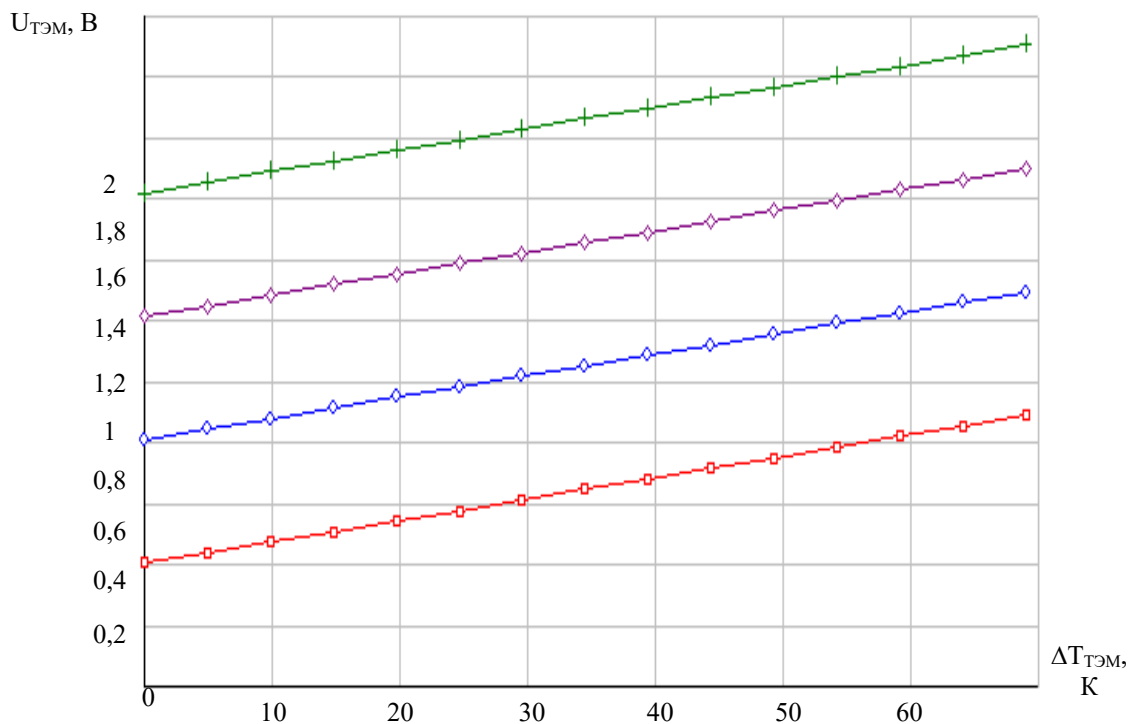


Рис. 4. Зависимость напряжения питания ТЭМ ТВ-17-1.4-1.15 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания

1- $I_{TEM}=2 A$, 2- $I_{TEM}=3.9 A$, 3- $I_{TEM}=5.9 A$, 4- $I_{TEM}=7.9 A$

Fig. 4. Dependence of the supply voltage of TEM TV-17-1.4-1.15 on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current

1- $I_{TEM}=2 A$, 2- $I_{TEM}=3.9 A$, 3- $I_{TEM}=5.9 A$, 4- $I_{TEM}=7.9 A$

Графики представлены при температуре горячих спаев термоэлементов, входящих в ТЭМ, 300 К. Согласно полученным данным, обеспечение требуемого режима теплового воздействия, при котором температура переднего отрезка глазного яблока находится на уровне 283-288 К, осуществляется путем использования в устройстве стандартного ТЭМ

типа ТВ-17-1.4-1.15 производства ООО «Криотерм» (г. Санкт-Петербург) [20].

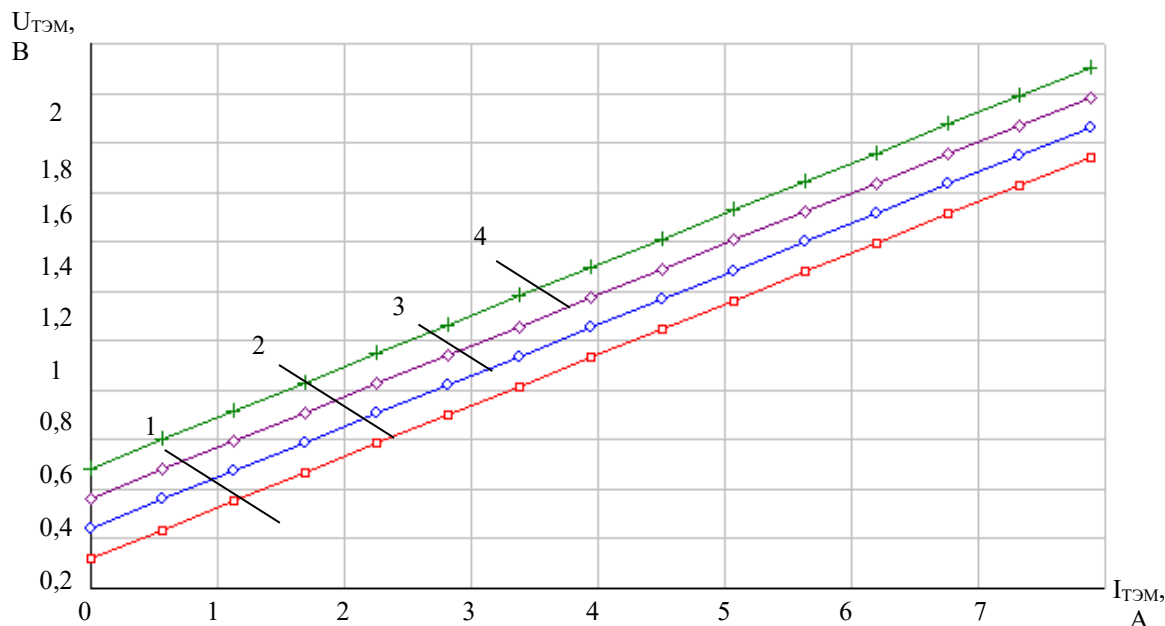


Рис. 5. Зависимость напряжения ТЭМ ТВ-17-1.4-1.15 от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями

1- $\Delta T_{TEM} = 17$ K, 2- $\Delta T_{TEM} = 35$ K, 3 - $\Delta T_{TEM} = 52$ K, 4 - $\Delta T_{TEM} = 69$ K

Fig. 5. Dependence of the voltage of TEM TV-17-1.4-1.15 on the value of the supply current at different values of the temperature difference between the junctions

1- $\Delta T_{TEM} = 17$ K, 2- $\Delta T_{TEM} = 35$ K, 3 - $\Delta T_{TEM} = 52$ K, 4 - $\Delta T_{TEM} = 69$ K

В соответствии с представленными данными рабочий диапазон мощностей ТЭМ типа ТВ-17-1.4-1.15 будет находиться в пределах 3-4 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 K. При этом ток питания будет составлять 6-7 А при потребляемой мощности 13-14 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,5.

Разработана методика проведения тепловых физиотерапевтических процедур на передний отрезок глазного яблока человека с помощью рассмотренного прибора.

Методика состоит в следующем. Процедура теплового воздействия контактная. Перед началом сеанса воздействия необходима местная поверхностная анестезия. Для удобства выполнения процедуры, а также с целью исключения возможности смещения головки прибора с глазного яблока во время процедуры, на веки пациента накладывают блефаростат. Перед проведением процедуры воздействия контактная головка прибора стерилизуется. При задании параметров воздействия врач может выбрать стандартный режим работы или ввести новый. При выборе стандартного режима работы система автоматически предлагает выбрать один из имеющихся режимов работы с уже введенными параметрами – пределы температур, время воздействия в каждом из пределов и общее время всего сеанса. При вводе нового режима на панели микропроцессорного блока контроля и регулировки врачом-офтальмологом задаются следующие параметры и режимы теплового воздействия: значение минимальной температуры воздействия; значение максимальной температуры воздействия (в градусах по Цельсию); длительность фазы нагревания и поддержания высокой температуры; длительность фазы охлаждения и поддержания низкой температуры; количество данных фаз. Для исключения излишнего давления на глазное яблоко пациента ТЭУ закрепляют в медицинском штативе. Далее, предварительно подготовленное устройство (охлажденное до определенной температуры), перпендикулярно устанавливают на роговицу пациента и с помощью управляемого источника электроэнергии начинают процедуру. При необходимости возможно дополнительное использование местного анестетика. Лечащий врач ведет наблюдение за процессом проведения процедуры. В случае выхода температуры воздействия за границы установленного диапазона, блок контроля и регулировки, входящий в состав электропитающего агрегата, подает звуковой сигнал и отключает устройство от сети питания.

По завершению процедуры и снятию с поверхности роговицы контактной головки прибора, врач-офтальмолог оценивает состояние переднего отрезка глаза (покраснение, помутнение, отделяемое из конъюнктивальной полости). После осмотра в конъюнктивальную полость закапывают раствор антибиотика. Количество сеансов, а также параметры теплового воздействия задаются индивидуально с учетом патологии и состояния переднего отрезка глаза. Повторение процедур допускается через день. Авторами разработаны несколько стандартных методик воздействия для лечения наиболее распространенных заболеваний органа зрения.

Основные показания к применению ТЭУ для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока:

1. Кератиты различной этиологии, в том числе вирусные. При лечении этих заболеваний надо максимально использовать холодовое воздействие. Здесь применяется минимальная температура 283-288 К с экспозицией до 3 минут, далее в цикле максимальная температура 310 К с экспозицией 1 минута. Общее время процедуры - 12 минут.

2. Кератоконъюнктивиты не в стадии обострения. Используются те же режимы, что и при лечении кератитов.

3. Послеоперационные воспаленные реакции. В этом случае тепловое воздействие должно преобладать над холодовым. Передний отрезок нагревается до температуры 312 К в течении 2 минут, затем, кратковременно (до 1 минуты), охлаждается до 293 К. Общее время процедуры - 15 минут.

4. Дистрофические состояния роговицы (буллезная кератопатия и т.п.). При лечении заболеваний данного типа важен температурный массаж для усиления микроциркуляции. Здесь используется одинаковое время экспозиции при воздействии теплом и холодом (по одной минуте), при этом нижнее значение температуры воздействия составляет 288 К, верхнее – 311 К. Общее время процедуры – 12 минут.

5. Передний увеит не в стадии обострения. Используется тот же режим воздействия, что и при послеоперационных воспаленных реакциях, только общее время процедуры составляет 12 минут.

6. Необскурирующие помутнения роговицы после различных хирургических вмешательств, в том числе лазерных. В этих случаях применяется минимальная температура 283-285 К с экспозицией до 3 минут, далее в цикле максимальная температура 311 К с экспозицией 1 минута. Общее время процедуры – 16 минут (4 цикла).

Противопоказанием к применению прибора являются заболевания органа зрения в стадии обострения, а также новообразования. Других противопоказаний нет.

ТЭУ теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека было апробировано в ГУ НПО «Дагестанский центр микрохирургии глаза» (г. Каспийск), а так же в поликлинике ВМФ № 89 (Московская область, Дмитровский район, Горки 25). Проведено 54 процедуры девяти пациентам с различными заболеваниями органа зрения. Из них, три пациента с необскурирующими помутнениями роговицы после лазерной хирургии, два пациента с послеоперационными воспаленными реакциями, один – с вирусным кератитом, два пациента с кератоконъюнктивитами не в стадии обострения и один - с передним увеитом не в стадии обострения. В ходе апробации данного устройства осложнений не наблюдалось и были выявлены следующие положительные факты:

- помутнения роговицы, возникающие как последствия лазерных хирургических вмешательств, рассасываются быстрее в 1,5 раза по сравнению с пациентами, при лечении которых не использовалась ТЭС теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока;
- температура воздействия на передний отрезок регулируется в широких пределах 283 К - 320 К) с точностью $\pm 0,5\text{К}$;
- послеоперационные воспаленные реакции снимаются практически после третьей процедуры.

Вывод. Разработана конструкция ТЭУ для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека. Устройство включает воздействующий наконечник, сопрягаемый одной поверхностью с веком человека, а противоположной с холодной поверхностью ТЭМ, горячая поверхность контактирует с корпусом, заполненным рабочим веществом, имеющим стабильную температуру плавления, лежащую в пределах от 303 до 330 К. Прибор снабжен регулируемым источником электроэнергии с блоком управления. В качестве ТЭМ, используемого в ТЭУ, применяется термомодуль типа ТВ-17-1.4-1.15, имеющий следующие рабочие характеристики: мощность - 3-4 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К, сила тока питания - 6-7 А, потребляемая мощность - 13-14 Вт, холодильный коэффициент 0,1-0,5.

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. Ушаков А.А. Практическая физиотерапия. ООО «Медицинское информационное агентство», 2009. 612 с.
3. Боголюбов В.М. [и др.] Техника и методики физиотерапевтических процедур. М.: Бином, 2017. 464 с.
4. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2011. № 4. С.33-36.
5. Пономаренко Г.Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития // Физическая и реабилитационная медицина. 2022. т. 4, № 1. С.8-20.
6. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. New York: Springer, 2015. 441 p.
7. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2011. 304 с.
8. Гуляев А.А. Оформление аппаратно/физиотерапевтических процедур согласно требованиям Минздрава РФ // Аппаратная косметология. 2017. № 1. С.14-20.
9. Евдулов О.В., Аминова И.Ю., Аминов Г.И., Аминов И.Г., Гасанова С.Г. Термоэлектрическая система для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека // Медицинская техника. 2023. № 3 (339). С. 8-10.
10. 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.
11. 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. 202; 90:106572.
12. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, New York: Springer, 2013. - 240 p.
13. Абоуеллаиль А.А., Чан Ц., Солдатов А.И., Солдатов А.А., Костина М.А., Борталевич С.И., Солдатов Д.А. Лабораторное обоснование термоэлектрического метода контроля переходного сопротивления контактов // Дефектоскопия. 2022. № 12. С. 70-78.
14. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Набиев Н.А., Рагимова Т.А. Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения // Медицинская техника. 2019. № 2. С. 12-14.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Евдулов О.В., Магомедова С.Г., Миспахов И.Ш., Набиев Н.А., Насрулаев А.М. Термоэлектрическая система для извлечения инородных объектов из тела человека // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. т. 46. № 1. С. 32-41.
19. Исмаилов Т.А., Евдулов Д.В., Евдулов О.В. Системы отвода теплоты от элементов РЭА на базе плавящихся тепловых аккумуляторов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. № 1 (36). С. 38-44.
20. <http://www.kryotherm.ru> (дата доступа 02.02.2024).

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.
2. Ushakov A.A. Practical physiotherapy. LLC Medical Information Agency, 2009; 612.

3. Bogolyubov V.M.[and.etc] Techniques and methods of physiotherapeutic procedures. M.:Binom, 2017; 464.
4. Ezhov V.V. Physiotherapy and physiotherapy as methods and means of preserving and restoring health. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011; 4:33-36.
5. Ponomarenko G.N. Rehabilitation medicine: fundamental principles and development prospects. *Physical and rehabilitation medicine*. 2022; 4(1):8-20.
6. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. *New York: Springer*, 2015; RUR 441.
7. Tsyganov D.I. Cryomedicine: processes and devices. *M.: Science press*, 2011; 304.
8. Gulyaev A.A. Registration of hardware/physiotherapeutic procedures in accordance with the requirements of the Ministry of Health of the Russian Federation. *Hardware cosmetology*. 2017; 1:14-20.
9. Evdulov O.V., Aminova I.Yu., Aminov G.I., Aminov I.G., Gasanova S.G. Thermoelectric system for thermal influence on the anterior segment of the human eyeball. *Medical technology*. 2023; 3 (339):8-10.
10. Hu B., Shi X.-L., Chen Z.-G., Zou J. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives. *Chemical engineering journal*. 2022; 437:135268.
11. Zaferani S.H., Ghomashchi R., Sams M.W., Chen Z.-G. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical applications: design, optimization and advancement. *Nano energy*. 2021;90:106572.
12. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, *New York: Springer*, 2013; 240.
13. Abouellail A.A., Chan Ts., Soldatov A.I., Soldatov A.A., Kostina M.A., Bortalevich S.I., Soldatov D.A. Laboratory substantiation of the thermoelectric method for monitoring the contact resistance. *Defectoscopy*. 2022; 12: 70-78.
14. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Nabiev N.A., Ragimova T.A. Thermoelectric device for stopping bleeding. *Medical technology*. 2019; 2:12-14.
15. 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.
16. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Yusufov Sh.A., Aminov G.I. Devices for local temperature effects on the human body. *News of universities. North Caucasus region. Technical Sciences*, 2003;2:3-6.
17. Ismailov T.A. Evdulov O.V., Nabiev N.A., Magomedova S.G. Model of a thermoelectric device for thermal influence on reflexogenic zones. *Medical technology*. 2020; 1: 40-43.
18. Evdulov O.V., Magomedova S.G., Mispakhov I.Sh., Nabiev N.A., Nasrulaev A.M. Thermoelectric system for removing foreign objects from the human body. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2019; 46(1): 32-41.
19. Ismailov T.A., Evdulov D.V., Evdulov O.V. Systems for removing heat from electronic elements based on melting heat accumulators. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2015; 1 (36): 38-44.
20. <http://www.kryotherm.ru> (access date 02/02/2024).

Сведения об авторах:

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

Аминов Гарун Ильясович, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела развития компетенций; g.aminov@yandex.ru.

Аминова Ирина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цифровой трансформации; irzarema@yandex.ru.

Аминов Ильяс Гарунович, ординатор; aminov.i.g@yandex.ru.

Муталипова Гюльжаган Абдулгамидовна, ассистент кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники; m.gulya3028@bk.ru.

Information about authors:

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

Garun I. Aminov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of Competence Development Department; g.aminov@yandex.ru.

Irina Yu. Aminova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Digital Transformation Technology; irzarema@yandex.ru.

Ilyas G. Aminov, Resident; aminov.i.g@yandex.ru.

Gyulzhagan A. Motalipova, Assistant, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics; m.gulya3028@bk.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 19.12.2023.

Одобрена после/рецензирования Revised 09.01.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 09.01.2024.

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.577

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-22-30



Обзорная статья / Review article

Методика охлаждения центрального процессора

Е.И. Страшко, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо

Кубанский государственный технологический университет,
350072, г. Краснодар, ул.Московская, д. 2, Россия

Резюме. Цель. Рассматриваются современные методы охлаждения центрального процессора, связанные с разработкой и применением различных хладагентов и охлаждающих веществ в различных видах персональных компьютеров. **Метод.** Важной научно-инновационной проблемой охлаждения центральных процессоров является разработка наиболее эффективного вида охлаждения для работы серверного оборудования при заметном сокращении расхода энергии. Одним из путей ее решения является сборка и применение таких установок, которые смогут за счет своей работоспособности предотвращать перегрев оборудования и его утилизацию. **Результат.** Представлены основные типы охлаждающих устройств, указаны их преимущества и недостатки, приведены схемы действия данных установок, а также результаты сравнительного анализа их работы. Описаны схемы элемента Пельтье, эффекта Зеебека; эффективность как обычных воздушных кулеров, так и сложных систем жидкостного охлаждения. **Вывод.** Выбор метода охлаждения центрального процессора зависит от потребностей пользователя и спецификаций процессора. Эффективность системы охлаждения зависит от качества компонентов и их совместимости с конкретной системой. Жидкостное охлаждение остается наиболее эффективным и перспективным способом охлаждения центральных процессоров в современных компьютерах.

Ключевые слова: охлаждающие устройства, перегрев оборудования, расход энергии

Для цитирования: Е.И. Страшко, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо. Методика охлаждения центрального процессора. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):22-30. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-22-30

Methods of CPU cooling

E.I. Strashko, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo

Kuban State Technological University,
2 Moskovskaya St., Krasnodar 350072, Russia,

Abstract. Objective. Modern methods of cooling the central processor associated with the development and use of various refrigerants and coolants in various types of personal computers are considered. **Method.** A significant scientific and innovative challenge in CPU cooling today is the development of cooling methods that are most efficient for server hardware while reducing energy consumption noticeably. One way to address this challenge is the assembly and use of installations capable of preventing equipment overheating and its disposal due to their functionality. **Result.** The main types of cooling devices are presented, their advantages and disadvantages are indicated, operation diagrams of these installations are given, as well as the results of a comparative analysis of their operation. The circuits of the Peltier element and the Seebeck effect are described; efficiency of both conventional air coolers and complex liquid cooling systems. **Conclusion.** The choice of CPU cooling method depends on the user's needs and processor specifications. The effectiveness of a cooling system depends on the quality of the components and their compatibility with the specific system. Liquid cooling remains the most effective and promising method for cooling central processors in modern high-performance computers.

Keywords: cooling devices, equipment overheating, energy consumption

For citation: E.I. Strashko, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo. Methods of CPU cooling. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):22-30. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-22-30

Введение. Охлаждающие устройства для центрального процессора персонального компьютера – это набор средств для отвода тепла от нагревающихся в процессе работы компьютерных компонентов.

Постановка задачи. Целью исследования является анализ решений по выбору и применению различных охлаждающих устройств центральных процессоров во всех видах персональных компьютеров, в том числе серверов.

Методы исследования. Высокая публикационная активность в данном направлении вызвана поиском наиболее эффективных, ресурсосберегающих способов охлаждения центральных процессоров. Критический анализ многочисленных литературных источников выявил наиболее важные проблемы различных устройств для понижения и удержания лучшей температуры для работы электронных вычислительных машин, помог найти пути развития для получения лучшего способа поглощения тепла.

Обсуждение результатов. В решении проблем с перегревом или низкой эффективностью работы процессоров важная роль принадлежит системам охлаждения, в число которых входят хладагенты технологии благодаря следующим преимуществам: уменьшение нагрева центрального процессора; бесшумность работы; компактность устройств, надежность и долговечность работы; минимальные затраты на техническое обслуживание; более эффективная работа процессора за счет поддержки комфортных для его работы температур. Сложность внедрения специального охлаждения вызвана следующими причинами: высокая стоимость техники, у аналогов стоимость меньше; необходимость использования хладагентов или сухой воды;

1) Устройство охлаждения кулером. Кулер, или «вентилятор» (от английского слова «cool»), представляет собой устройство, предназначенное для охлаждения чего-либо. Основной задачей любого кулера является снижение и поддержание температуры охлаждаемого объекта на заданном уровне. В зависимости от типа устройства, которое нужно охладить, будь то транзистор, микросхема, процессор или даже жесткий диск, применяются различные типы кулеров. Воздушный кулер оснащен вентилятором и радиатором, установленным сверху процессора. Они более экономичны по сравнению с жидкостными кулерами и легче в установке. Однако, в отличие от них, они часто бывают шумными из-за высокой скорости вращения. Кроме того, они могут занимать значительное пространство на материнской плате, что может ограничить возможность установки других компонентов.[1]

2) Жидкостное охлаждение (СЖО). В старых компьютерных устройствах использовались вентиляторы, но постепенно мощность процессоров выросла настолько, что обычные вентиляторы часто не справляются с задачей охлаждения. Система жидкостного охлаждения использует жидкость в качестве теплоносителя для эффективного отвода тепла от процессора наружу. Благодаря лучшей теплопроводности жидкости, такие системы более эффективно справляются с охлаждением. Принцип работы жидкостных охладителей отличается от обычных воздушных кулеров. В их механизме их действия можно легко разобрать.

Рассмотрим краткое описание принципа функционирования системы жидкостного охлаждения для процессора:

1. Насос обеспечивает постоянное движение жидкости в системе.
2. Жидкость по трубкам подается к нагретым компонентам компьютера, где установлены водяные блоки, и происходит эффективное отвод тепла.
3. Затем нагретая жидкость направляется в радиатор.
4. С помощью вентиляторов радиатора тепло обменивается с окружающей средой, обеспечивая эффективное охлаждение компонентов [2].

3) Рассмотрение устройства термопасты (рис.1). Важным фактором является рассмотрение термопасты, которая играет роль в регулировании тепла. Термопаста соединяет процессор с радиатором, создавая единое целое. Кроме того, она обладает высокой теплопроводностью, позволяя теплу быстро переходить от процессора к радиатору и обеспечивая эффективное охлаждение. Однако, при высыхании термопасты, передача тепла от процессо-

ра к радиатору замедляется, что приводит к постоянному перегреву. Этот перегрев сопровождается нестабильной работой компьютера и частыми перезагрузками. Если термопасту не заменить своевременно, компьютер может даже перестать запускаться из-за постоянных перегревов [3].



Рис.1. Схема работы термопасты
Fig.1. Thermal paste operation diagram

4) Эффект Пельтье. Основой для всех термоэлектрических модулей лежит принцип разницы в энергетических уровнях электронов. Один из проводящих элементов представляет собой область с высокой проводимостью, а другой - с низкой. Когда через них пропускается ток, электронам требуется накопить энергию, чтобы перемещаться из низкоэнергетической области в высокоэнергетическую. В результате область, где происходит поглощение энергии электронами, начинает охлаждаться (рис.2).

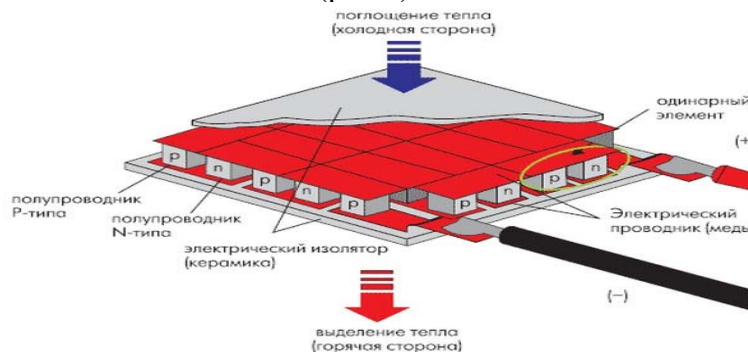


Рис. 2. Схема работы эффекта Пельтье
Fig. 2. Scheme of the Peltier effect

Изменяя полярность подключения элемента, можно переключить эффект с охлаждения на нагревание. Этот эффект наблюдается у всех элементов, но проявляется сильнее при использовании полупроводников. Термоэлектрический модуль (ТЭМ) состоит из множества термопар. Сама термопара представляет собой пару разнородных полупроводников, соединенных медной пластиной. Эти полупроводники изготавливаются из солей металлов, таких как теллур, висмут, селен или сурьма [4]. Термопары соединены в последовательную цепь и закрыты керамическими пластинами с обеих сторон. Поскольку количество термопар может различаться, мощность элемента Пельтье также может значительно варьировать. Постоянный ток приводит к нагреванию одной части элемента (например, верхней), в то время как другая (нижняя) охлаждается. Переключение полярности приводит к обратному эффекту, где нагреваемая и охлаждаемая стороны меняются местами. Интересной особенностью работы такого элемента является то, что при принудительном охлаждении нагреваемой стороны разница в температуре с окружающим воздухом может стать гораздо больше, достигая десятков градусов. Однако у такого элемента есть и недостаток - его низкий коэффициент полезного действия (КПД) [5].

5) Эффект Зеебека. Также известный как термоэлектрический эффект, описывает появление разницы в потенциале при соединении двух разнотипных материалов после нагрева определенного участка. Этот эффект был назван в честь ученого, который впервые обнаружил его в 1822 году. Ученый провел эксперимент, нагревая контакты двух различных металлических сплавов, в данном случае висмута и сурьмы. Изменения были зафиксированы с помощью гальванометра. Путем удержания участка контакта между металлами ученый заметил изменение положения стрелки. На первых порах разница была незначительной, но

последующие эксперименты привели к желаемым результатам [6]. Термоэлектрический эффект обнаружен благодаря возникновению движущейся электрической силы в замкнутом контуре, состоящем из различных материалов. В последствии выяснилось, что разница в температуре вызывает появление термоэдс, что приводит к появлению электрического тока в контуре.

В настоящее время эффект Зеебека полностью исследован и нашел широкое применение во многих областях человеческой деятельности. Однако его наибольшее применение наблюдается в производстве термопар [7]. Главным образом эффект Зеебека основан на том, что в замкнутом контуре из двух разных материалов возникает разница в потенциале, когда их контакты имеют разные температуры. Другими словами, эффект Зеебека зависит от состава проводников и их температур (рис.3).



Рис. 3. Схема работы эффекта Зеебека

Fig. 3. Scheme of the Seebeck effect

При наличии температурного градиента вдоль проводника скорость движения электронов на нагретом конце становится выше, чем на ненагретом. Согласно физическим законам, электроны из нагретой стороны будут двигаться к холодной стороне, создавая отрицательный заряд. На холодной стороне будет накопление положительных зарядов. Эти заряды будут накапливаться до тех пор, пока потенциальная разница не достигнет уровня, при котором электроны начнут двигаться в обратном направлении, и система придет в равновесие [8]. Эффект Зеебека характеризуется следующими свойствами:

1. Между контактами возникает разница в потенциале, что связано с различием в энергии Ферми в различных проводящих материалах. При замыкании цепи происходит выравнивание потенциалов электронов, и разница в потенциале возникает между контактами, создавая электрическое поле в тонком приграничном слое.

2. При замыкании цепи в проводниках появляется напряжение, которое направляется от более высокого потенциала к менее высокому. Изменение температуры также влияет на величину этого напряжения. При равных температурах уровень электрополя равен нулю.

3. В проводниках с магнитными свойствами возникает магнетное увеличение, и эффект Зеебека вызывает появление электронов,двигающихся вместе с магнотонами [9].

- 6) Рассмотрение возможности охлаждения процессоров с использованием сухой воды NOVEC 120 и аналогичных охлаждающих жидкостей проводится в рамках специальной системы охлаждения, известной как жидкостное охлаждение. Жидкостное охлаждение становится все более популярным методом для охлаждения высокопроизводительных компьютерных систем, включая игровые и серверные компьютеры, где требуется эффективное и надежное охлаждение [10]. NOVEC 120 - это товарный знак одной из жидкостей, разработанных компанией 3M, которая может использоваться в системах жидкостного охлаждения. Основные преимущества использования таких охлаждающих жидкостей, включая NOVEC 120, для процессоров включают в себя следующее:

- 1.Отличная теплопроводность: Эти жидкости обладают высокой теплопроводностью, что позволяет эффективно отводить тепло от процессора.

- 2.Бесшумность: В отличие от вентиляторов, которые могут быть шумными, жидкостное охлаждение работает более бесшумно, что особенно важно для пользователей, ценящих тихую работу компьютера.

3. Высокая эффективность: Охлаждение жидкостью обычно более эффективно, чем воздушное охлаждение, особенно при охлаждении процессоров с высокой производительностью и разгоном.

4. Компактные трубки и радиаторы: Системы жидкостного охлаждения могут быть компактными и плоскими, что позволяет установить их в корпусе компьютера без существенных проблем [11]. Жидкостное охлаждение требует более сложной установки, чем воздушное охлаждение, и может быть более дорогостоящим. Кроме того, важно правильно спроектировать систему жидкостного охлаждения и следить за ее обслуживанием, чтобы избежать проблем, таких как утечки. Некоторые компании предлагают готовые системы жидкостного охлаждения для процессоров, что может быть более удобным вариантом для пользователей, не имеющих опыта в сборке подобных устройств [12].

7) Рассмотрение охлаждения ядерных реакторов для анализа возможности использовать подобный формат для серверного оборудования или домашнего компьютера. Отвод тепла от ядерных реакторов является важным этапом в выработке энергии в результате ядерных реакций. В ядерной инженерии существует ряд эмпирических или полуэмпирических соотношений, используемых для количественной оценки процесса отвода тепла из активной зоны ядерного реактора, чтобы реактор работал в прогнозируемом интервале температур, который зависит от материалов, используемых в конструкции реактора [13]. Эффективность отвода тепла из активной зоны реактора зависит от многих факторов, включая используемые охлаждающие агенты и тип реактора.

Распространенные жидкие охлаждающие жидкости для ядерных реакторов включают: деионизированную воду (с борной кислотой в качестве химической прокладки при раннем выгорании), тяжелую воду, более легкие щелочные металлы (такие как натрий и литий), свинец или эвтектические сплавы на основе свинца, такие как свинец-висмут, и NaK, эвтектический сплав натрия и калия. Реакторы с газовым охлаждением работают с такими охлаждающими веществами, как диоксид углерода, гелий или азот, но некоторые очень мало-мощные исследовательские реакторы даже были охлаждены воздухом с помощью Chicago Pile 1, использующего естественную конвекцию окружающего воздуха для устранения незначительной выходной тепловой мощности [14]. Продолжаются исследования по использованию сверхкритических жидкостей в качестве охлаждающих жидкостей для реакторов, но до настоящего времени ни сверхкритический водный реактор, ни реактор, охлаждаемый сверхкритическим диоксидом углерода, ни какой-либо другой реактор со сверхкритическим жидкостным охлаждением никогда не был построен [15].

Исходя из этой информации можно сделать вывод, почему такой принцип не подходит для ПК или серверного оборудования:

Масштаб. Ядерные реакторы имеют огромные размеры и высокие мощности. Они генерируют огромное количество тепла, которое должно быть эффективно отводимо. Домашние компьютеры, даже с мощными процессорами и видеокартами, генерируют намного меньше тепла по сравнению с ядерными реакторами, и им не требуется такой экстремальной системы охлаждения. [16]

Сложность. Системы охлаждения для ядерных реакторов являются крайне сложными и дорогостоящими. Они включают в себя специализированные компоненты, такие как парогенераторы, турбины, контур охлаждения и так далее. В домашних компьютерах используются намного более простые системы охлаждения, такие как вентиляторы и радиаторы.

Безопасность. Охлаждение ядерных реакторов также связано с вопросами безопасности и радиационным контролем. Это несравнимо с охлаждением домашних компьютеров, которое не подразумевает такие сложные меры безопасности.

Эффективность. Принципы охлаждения ядерных реакторов оптимизированы для высокой эффективности и долгосрочной стабильной работы. Они могут обеспечить охлаждение на долгие периоды времени при высоких температурах. Домашние компьютеры требуют более простых и доступных систем охлаждения, которые не предназначены для работы в

таких экстремальных условиях [17]. Следует вывод, что принцип охлаждения ядерных реакторов не подходит для охлаждения домашних компьютеров из-за различий в масштабе, сложности, безопасности и эффективности этих систем охлаждения.

8) Охлаждение ЦП жидким гелием. Охлаждение процессоров с использованием жидкого гелия - это нестандартный и экспериментальный метод, который используется для достижения экстремально низких температур в целях увеличения производительности. Этот метод не является обычной или рекомендованной практикой для обычных пользователей, и его применение требует специализированного оборудования и знаний. Принцип работы охлаждения процессора с помощью жидкого гелия заключается в использовании физических свойств жидкого гелия. Гелий - это инертный газ, который при низких температурах становится жидким. Он имеет очень низкую температуру кипения, около -269 градусов по Цельсию (-452 по Фаренгейту), что делает его одним из самых холодных известных веществ [18]. Процедура охлаждения процессора с использованием жидкого гелия обычно включает в себя следующие шаги:

Подготовка жидкого гелия: жидкий гелий должен храниться в специальном сосуде, изолированном от окружающей среды, чтобы избежать его испарения. Гелий может быть поставлен в контейнер с системой подачи, чтобы поддерживать стабильное давление и температуру.

Нанесение жидкого гелия: жидкий гелий наносится на поверхность процессора или других компонентов, которые требуют охлаждения. При контакте с жидким гелием процессор быстро охлаждается, так как гелий испаряется при своей низкой температуре кипения.

Испарение и охлаждение: при испарении жидкого гелия происходит поглощение тепла с поверхности процессора, что приводит к его охлаждению. Процессор может быстро достичь экстремально низких температур, близких к абсолютному нулю ($-273,15^{\circ}\text{C}$ или $-459,67^{\circ}\text{F}$).

Управление системой: охлаждение процессора с помощью жидкого гелия требует специальной системы управления, которая регулирует подачу жидкого гелия и поддерживает стабильные температуры во избежание конденсации или других проблем (рис.4) [19].

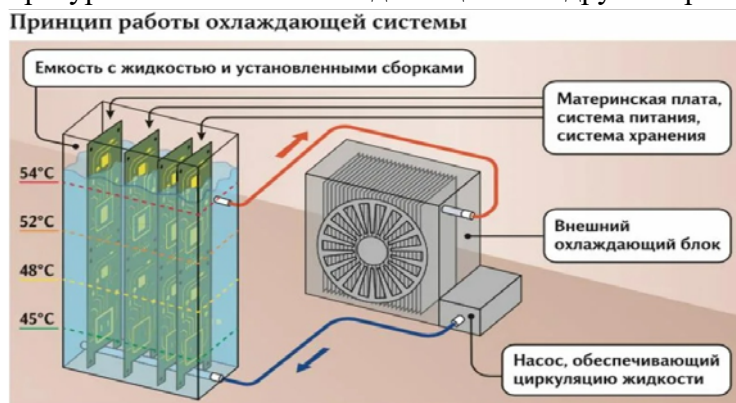


Рис. 4. Общая схема охлаждения процессора
Fig. 4. General processor cooling scheme

Этот метод охлаждения чрезвычайно эффективен и позволяет достичь очень низких температур, что может быть полезно в некоторых экстремальных сценариях, например, при разгоне процессора для установления рекордов производительности. Однако он требует специализированного оборудования, аккуратности и осторожности, так как неправильное использование может привести к повреждению компонентов. Важно помнить, что обычным пользователям, занимающимся повседневными задачами, не требуется использовать жидкий гелий для охлаждения своих процессоров. Обычные системы охлаждения в виде вентиляторов и радиаторов обеспечивают достаточное охлаждение для стабильной работы компьютера [20].

Вывод. Основываясь на анализе различных методов охлаждения и сравнительных испытаниях с использованием различных типов охлаждающих устройств, можно сделать несколько ключевых выводов.

Во-первых, эффективное охлаждение процессора является неотъемлемой частью обеспечения стабильной и надежной работы компьютера. Высокие температуры могут привести к перегреву, что в свою очередь может вызвать снижение производительности и даже повреждение процессора.

Во-вторых, существует множество различных методов охлаждения, включая воздушное охлаждение и жидкостное охлаждение. Выбор метода зависит от потребностей пользователя и спецификаций процессора.

В-третьих, исследование подтверждает, что качество охлаждающих устройств влияет на эффективность охлаждения. Высококачественные кулеры и системы охлаждения обеспечивают более стабильную и надежную работу процессора, даже при высоких нагрузках. В конечном итоге, самым эффективным способом охлаждения центрального процессора (ЦП) остается жидкостное охлаждение. Это обосновано высокой теплопроводностью жидкости и способностью эффективно отводить тепло от ЦП.

Особенно это важно для современных процессоров с высокой производительностью и геймерских систем, которые генерируют значительное количество тепла при интенсивной работе. Преимущества жидкостного охлаждения включают в себя высокую эффективность в сравнении с воздушным охлаждением, бесшумность, компактные радиаторы и возможность поддержания низких температур ЦП даже при максимальной нагрузке [21]. Это особенно важно для увеличения срока службы процессора и предотвращения перегрева, который может негативно сказаться на его производительности и стабильности. Однако жидкостное охлаждение требует более сложной установки и обслуживания, а также может быть более дорогим вариантом в сравнении с воздушным охлаждением. Необходимо также учесть, что выбор системы охлаждения должен соответствовать конкретным потребностям и бюджету пользователя.

Важно подчеркнуть, что эффективность системы охлаждения ЦП также зависит от качества компонентов и их совместимости с конкретной системой. Всегда рекомендуется проводить исследование и консультироваться с профессионалами, чтобы выбрать наилучший вариант охлаждения ЦП для конкретной ситуации. В конечном итоге, жидкостное охлаждение остается наиболее эффективным и перспективным способом охлаждения центральных процессоров в современных высокопроизводительных компьютерах.

Библиографический список:

1. Киц В.П., Новиков А.А., Пахомова С.А. Эффективность жидкостного охлаждения центрального процессора персонального компьютера // Инженерный вестник. 2015. № 1. С. 2.
2. Амеликин С.А., Карпеш С.В., Клементьев А.Д., Петров А.А. Разработка системы автоматического управления погружным жидкостным охлаждением высокопроизводительных вычислительных комплексов // Программные системы: теория и приложения. 2016. Т. 7. № 1 (28). С. 209-219.
3. Колпаков А. Возвращаемся к термопасте.// Силовая электроника. 2015. Т. 3. № 54. С. 90-95.
4. Мамедов М.М., Аннаовезова Э.Б., Мамедов Б.М. Интерпретация эффектов Зеебека и Пельтье в рамках универсальной неравновесной термодинамики.// Актуальные проблемы современной науки. 2016. № 6 (91). С. 150-154.
5. Беляев Ю.И., Гринюк А.В., Иванков В.И. Исследование термических свойств материалов на основе комплексного учета эффектов Пельтье и Зеебека // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. 2011. Т. 13. № 1. С. 131-132.
6. Павлов А.Н., Раевский И.П., Сахненко В.П., Куропаткина С.А., Раевская С.И. Влияние межкристаллитных потенциальных барьеров на формирование термоэлектродвижущей силы и эффекта Пельтье в поликристаллических сегнетоэлектриках-полупроводниках.//Физика твердого тела. 2006. Т. 48. № 10. С. 1812-1816.
7. Бикбулатов А.И., Ишембетов Р.Х., Кутербекоев К.А. Электронный эффект Пельтье в AG0.03CU1.97SE , AG0.04CU1.96SE //Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании. Тезисы докладов VIII Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых. 2015. С. 56.

8. Охрем В.Г., Охрем Е.А. Термоэлектрический холодильник на основе объемного эффекта Пельтье //Термоэлектричество. 2003. № 1. С. 34-36.
9. Михалев С.И. Применение элементов Пельтье при реализации эффекта Зеебека, для выработки дополнительной электрической энергии // Современнeе технологии в науке и образовании - СТНО-2019. Сборник трудов II международного научно-технического форума: в 10 т.. Под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2019. С. 111-114.
10. Семененко А.Н. Разработка математической модели жидкостного охлаждения для автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры Асоника// Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ. Материалы конференции. Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». 2014. С. 95-96.
11. Тригорный С.В., Скрипкин А.А. Моделирование охлаждения процессоров и управление тепловыми режимами их эксплуатации //Вестник Саратовского государственного технического университета 2022. № 4 (95). С. 14-26.
12. Пельтье Икрянников Н.Д., Достовалов Н.Н. Разработка камеры Вильсона с охлаждением на элементах. // Сборник: интеллектуальный потенциал Сибири. Сборник научных трудов 29-ой региональной научной студенческой конференции, посвященной году науки и технологий в России. в 5-ти частях. под редакцией д.о. Соколовой. Новосибирск, 2021. с. 273-277.
13. Шеин С.Е., Струцев Е.Д., Нечаев Г.П., Чичиндаев А.В. Сравнительный анализ систем охлаждения на основе криогенных теплоносителей // Сборник: Наука. технологии. инновации. Сборник научных трудов: в 9 частях. Под редакцией А.В. Гадюкина. 2018. С. 80-83.
14. Пискун Г.А., Алексеев В.Ф., Беликов А.Н., Рыбаков Д.Г. Влияние ориентации каналов в кулерах воздушного охлаждения на эффективность отведения тепла от процессоров.//Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2023. Т. 21. № 5. С. 33-41.
15. Смирнов В.П. Термоядерная энергетика - Крупнейший международный инновационный проект //Российский химический журнал 2008. Т. 52. № 6. С. 79-94.
16. Нестеров Г.Д., Демидовский А.С. Оптимизация параметров элементов компьютерной системы //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 117. С. 164-174.
17. Романовский В.Р. Механизмы возникновения токовой неустойчивости в высокотемпературных сверхпроводниках, охлаждаемых жидким хладагентом // Журнал технической физики. 2009. Т. 79. № 12. С. 44-51.
18. Agapov N.N., Batin V.I., Emelianov N.E., Hisameev I.G., Krakovsky B.D., Mitrofanova Y.A., Nikiforov D.N., Popov O.M., Trubnikov G.V., Udut V.N., Ziskin G.F. Cryogenics for the future accelerator complex nica at jlnr //Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2014. Т. 11. № 4 (188). С. 760-767.
19. Шеин С.Е., Струцев Е.Д., Нечаев Г.П., Чичиндаев А.В. Сравнительный анализ систем охлаждения на основе криогенных теплоносителей //Наука. технологии. инновации. Сборник научных трудов: в 9 частях. Под редакцией А.В. Гадюкина. 2018. С. 80-83.
20. Пустовит А.Н., Ионов А.М. Криосистема для охлаждения образцов вторично-ионного масс-спектрометра со статическим анализатором// Приборы и техника эксперимента. 2014. № 1. С. 133.
21. Винокуров Е.В. Устройство центрального процессора персонального компьютера// Научные высказывания. 2022. № 1 (9). С. 20-22.

References

1. Kitz V.P., Novikov A.A., Pakhomova S.A. Effectiveness of Liquid Cooling for a Personal Computer Central Processor. *Engineering Bulletin*. 2015;1:2. (In Russ)
2. Amelkin S.A., Karpesh S.V., Klementyev A.D., Petrov A.A. Development of an Automatic Control System for Immersion Liquid Cooling of High-Performance Computing Complexes. *Software Systems: Theory and Applications*. 2016; 7(1) (28): 209-219. (In Russ)
3. Kolpakov A. Revisiting Thermal Paste. *Power Electronics*. 2015; 3(54): 90-95. (In Russ)
4. Mamedov M.M., Annaovezova E.B., Mamedov B.M. Interpretation of Seebeck and Peltier Effects within the Framework of Universal Non-equilibrium Thermodynamics. *Current Problems in Modern Science*. 2016; 6 (91): 150-154. (In Russ)
5. Belyaev Y.I., Grinyuk A.V., Ivankov V.I. Investigation of Thermal Properties of Materials Based on a Comprehensive Account of the Peltier and Seebeck Effects. *Bulletin of the International Academy of Systems Research. Informatics, Ecology, Economics*. 2011; 13(1):131-132. (In Russ)
6. Pavlov A.N., Raevskiy I.P., Sakhnenko V.P., Kuropatkina S.A., Raevskaya S.I. Influence of Intergranular Potential Barriers on the Formation of Thermoelectromotive Force and the Peltier Effect in Polycrystalline Ferroelectric-Semiconductor Materials. *Solid State Physics*. 2006; 48(10):1812-1816. (In Russ)
7. Bikbulatov A.I., Ishembetov R.K., Kuterbekov K.A. Electronic Peltier Effect in AG0.03CU1.97SE, AG0.04CU1.96SE Fundamental Mathematics and Its Applications in Natural Sciences. Abstracts of the VIII International School-Conference for Students, Postgraduates, and Young Scientists. 2015;56. (In Russ)

8. Okhrem V.G., Okhrem E.A. Thermoelectric Refrigerator Based on the Bulk Peltier Effect. *Thermoelectricity*. 2003;1: 34-36.
9. Mikhaliyev S.I. Application of Peltier Elements in Realizing the Seebeck Effect for Generating Additional Electrical Energy. Modern Technologies in Science and Education STNO-2019. Proceedings of the II International Scientific and Technical Forum in 10 volumes. Edited O.V. Milovzorov. 2019;111-114. (In Russ)
10. Semenenko A.N. Development of a Mathematical Model for Liquid Cooling in an Automated System for Ensuring the Reliability and Quality of Asynchronous Apparatus // Scientific and Technical Conference for Students, Postgraduates, and Young Specialists of the National Research University "Higher School of Economics." Conference Materials. Moscow Institute of Electronics and Mathematics of the National Research University "Higher School of Economics." 2014; 95-96. (In Russ)
11. Trigorly S.V., Skripkin A.A. Modeling Processor Cooling and Managing Their Thermal Modes of Operation // Bulletin of Saratov State Technical University. 2022. No. 4 (95). P. 14-26. (In Russ)
12. Peltier I., Ikryanikov N.D., Dostovalov N.N. Development of a Wilson Chamber with Element Cooling. // Collection: Intellectual Potential of Siberia. Collection of Scientific Papers of the 29th Regional Scientific Student Conference Dedicated to the Year of Science and Technology in Russia. In 5 parts. Edited by D.O. Sokolova. Novosibirsk, 2021; 273-277. (In Russ)
13. Shein S.E., Strutsev E.D., Nechaev G.P., Chichindaev A.V. Comparative Analysis of Cooling Systems Based on Cryogenic Coolants. *Collection: Science. Technology. Innovation. Collection of Scientific Papers in 9 parts*. Edited by A.V. Gadyukin. 2018; 80-83. (In Russ)
14. Piskun G.A., Alexeev V.F., Belikov A.N., Rybakov D.G. Influence of the Orientation of Channels in Air Cooling Heatsinks on the Efficiency of Heat Dissipation from Processors. *Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics*. 2023; 21(5):33-41.
15. Smirnov V.P. Thermonuclear Energy - The Largest International Innovation Project. *Russian Chemical Journal*. 2008; 52(6):79-94. (In Russ)
16. Nesterov G.D., Demidovskiy A.S. Optimization of Computer System Parameters. *Multidisciplinary Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2016; 117:164-174. (In Russ)
17. Romanovsky V.R. Mechanisms of Current Instability in High-Temperature Superconductors Cooled with Liquid Coolant. *Journal of Technical Physics*. 2009; 79 (12):44-51. (In Russ)
18. Agapov N.N., Batin V.I., Emelianov N.E., Hisameev I.G., Krakovsky B.D., Mitrofanova Y.A., Nikiforov D.N., Popov O.M., Trubnikov G.V., Udut V.N., Ziskin G.F. Cryogenics for the Future Accelerator Complex NICA at JINR. *Letters in the Journal of Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei*. 2014; 11. (4) (188):760-767. (In Russ)
19. Shein S.E., Strutsev E.D., Nechaev G.P., Chichindaev A.V. Comparative Analysis of Cooling Systems Based on Cryogenic Coolants. *Science. Technology. Innovation. Collection of Scientific Papers in 9 parts*. Edited by A.V. Gadyukin. 2018; 80-83. (In Russ)
20. Pustovit A.N., Ionov A.M. Cryogenic Cooling System for a Secondary Ion Mass Spectrometer with a Static Analyzer. *Instruments and Experimental Techniques*. 2014;1:133. (In Russ)
21. Vinokurov E.V. Central Processor Device for a Personal Computer. *Scientific Statements*. 2022;1(9): 20-22. (In Russ)

Сведения об авторах:

Страшко Егор Игоревич, студент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; tukann.tukann@mail.ru

Шамаров Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; schmax@mail.ru

Жлобо Руслан Андреевич, старший преподаватель кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; rzhlobo@bk.ru

Information about authors

Egor I. Strashko, Student, Department of Technological Equipment and Life Support Systems; tukann.tukann@mail.ru

Maxim V. Shamarov, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Department of Technological Equipment and Life Support Systems; schmax@mail.ru

Ruslan A. Zhlobo, Senior Lecturer, Department of Technological Equipment and Life Support Systems; rzhlobo@bk.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 12.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 29.12.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 29.12.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 001.57



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-31-39

Оригинальная статья/ Original article

Исследование зависимостей антенны Вивальди с резонатором в программном комплексе электродинамического моделирования

Т.Г. Асланов^{1,2}, С.А. Ибрагимов²

¹Институт конструкторско-технологической информатики РАН,

¹127055, г. Москва, Вадковский пер., д.18, стр. 1А, Россия,

²Дагестанский государственный технический университет,

²367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является оптимизация компьютерной модели антенны Вивальди с токопроводящими пластинами на одной стороне с резонатором. **Метод.** Исследование основано на методах электродинамического моделирования. **Результат.** Проведен сравнительный анализ двух типов антенн Вивальди зависимости ширины диаграммы направленности в двух плоскостях $\theta = 90^\circ$ (плоскость раскрыва антенны) и $\varphi = 0^\circ$ (плоскость перпендикулярная плоскости раскрыва антенны) и коэффициента стоячей волны от радиуса кривой токопроводящих пластин в виде лепестков и величин раскрыва. Исследование проводится в частотном диапазоне от 3 до 24 ГГц. Определено влияние формы, размеров и положения резонатора на значение КСВ и ширину диаграммы направленности антенны. Проведен сравнительный анализ значений КСВ для разных форм и размеров резонатора. Выявлены основные параметры резонатора, которые влияют на характеристики антенны. **Вывод.** Электродинамическое моделирование позволяет получить антенну Вивальди с необходимой шириной диаграммы направленности с улучшенным коэффициентом стоячей волны.

Ключевые слова: антенна Вивальди, радиус кривой, токопроводящие пластины, полосок, математическая модель, резонатор, диаграмма направленности, коэффициент стоячей волны

Для цитирования: Т.Г. Асланов, С.А. Ибрагимов. Исследование зависимостей антенны Вивальди с резонатором в программном комплексе электродинамического моделирования. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):31-39. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-31-39

Investigation of the dependencies of the Vivaldi antenna with a resonator in the electrodynamic modeling software complex

T.G. Aslanov^{1,2}, S.A. Ibragimov²

¹Institute of Design and Technological Informatics, Russian Academy of Sciences,

¹18 Vadkovsky lane, build. 1A, Moscow 127055, Russia,

²Daghestan State Technical University,

²70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The goal of the study is to optimize a computer model of a Vivaldi antenna with conductive plates on the same side as the resonator. **Method.** The study is based on electrodynamic modeling methods. **Result.** The paper presents a computer model of a Vivaldi antenna with conductive plates on one side with a resonator. A comparative analysis of two types of Vivaldi antennas was carried out of the dependence of the beam width and the voltage standing wave ratio on the radius of the current-conducting plate curve in the form of lobes and the values of the opening in two planes $\theta = 90^\circ$ (the plane of the antenna's opening) and $\varphi = 0^\circ$ (the plane perpendicular to the antenna's opening plane) in the frequency range from 3 to 24 GHz. The influence of the shape, size and position of the resonator on the SWR value and the width of the antenna radiation pattern was determined. VSWR values are given for different shapes and sizes of the resona-

tor. The main parameters of the resonator have been identified, which affect the characteristics of the antenna. **Conclusion.** Electrodynamics modeling allows us to obtain a Vivaldi antenna with the required radiation pattern width with an improved standing wave ratio.

Keywords: Vivaldi antenna, curve radius, conductive plates, strips, mathematical model, resonator, radiation pattern, voltage standing wave ratio

For citation: T.G. Aslanov, S.A. Ibragimov. Investigation of the dependencies of the Vivaldi antenna with a resonator in the electrodynamics modeling software complex. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):31-39. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-31-39

Введение. В настоящее время антенны с расширяющейся щелью (антенны Вивальди) широко используются в различных устройствах, в таких как станция помех, устройства радиоразведки, медицинской технике и т.д. Ее популярность вызвана наличием преимуществ относительно других антенн, основными из которых являются: широкий диапазон рабочих частот, несложная конструкция, простые требования к изготовлению, высокий коэффициент усиления [1]. Несмотря на вышеперечисленные преимущества у такой антенны имеются и недостатки, самым основным из них является отсутствие как таковой методики расчета диаграммы направленности антенны Вивальди в заданном диапазоне частот. Существует множество работ, которые в определённой степени затрагивают данную проблему, но в них в основном рассматривается реализация антенн применительно к конкретным техническим задачам, что не позволяет их успешно применять в других задачах [3-5, 7-13]. На данный момент параметры подобных антенн подбираются эмпирически с помощью программных комплексов электродинамического моделирования таких, как CST Microwave Studio и HFSS Microwave Office [2].

В ранее опубликованных работах [14-19] была исследована антенна Вивальди с расположением токопроводящих пластин в виде лепестков с экспоненциально зависящими кривыми на разных сторонах тефлона, получена база данных [20]. В такие типы антенн невозможно встроить резонатор, в связи с чем возникла необходимость построения компьютерной модели с расположением проводящего слоя в виде лепестков на одной стороне полоска и его исследование на наличие отличительных особенностей от предыдущего типа антенны Вивальди.

Постановка задачи. Для исследования влияния резонатора антенны Вивальди на ее характеристики необходимо построить и оптимизировать компьютерную модель антенны с помощью программных комплексов электродинамического моделирования. По результатам моделирования антенны необходимо определить влияние формы, размеров и положения резонатора на ширину диаграммы направленности и коэффициента стоячей волны (КСВ). Для этих целей необходимо провести сбор статистических данных которые необходимо проанализировать и выявить зависимости ширины диаграммы направленности и значения КСВ от формы, размеров и положения резонатора.

Методы исследования. Для описания геометрии токопроводящих пластин антенны Вивальди, расположенных на одной стороне полоска, воспользуемся системой уравнений [6]:

$$\begin{cases} x = x_1 + k(x_2 - x_1); \\ y = \left(\frac{e^{R(x_1 + k(x_2 - x_1))}(y_2 - y_1) + y_1 e^{Rx_2} - y_2 e^{Rx_1}}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \right). \end{cases} \quad (1)$$

где: R – радиус токопроводящей пластины антенны;

y_1 – щель между токопроводящими пластинами антенны относительно оси абсцисс;

y_2 – раскрыв антенны, определяемый расстоянием от середины верхней части антенны до токопроводящих пластин;

x – переменная, изменяемая в пределах от 0 до x_2 , определяющую функцию y , задающую изменение кривой токопроводящих пластин от перекрытия до раскрыва антенны;

x_1 – переменная, задающая нижнюю точку начала токопроводящих пластин;
 x_2 – высота токопроводящих пластин и высота всей антенны;
 k – коэффициент.

Антенна реализована в виде компьютерной модели полоска в программной среде CST MicroWave Studio, с толщиной диэлектрического материала (тефлона) равной 0,5 мм, на которую нанесены токопроводящие пластины в виде лепестков с экспоненциально зависящими кривыми.

В отличие от рассмотренных в предыдущих работах антенн [14-19] у которой токопроводящие пластины были расположены по разные стороны полоска, где с помощью переменной y_1 задавалось перекрытие лепестков в этот раз будем задаваться щелью между токопроводящими пластинами антенны $y_1 = 0,1$ мм и определим нижнюю точку начала токопроводящих пластин в нижней части полоска, что соответствует значению $x_1 = 0$. Подставим заданные значения в уравнение (1), определяющее топологию лепестка y , получим:

$$y = \left(\frac{e^{Rx_2} (y_2 - 0,1) + 0,1e^{Rx_2} - y_2}{e^{Rx_2} - 1} \right), \quad (2)$$

Подставив в формулу значения остальных переменных получаем необходимую компьютерную модель антенны Вивальди с токопроводящими пластинами, расположенными на одной стороне полоска.

На рис. 1 приведена оптимизированная по КСВ не превышающего значения 2 в диапазоне частот от 3 до 24 ГГц, компьютерная модель антенны Вивальди с токопроводящими пластинами в виде лепестка расположенными на одной стороне полоска со следующими параметрами $x_2 = 120$ мм; $y_2 = 40$ мм; $R = 0,08$ мм. Следует отметить, что оба лепестка антенны симметричны друг другу относительно оси абсцисс.

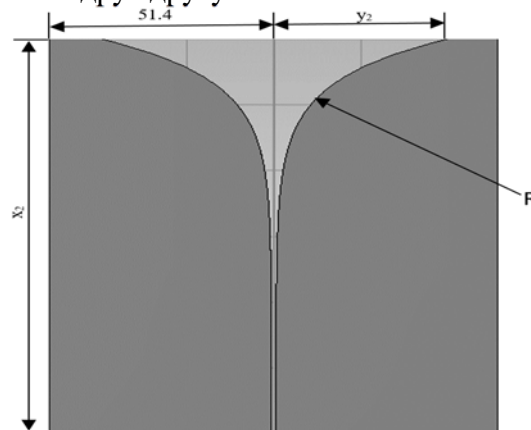


Рис. 1. Компьютерная модель антенны Вивальди с расположением токопроводящих пластин на одной стороне полоска

Fig. 1. Computer model of a Vivaldi antenna with conductive plates located on one side of the strip

При динамическом моделировании компьютерной модели антенны Вивальди было замечено, что величина щели между токопроводящими пластинами антенны значительно влияет на значение КСВ, что не было свойственно для типа антенны с расположением токопроводящих пластин на разных сторонах полоска. Так же отличием является то, что сигнал между токопроводящими пластинами в этом типе антенны распространяется в пространстве, в отличие от предыдущего типа, где сигналу проходил через тефлон, что как известно сказывается на его скорости (она уменьшается) и соответственно на длину волны сигнала, т. к. у тефлона выше диэлектрическая проницаемость.

В результате обнаруженных отличий в конструкции возникла необходимость исследовать на сколько данная антенна отличается от ранее рассмотренной по значениям ширины диаграммы направленности и КСВ антенны в зависимости от ее топологии. Для этого были собраны данные зависимости ширины диаграммы направленности и КСВ от раскрыва антенны y_2 при значении радиуса кривой антенны $R=0,08$ при этом значения y_2 менялись от 10 мм до 50 мм с шагом 10 мм в двух плоскостях $\theta = 90^\circ$ (плоскость раскрыва антенны) и $\varphi = 0^\circ$

(плоскость перпендикулярная плоскости раскрыва антенны), в диапазоне частот от 3 до 24 ГГц.

Обсуждение результатов. Полученные результаты зависимостей показали, что для всех значений раскрыва антенны y_2 значение КСВ было лучше у антенны Вивальди с расположением токопроводящих пластин на одной стороне. Для наглядности полученные результаты приведены на рисунке 2 для антенны с расположением токопроводящих пластин на одной стороне полоска и на рис. 3 с расположением токопроводящих пластин на разных сторонах полоска, где 1 – это значение КСВ при $y_2=20$ мм, а 2 – значение КСВ при $y_2=40$ мм.

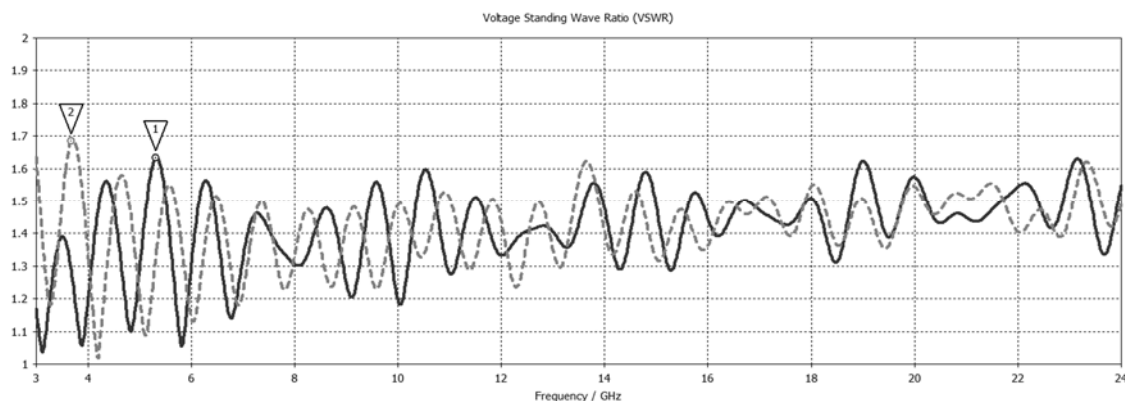


Рис. 2. Изменение значения КСВ для антенны Вивальди с расположением токопроводящих пластин на одной стороне полоска

Fig. 2. Changing the SWR value for a Vivaldi antenna with conductive plates located on one side of the strip

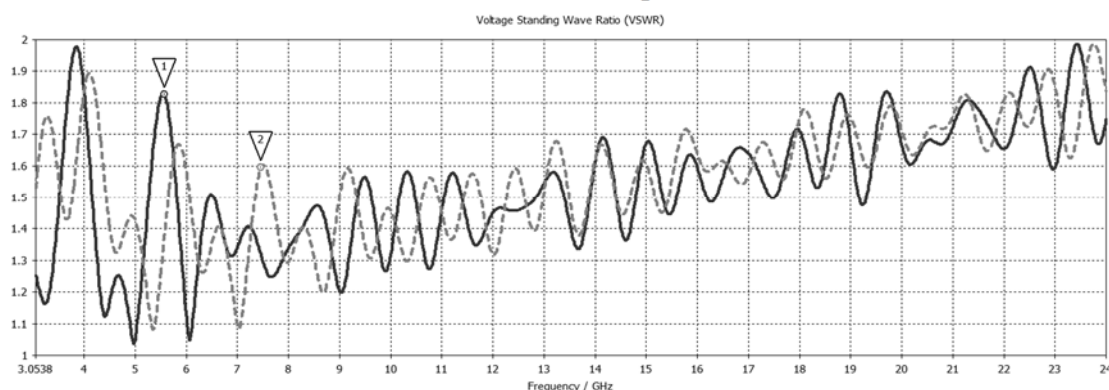


Рис. 3. Изменение значения КСВ для антенны Вивальди с расположением токопроводящих пластин на разных сторонах полоска

Fig. 3. Changing the SWR value for a Vivaldi antenna with conductive plates located on different sides of the strip

Для ширины диаграммы направленности результаты отличаются от ранее проведенных исследований, когда токопроводящие пластины располагались по разные стороны от диэлектрической подложки.

В случае, когда токопроводящие пластины в виде лепестков расположены с одной стороны полоска в плоскости перпендикулярной плоскости антенны для нижней частоты диапазона $F=3$ ГГц ширина диаграммы направленности больше, для верхней частоты диапазона $F=24$ ГГц наоборот меньше. В плоскости антенны для нижней частоты диапазона $F=3$ ГГц происходит обратная ситуация, но для верхней частоты диапазона $F=24$ ГГц ширина диаграммы направленности все так же меньше чем в предыдущем типе антенны Вивальди. Полученные результаты представлены в табл. 1, где 1 сторона – антенна в которой токопроводящие пластины в виде лепестков расположены по одну сторону полоска, а 2 стороны – антенна в которой токопроводящие пластины в виде лепестков расположены по разные стороны полоска. После сравнения двух типов антенн и выявления преимуществ антенны с расположением токопроводящих пластин на одной стороне полоска, была поставлена задача

построения компьютерной модели антенны Вивальди с резонатором, для дальнейшего исследования влияния формы и размеров резонатора на КСВ и ширину диаграммы направленности антенны.

Таблица 1. Зависимость ширины диаграммы направленности Q от значения раскрыва антенны y_2 .

Table 1. Dependence of the radiation pattern width Q on the antenna aperture value y_2 .

Частота, Frequency ГГц	Плоскость Plane	Регулируемый параметр Adjustable Parameter	Значения раскрыва y_2 Opening values				
			10 мм	20 мм	30 мм	40 мм	50 мм
3	$\theta = 90^\circ$	1 сторона	50.9	57.1	53.9	52.0	50.9
		2 стороны	94,4	77,9	67,1	60,7	56,6
	$\varphi = 0^\circ$	1 сторона	80.1	86.0	89.1	90.9	92
		2 стороны	70,1	78,9	85,4	88,8	90,0
8	$\theta = 90^\circ$	1 сторона	93.0	66.0	65.2	69.3	66.2
		2 стороны	113.0	78,5	81,5	80,7	77,0
	$\varphi = 0^\circ$	1 сторона	40.1	41.1	39.0	36.1	35.9
		2 стороны	76,2	77,2	72,9	62,4	59,3
14	$\theta = 90^\circ$	1 сторона	55.3	44.2	56.4	61.2	58.0
		2 стороны	60.4	42.6	71.1	83.8	71.8
	$\varphi = 0^\circ$	1 сторона	57.8	51.9	41.7	40.0	38.3
		2 стороны	68.8	40.1	36.8	38.9	39.9
19	$\theta = 90^\circ$	1 сторона	38.6	41.3	46.3	44.6	50.8
		2 стороны	51.0	56.4	57.8	49.7	56.8
	$\varphi = 0^\circ$	1 сторона	38.2	36.8	39.8	40.3	40.1
		2 стороны	40.1	38.8	43.4	44.0	44.4
24	$\theta = 90^\circ$	1 сторона	35.3	54.8	44.9	43.5	45.9
		2 стороны	41.0	61.8	59.9	50.6	54.9
	$\varphi = 0^\circ$	1 сторона	28.0	26.8	28.4	27.2	28.5
		2 стороны	40.6	32.1	31.4	28.4	28.9

Самым распространённой формой резонатора в антенне Вивальди является круг, который является частным случаем эллипса. Так как стоит задача исследовать влияние различных форм резонатора на характеристики антенны, было принято решение промоделировать резонатор в форме эллипса, что даст возможность вытягивать его как по вертикали, так и по горизонтали. Для построения резонатора воспользуемся уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (3)$$

где: a – большая полуось эллипса;

b – малая полуось эллипса;

x – переменная, изменяемая в пределах от 0 до 100, определяющую функцию y , задающую изменение кривой эллипса;

На рис. 4 приведена компьютерная модель антенны Вивальди с токопроводящими пластинами в виде лепестков расположенными по одну сторону полоска с добавлением резонатора. Необходимо отметить, что резонатор добавлен к антенне с нижней стороны так, чтобы он являлся продолжением щели в обртаном направлении от направления излучения. Первоначально было рассмотрено расположение резонатора на плоскости антенны без изменения ее размеров, по отношению к антенне исследуемой до добавления резонатора.

Полученная модель антенны показала, что диапазон частот сместился в сторону высоких частот. После выставленной оптимизации антенны по уровню КСВ не превышающего значения 2 в диапазоне частот от 3 до 24 ГГц была получена антенна с размерами превышающими антенну без резонатора, что свидетельствует о том, что резонатор необходимо разместить дополнительно к антенне представленной на рис. 1. Добавление резонатора к антенне, представленной на рис. 1, увеличивает размер антенны на величину

равной сумме значения малой полуоси резонатора b и отступ от нижнего края резонатора. Значение отступа было определено в процессе исследования и так как его размер минимально влияет на характеристики антенны размер был задан равный 5 мм, чтобы не увеличивать размеры антенны с одной стороны и с другой стороны, чтобы переход под резонатором не был слишком узким.

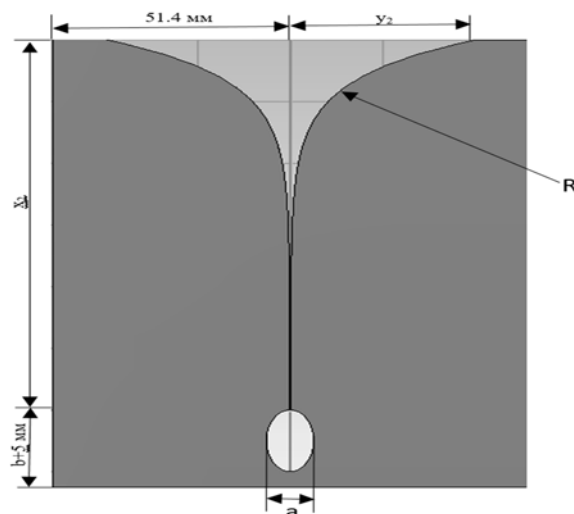


Рис. 4. Компьютерная модель антенны Вивальди с резонатором
Fig. 4. Computer model of a Vivaldi antenna with a resonator

В процессе моделирования были получены значения КСВ в диапазоне частот от 3 до 24 ГГц при изменении формы резонатора. Были исследованы три разные формы резонатора, когда малая a и большая b полуоси резонатора принимали разные значения, а именно в случаях при которых a больше b эллипс вытянут по горизонтали, a меньше b эллипс вытянут по вертикали и a равно b это круг.

Так было установлено, что при разных формах в значениях КСВ происходят всплески на разных частотах, например, когда эллипс вытянут по вертикали КСВ лучше практически во всем диапазоне всплеск наблюдается только на частотах от 7 до 9 ГГц, а в случае, когда эллипс вытянут по горизонтали, наблюдается обратная ситуация.

На рис. 5 показано изменение значения КСВ в зависимости от формы резонатора, где кривой 1 соответствует случай, когда резонатор представлен в форме круга (a равен 10 мм, b равен 10 мм), кривой 2 – когда резонатор вытянут по горизонтали (a равен 25 мм, b равен 10 мм), кривой 3 – когда резонатор вытянут по вертикали (a равен 2 мм, b равен 10 мм).

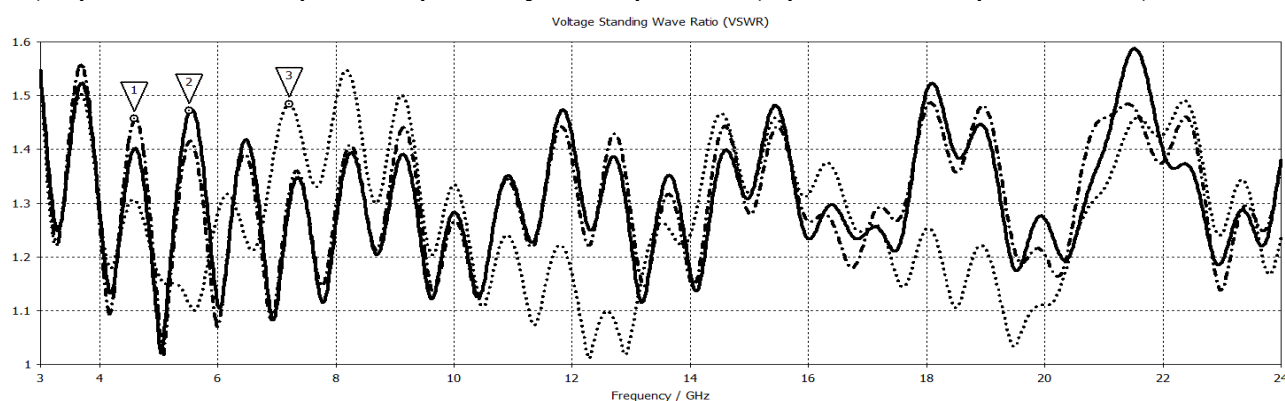


Рис. 5. Изменение значения КСВ в зависимости от формы резонатора
Fig. 5. Changing the SWR value depending on the shape of the resonator

При дальнейшем изменении формы и размеров резонатора было замечено, что на КСВ влияет значение периметра резонатора что соотносится с теорией о том, что сигнал идет вдоль периметра резонатора и возвращается обратно в точку подключения источника питания и от того вернется ли сигнал в фазе или противофазе для определенной частоты из частотного диапазона, зависит улучшиться КСВ на этой частоте или ухудшиться.

В процессе исследования было замечено, что при равных значениях периметра резонатора для вытянутой по вертикали формы значения КСВ лучше, чем в других случаях, это связано с тем, что источник питания лучше согласован при такой форме, так как угол перехода из щели в резонатор в этом случае меньше, чем в случае, когда резонатор вытянут по горизонтали.

Так же выполнена задача по определению влияния формы резонатора и ее размеров на ширину диаграммы направленности и КСВ. Как показали результаты исследования на КСВ и диаграмму направленности влияет как значение периметра резонатора, так и его форма. При вытянутом вертикально резонаторе сигнал полностью проходит по резонатору и возвращается обратно, а в других случаях переход из щели вместе соединения источника питания в резонатор оказывается слишком резким и часть сигнала рассеивается в связи с высоким сопротивлением. Применение формы резонатора в виде эллипса дает возможность уменьшить высоту антенны Вивальди, чем в случае если формой резонатора будет круг.

Вывод. В результате выполненной работы выявлена связь между разными типами антенн Вивальди, экспериментально подтверждено, что зависимости КСВ и ширины диаграммы направленности от топологии антенны остались те же, изменились только их значения. Это позволяет нам использовать единую математическую модель с определенной корректировкой коэффициентов. Так же построена компьютерная модель антенны Вивальди с резонатором, из которой видно, что общая высота антенны увеличилась относительно предыдущих антенн в диапазоне частот от 3 до 24 ГГц.

Определено влияние формы и размеров резонатора антенны Вивальди на формирование диаграммы направленности и значение КСВ. Несмотря на увеличение размеров антенны добавление резонатора улучшило значение КСВ.

В итоге, имея математическую модель и результаты влияния резонатора на характеристики антенны можно получить антенну Вивальди с необходимой шириной диаграммы направленности и с улучшенным КСВ относительно предыдущих типов антенны. Исследование различных типов антенн Вивальди и их сравнительный анализ дает возможность применения различных типов антенн Вивальди для конкретных задач с учетом их особенностей.

Библиографический список:

1. C. Fairclough. Анализ конструкции антенны Вивальди [Электронный ресурс]. 2015 г. Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/vivaldi-antenna-design-analysis/>. Дата обращения 11.04.2018.
2. TSA, или антенна Вивальди [Электронный ресурс]. 2014 г. Режим доступа: <http://dl2kq.de/ant/3-90.htm>. Дата обращения 13.04.2018.
3. Maaskant R., Analytical and Numerical Modeling of Currents on Vivaldi Antennas for Radio Astronomy, ASTRON Eindhoven University of Technology - 100p. 2003
4. Чернышев С.Л., Виленский А.Р., Сю С., Люй С., Лю Ю. Разработка и исследование модифицированной антенны Вивальди в составе плоской широкополосной антенной решётки X-диапазона [Электронный ресурс]. 2011 г. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/247762.html>. Дата обращения 03.04.2018.
5. Виленский А.Р. Метод анализа пространственно-временных характеристик излучения печатных щелевых антенн бегущей волны // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. Журн. 2014. № 5. С. 139-154. Режим доступа : <http://technomag.bmstu.ru/doc/710740.html>
6. T. G. Aslanov and A. N. Zhukov, "Choice of geometry of directional lobes of Vivaldi, depending on the base width of the radiation pattern and a frequency band," 2013 IX International Conference on Antenna Theory and Techniques, Odessa, 2013, pp. 352-354, doi: 10.1109/ICATT.2013.6650775.
7. A. Mehdi-pour, K. Mohammadpour-Aghdam and R. Faraji-Dana, "Complete dispersion analysis of vivaldi antenna for ultra wideband applications" Progress In Electromagnetics Research, PIER 77, 85–96, 2007.
8. S. Lin, S. Yang, A. E. Fath, "Development of a novel uwb vivaldi antenna array using siw technology" Progress In Electromagnetics Research, PIER 90, 369–384, 2009.
9. E. Gazit, "Improved design of the Vivaldi antenna", IEE Proc., Vol.135, Pt.H, No.2, pp. 89-92, 1988
10. S. Zhong, X. Yan, X. Liang, "UWB planar antenna technology" Front. Electr. Electron. Eng. China, 3(2): 136–144, 2008. DOI: 10.1007/s11460-008-0036-0
11. XiaoXiang He, Teng Chen, and XinWang, "A Novel Low RCS Design Method for X-Band Vivaldi Antenna" Front. Electr. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation Volume, Article ID 218681, 6 pages, 2012. DOI: 10.1155/2012/218681

12. Sang-Gyu Kim, Kai Chang, "A low cross-polarized antipodal Vivaldi antenna array for wideband operation," Antennas and Propagation Society International Symposium, Volume 3, June 2004, pp. 2269-2272.
13. N. Hamzah, K.A. Othman "Designing Vivaldi Antenna with Various Sizes using CST Software" Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol II WCE 2011, July 6 - 8, 2011, London, U.K.
14. Асланов, Т. Г. Исследование топологии антенны Вивальди с зеркальным расположением лепестков / Т. Г. Асланов, С. А. Ибрагимов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. – Т. 45, № 3. – С. 76-84. DOI 10.21822/2073-6185-2018-45-3-76-84.
15. Ибрагимов, С. А. Исследование топологии антенны Вивальди / С. А. Ибрагимов // Компьютерные технологии и моделирование в науке, технике, экономике, образовании и управлении: тенденции и развитие: Материалы международной научно-технической конференции, Махачкала, 16–18 октября 2019 года. – Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2019. – С. 292-295.
16. Асланов, Т. Г. Исследование топологии антенны Вивальди / Т. Г. Асланов, С. А. Ибрагимов // Научные исследования: итоги и перспективы. – 2020. – Т. 1, № 4. – С. 28-35. – DOI 10.21822/2713-220X-2020-1-4-28-35.
17. Асланов, Т. Г. Исследование зависимости ширины диаграммы направленности от основных параметров топологии антенны с расширяющейся щелью / Т. Г. Асланов, С. А. Ибрагимов // Использование цифровых образовательных платформ в образовательном процессе : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, VI Всероссийской научно-практической конференции, Махачкала, 25 июня 2021 года. – Махачкала: Типография "Rizo press" (РИЗО ПРЕСС ИП Гаджиев С.С.), 2021. – С. 5-12.
18. Ибрагимов, С. А. Формирование топологии антенны Вивальди с применением искусственной нейронной сети / С. А. Ибрагимов // Неделя науки - 2021 : Сборник материалов 42 итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ, Махачкала, 17–22 мая 2021 года. – Махачкала: Типография ФОРМАТ, 2021. – С. 83-85.
19. Ибрагимов, С. А. Исследование зависимостей антенны Вивальди с двумя радиусами кривых в программном комплексе электродинамического моделирования / С. А. Ибрагимов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – Т. 49, № 1. – С. 49-58. – DOI 10.21822/2073-6185-2022-49-1-49-58.
20. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022620747 Российская Федерация. База данных автоматизации разработки топологии антенны Вивальди с экспоненциальной кривой по данным ширины диаграммы направленности и параметрам ее топологии : № 2022620623 : заявл. 29.03.2022 : опубл. 05.04.2022 / С. А. Ибрагимов, Т. Г. Асланов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет».

References

1. C. Fairclough. Analysis of the design of the antenna Vivaldi [Electronic resource]. 2015 Access mode: <https://www.comsol.ru/blogs/vivaldi-antenna-design-analysis/>. Date of circulation 04/11/2018.
2. TSA, or Vivaldi's antenna [Electronic resource]. 2014 г. Access mode: <http://dl2kq.de/ant/3-90.htm>. Date of circulation 04/13/2018.
3. T. G. Aslanov and A. N. Zhukov, "Choice of geometry of directional lobes of Vivaldi, depending on the base width of the radiation pattern and a frequency band," 2013 IX International Conference on Antenna Theory and Techniques, Odessa, 2013, pp. 352-354, doi: 10.1109/ICATT.2013.6650775.
4. Chernyshev S.L., Vilensky A.R., Syu S., Liu S., Liu Yu. Development and investigation of the modified Vivaldi antenna in the flat broadband X-band antenna array [Electronic resource]. 2011 Access mode: <http://technomag.edu.ru/doc/247762.html>. Date of circulation 04/03/2018. (In Russ)
5. Vilensky A.R. A method for analyzing the space-time characteristics of propagation of printed slit antennas of a traveling wave // Science and Education. MSTU them. N.E. Bauman. Electron. Jour. 2014. No. 5. pp. 139-154. Access mode: <http://technomag.bmstu.ru/doc/710740.html> (In Russ)
6. Maaskant R., Analytical and Numerical Modeling of Currents on Vivaldi Antennas for Radio Astronomy, ASTRON Eindhoven University of Technology - 100p. 2003.
7. Mehdipour, K. Mohammadpour-Aghdam and R. Faraji-Dana, "Comprehensive dispersion analysis of vivaldi antennas for ultra wideband applications". Progress in Electromagnetics Research, PIER 77, 2007: 85-96,
8. S. Lin, S. Yang, A. E. Fath, "Development of a novel uwb vivaldi antenna array using siw technology". Progress in Electromagnetics Research, PIER 90, , 2009: 369-384.
9. E.Gazit, "Improved design of the Vivaldi antenna", IEE Proc., Pt.H, 1988; 135 (2): 89-92,
10. S. Zhong, X. Yan, X. Liang, "UWB planar antenna technology" Front. Electr. Electron. Eng. China, 2008; 3 (2): 136-144, DOI: 10.1007 / s11460-008-0036-0
11. XiaoXiang He, Teng Chen, and XinWang, "A Novel Low RCS DesignMethod for X-Band Vivaldi Antenna" Front. Electr. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation Volume, Article ID 218681, 2012: 6 . DOI: 10.1155 / 2012/218681

12. Sang-Gyu Kim, Kai Chang, "A low cross-polarized antipodal Vivaldi antenna array for wideband operation," Antennas and Propagation Society International Symposium, June 2004; 3: 2269-2272.
13. N. Hamzah, K.A. Othman "Designing Vivaldi Antenna with Various Sizes using CST Software" Proceedings of the World Congress on Engineering 2011; II WCE 2011, July 6 - 8, 2011, London, U.K.
14. Aslanov, T. G. Research of the topology of the Vivaldi antenna with a mirror arrangement of petals/ T. G. Aslanov, S. A. Ibragimov. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2018; 45(3):76-84. – DOI 10.21822/2073-6185-2018-45-3-76-84. (In Russ)
15. Ibragimov, S. A. Research of the antenna topology Vivaldi/S. A. Ibragimov. Computer technologies and modeling in science, technology, economics, education and management: trends and development: Materials of the international scientific and technical conference, Makhachkala, October 16-18, 2019. Makhachkala: Dagestan State Technical University, 2019; 292-295. (In Russ)
16. Aslanov, T. G. Research of the antenna topology Vivaldi/T. G. Aslanov, S. A. Ibragimov. *Scientific research: results and prospects*. 2020; 1(4): 28-35. – DOI 10.21822/2713-220X-2020-1-4-28-35. (In Russ)
17. Aslanov, T. G. Study of the dependence of the beam width on the main parameters of the topology of an antenna with an expanding gap/T. G. Aslanov, S. A. Ibragimov//Use of digital educational platforms in the educational process: Collection of scientific works of the International Scientific and Practical Conference, VI All-Russian Scientific and Practical Conference, Makhachkala, June 25, 2021. - Makhachkala: Rizo Press Printing House (RIZO PRESS IP Hajiyev S.S.), 2021: 5-12. (In Russ)
18. Ibragimov, S. A. Formation of the topology of the Vivaldi antenna using an artificial neural network/S. A. Ibragimov//Science Week - 2021: Collection of materials 42 of the final scientific and technical conference of teachers, employees, graduate students and students of DSTU, Makhachkala, May 17-22, 2021. - Makhachkala: Printing house FORMAT, 2021: 83-85. (In Russ)
19. Ibragimov, S. A. Research of dependencies of the Vivaldi antenna with two radii of curves in the program complex of electrodynamic modeling. S. A. Ibragimov. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2022; 49(1): 49-58. – DOI 10.21822/2073-6185-2022-49-1-49-58. (In Russ)
20. Certificate of State Registration of Database No. 2022620747 of the Russian Federation. Database of automation of development of Vivaldi antenna topology with exponential curve according to beam width data and parameters of its topology: No. 2022620623: declared. 29.03.2022: publ. 05.04.2022 /S. A. Ibragimov, T. G. Aslanov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Dagestan State Technical University." (In Russ)

Сведения об авторах:

Асланов Тагирбек Гайдарбекович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории №3 «Информационные процессы в автоматизированных машиностроительных системах»¹, кафедра программного обеспечения, вычислительной техники и автоматизированных систем²; tabasik@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5594-3554

Ибрагимов Султансайд Абдуллагаджиевич, аспирант, кафедра программного обеспечения, вычислительной техники и автоматизированных систем ; Sult_992@mail.ru

Information about authors:

Tagirbek G. Aslanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Senior Researcher at laboratory N3 "Information processes in automated engineering systems"¹, Department of Software, Computer Engineering and Automated Systems²; tabasik@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5594-3555

Sultansaid A. Ibragimov, Postgraduate Student, Department of Software, Computer Engineering and Automated Systems; Sult_992@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 07.11.2023.

Одобрена после/рецензирования Revised 02.12.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 02.12.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.051



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-40-45

Оригинальная статья /Original article

**Эвристическое принятие решений выбора моделей дронов
по заданным характеристикам**

В. В. Афонин, В.В. Никулин

Национальный исследовательский

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,

430005, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68, Россия

Резюме. Цель. Заметный интерес к таким летательным аппаратам, как дроны различного назначения, выдвигает определенные требования к их характеристикам. Характеристики могут быть разделены на информационно-технические и потребительские с финансовой точки зрения. При этом они имеют свои единицы измерения. В связи с этим возникает задача отбора и ранжирования дронов по какому-либо критерию или числовой метрике. **Метод.** В данной работе рассматривается определенный эвристический подход к сортировке выборки дронов по ключу предлагаемой метрики. В эвристическом подходе есть определенная вариативность установки привлекательности того или иного дрона на взгляд лица, принимающего решение о приобретении или конкретного выбора из существующей линейки дронов, доступных для обозрения по своим характеристикам. **Результат.** Предлагается в имеющихся характеристиках выделить несколько групп, разнородных по своим свойствам, как очевидным, так и интуитивно созданным: «хорошие», «очень хорошие», «менее привлекательные», «наименее привлекательные». Считая, что рассматривается несколько моделей дронов с одинаковыми характеристиками, разделенных на указанные группы, вводятся числовые коэффициенты для формирования метрики, по которой будет осуществляться ранжирование данной линейки или выборки дронов по рассчитанным метрикам. **Вывод.** В основе предлагаемого эвристического алгоритма лежит переход к приведенным значениям числовых характеристик относительно максимального каждой группы характеристик с вычислением среднего арифметического приведенных значений. В зависимости от типа указанных групп введенные в рассмотрение коэффициенты прибавляются или вычитаются от разницы текущей характеристики и ее среднего или разницы среднего и текущей характеристики. На этой основе вычисляются метрики, по которым производится ранжирование данной выборки моделей дронов.

Ключевые слова: модели дронов, приведенные значения характеристик, ранжирование, средние значения приведенных характеристик, матрица характеристик, числовые метрики

Для цитирования: В.В. Афонин, В.В. Никулин. Эвристическое принятие решений выбора моделей дронов по заданным характеристикам. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024;51(1):40-45. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-40-45

Heuristic decision making selection of drone models according to specified characteristics

V. V. Afonin, V.V. Nikulin

N.P. Ogarev National Research Mordovia State University,

68/1 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia

Abstract. Objective. The noticeable interest in aircraft such as drones for various purposes puts forward certain requirements for their characteristics. Characteristics can be divided into information technology and consumer characteristics from a financial point of view. At the same time, they have their own units of measurement. In this regard, the task of selecting and ranking

drones according to some criterion or numerical metric arises. Considering that this problem is quite relevant, this paper considers a certain heuristic approach to sorting a sample of drones by the key of the proposed metric. **Method.** In the heuristic approach, there is a certain variability in determining the attractiveness of a particular drone in the opinion of the person making the decision to purchase or a specific choice from the existing line of drones available for review based on their characteristics. **Result.** It is proposed to identify several groups in the existing characteristics, heterogeneous in their properties, both obvious and intuitively created: “good”, “very good”, “less attractive”, “least attractive”. Assuming that several models of drones with the same characteristics are being considered, divided into the specified groups, numerical coefficients are introduced to form a metric by which a given line or selection of drones will be ranked according to the calculated metrics. **Conclusion.** The proposed heuristic algorithm is based on the transition to the reduced values of numerical characteristics relative to the maximum of each group of characteristics with the calculation of the arithmetic mean of the given values. Depending on the type of specified groups, the coefficients entered into consideration are added or subtracted from the difference between the current characteristic and its average or the difference between the average and the current characteristic. On this basis, metrics are calculated by which the given sample of drone models is ranked.

Keywords: drone models, reduced values of characteristics, ranking, average values of given characteristics, matrix of characteristics, numerical metrics.

For citation: V. V. Afonin, V.V. Nikulin. Heuristic decision making selection of drone models according to specified characteristics. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):40-45. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-40-45

Введение. Развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или кратко дронов представлено во многих сферах [1–7]. С развитием электронной, микропроцессорной, вычислительной техники и в целом информационных технологий появляется возможность применить имеющиеся методы и алгоритмы для выбора типовых БПЛА (дронов) с заданными характеристиками или свойствами. Подобные задачи оценки качества существующих объектов со многими характеристиками привлекают внимание исследователей [8–15] в различной прикладной деятельности. Подходы в решении таких задач могут быть математически или эвристически обоснованными. Эвристические оценки во многом дают достаточно статистически обоснованные результаты. Определенные наработки имеются в оценке качества и контроля услуг мобильной связи [8, 12, 16]. В связи с этим становится очевидным разработка цифровых алгоритмов и приемов для оценки качества линейки типовых объектов с разнородными свойствами, характеризующие как технические, так и потребительские свойства.

Постановка задачи. Выбор объекта из заданной совокупности для пользователя может быть нетривиальной. Поэтому следует предложить инженерно-информационную методику, по которой может быть осуществлен выбор более предпочтительных объектов из их совокупности на основе каких-либо показателей или метрик. При этом в маркировке характеристик объектов остается за лицом, принимающим решение. Именно данному вопросу и посвящена данная работа. в которой на примере линейки условных моделей дронов с действительными характеристиками предлагается способ, позволяющий сделать требуемый выбор.

Методы исследования. Для проведения оценки дронов были использованы общепринятые характеристики с условным обозначением моделей БПЛА – дронов: Дрон №1, Дрон №2, Дрон №3, Дрон №4, Дрон №5, Дрон №6, Дрон №7, Дрон №8. Общая схема исследования приведена на рис. 1.

Типовые характеристики, принятые для дальнейшего рассмотрения, следующие:

1. Разрешение камеры наблюдения, (Мп) (№1)
2. Частота кадров в режиме 4К, (кадр в сек.) (№2)

3. Время полёта, (мин) (№3)
4. Дальность полёта, (м) (№4)
5. Максимальная скорость (м/сек) (№5)
6. Облёт препятствий (№6)
7. Высота полёта над уровнем моря (м) (№7)
8. Общий размер (см) (№8)
9. Вес (г) (№9)
10. Цена, от (руб) (№10)

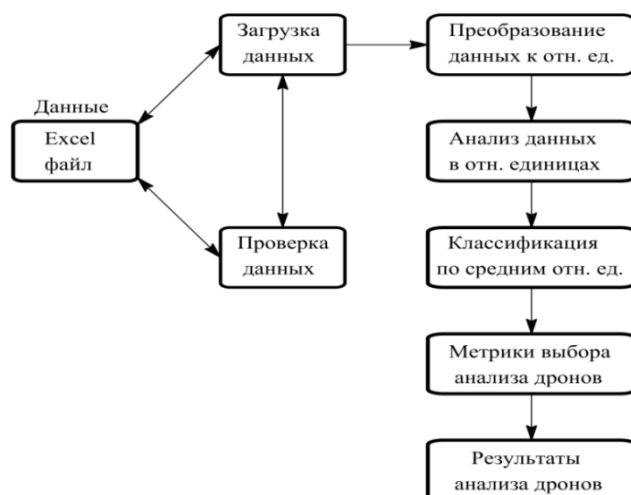


Рис. 1. Схема исследования совокупности дронов

Fig. 1. Scheme of studying a set of drones

Данные с условными наименованиями моделей дронов с их характеристиками представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики дронов

Table 1. Drone characteristics

Модель дронов Model drones	Характеристики дронов Drone characteristics									
	№1 (+)	№2 (+)	№3 (++)	№4 (++)	№5 (++)	№6 (+)	№7 (+)	№8 (–)	№9 (–)	№10 (– –)
Дрон №1	9	30	23	2000	18	0	3500	691929,36	700	36 000
Дрон №2	12	30	35	5000	18	1	5000	157855,2	765	38 000
Дрон №3	9	30	25	4000	13	1	5000	106262	400	74 000
Дрон №4	9	60	30	6000	17	0	4000	3840480	826	94 000
Дрон №5	20	60	31	18500	19	1	5000	356502,3	595	110 000
Дрон №6	9	20	20	10000	20	1	6000	1010412	795	170 000
Дрон №7	48	60	40	9000	20	1	7000	1034825	1100	200 000
Дрон №8	20	50	46	15000	21	1	6000	869,59	895	270 000

В табл. 1 введены условные показатели (+), (++), (–), (– –), которые

+ соответствует «хорошей» характеристике,

++ соответствует «очень хорошей» характеристике,

– соответствует «менее привлекательной» характеристики,

– – соответствует «наименее привлекательной» характеристики.

Для последующих расчетов по табл. 1 сформирован кодированный массив РМ вида

$PM = [1, 1, 2, 2, 2, 1, 1, 0, 0, -1]$;

По массиву РМ сначала подсчитываются количество (n) положительных значений и количество (m) неположительных значений: $n = 7$, $m = 3$. Соответственно, число «хороших» характеристик равно 4, «очень хороших» равно 3. Для менее привлекательных характеристик и наименее привлекательных принимаются числа 2 и 1. Общий предлагаемый алгоритм оценки качества, привлекательности дронов для потребителя приведен на рис. 2.

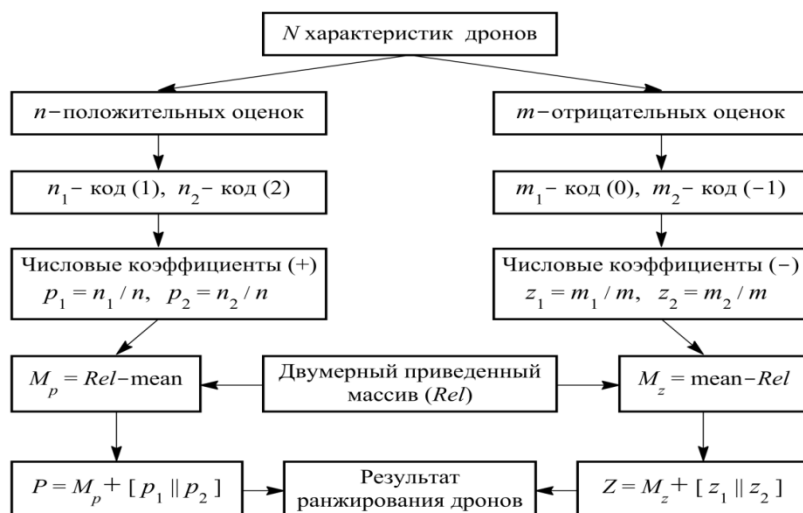


Рис. 2. Общий предлагаемый алгоритм оценки дронов

Fig. 2. General proposed drone evaluation algorithm

В соответствии с рис. 1 и табл.1 приведенные значения характеристик исследуемых дронов в виде обыкновенных дробей сведены в табл. 2.

Таблица 2. Приведенные значения характеристик дронов

Table 2. Given values of drone characteristics

Модель дронов Model drones	Приведенные характеристики дронов Drone characteristics									
	№1 (+)	№2 (+)	№3 (++)	№4 (++)	№5 (++)	№6 (+)	№7 (+)	№8 (–)	№9 (–)	№10 (– –)
Дрон №1	3/16	1/2	1/2	4/37	6/7	0	1/2	1399/7765	7/11	2/15
Дрон № 2	1/4	1/2	35/46	10/37	6/7	1	5/7	79/1922	153/220	19/135
Дрон №3	3/16	1/2	25/46	8/37	13/21	1	5/7	113/4084	4/11	37/135
Дрон №4	3/16	1	15/23	12/37	17/21	0	4/7	1	413/550	47/135
Дрон №5	5/12	1	31/46	1	19/21	1	5/7	739/7961	119/220	11/27
Дрон №6	3/16	1/3	10/23	20/37	20/21	1	6/7	221/840	159/220	17/27
Дрон №7	1	1	20/23	18/37	20/21	1	1	890/3303	1	20/27
Дрон №8	5/12	5/6	1	30/37	1	1	6/7	7/30915	179/220	1

Обсуждение результатов. Уточним этапы алгоритма, приведенного на рис. 2. Коэффициенты, отличные от единицы будут соответствовать только характеристикам, которые кодированы ++ и – – в соответствии с характеристиками табл. 2.

Соответственно, для «очень хороших» характеристик равен 3/7, а для «наименее привлекательной» характеристики 1/3. Реализация предлагаемого алгоритма может быть выполнена практически на любом языке программирования. Задача состоит в ранжировании заданных условных моделей дронов. Проведенные вычисления заключены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты ранжирования дронов по числовым метрикам

Table 3. Results of ranking drones by numerical metrics

№ п/п	Результаты ранжирования дронов по числовым метрикам		
	Модель дронов Model drones		Метрика Metrics
1	Дрон №4	→	–0,789256
2	Дрон №1	→	–0,532263
3	Дрон №6	→	0,455079
4	Дрон №3	→	0,879999
5	Дрон №2	→	1,240121
6	Дрон №8	→	1,868942
7	Дрон №7	→	2,063091
8	Дрон №5	→	2,433334

В соответствии с результатами, приведенные в табл. 3, наиболее предпочтительной моделью дрона является Дрон №5. Соответственно, наименее предпочтительная модель

дрона будет Дрон №4. В целом, модели дронов под номерами 4 и 1 следует считать «подозрительными» в плане их привлекательности для какой-либо цели использования.

Вывод. В статье рассмотрен и приведен эвристический метод оценки качества/привлекательности моделей дронов. Алгоритм с введением коэффициентов для расчета метрик в значительной степени отличается от алгоритмов рассмотренных и реализованных в [16, 17]. Авторы отдают себе отчет, что назначение числовых коэффициентов может вызывать вопросы у исследователей, занимающихся аналогичными задачами. В тоже время полученные результаты вполне адекватны данным, приведенным в табл. 1. Но алгоритм может работать для значительного количества моделей. Ограничение будет связано с возможностями компьютеров, на которых выполняются вычисления.

Библиографический список:

1. Салаев Б. К., Серёгин А. А., Эвиев В. А., Мучаев А. Б., Глечикова Н. А., Юдаев И. В. Анализ применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15. № 4 (60). С. 29–44.
2. Villa-Henriksen A., Edwards G. T., Pesonen L. A., Green O., Sorensen C. A. G. Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential//Biosyst. Eng.2020. Vol.191. P. 60–84.
3. Растопчин В. В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния // АвиаПанорама. – 2019. – №12.
4. Леонков А.П. Дроны начинают и выигрывают // Арсенал отечества. 2019. № 1. С. 30–35.
5. Селин А. И., Туркин И. К. Обзор целевых объектов применения беспилотных летательных аппаратов, работающих в составе группы. Научный вестник МГТУ ГА. 2023;26(2):91-105. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2023-26-2-91-105>
6. Klapa P., Božek P., Piech I. Charting topographic maps based on UAV data using the image classification method // Geomatics, Landmanagement and Landscape. 2019. № 2. P. 77–85. URL: <https://doi.org/10.15576/GLL/2019.2.77>.
7. Варламова, Л. (2019). Применение беспилотных летательных аппаратов в обеспечении технологической безопасности. Journal of Technical and Natural Sciences, 5(14), 54-90. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3519853>.
8. Макаров В. В., Протасов С. Н., Стародубов Д. О. Использование совокупности методов контроля для объективной оценки качества услуг мобильной связи // Проблемы современной экономики. 2017. № 2 (62). С. 202–204.
9. Макаров В. В., Гусев В. И., Сеница С. А. Методический подход к оценке информационных ресурсов // Информационные технологии и телекоммуникации. СПбГУТ. 2013. №3(3). С. 72–78.
10. Слуцкий М.Г., Макаров В.В., Посадский Д.А. Оценка эффективности СМК и ее взаимосвязь с концепцией TQM // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 6-2 (88). С. 168–171.
11. Афонин В. В., Савкина А. В., Никулин В. В. Алгоритм и методика ранжирования группы растровых изображений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 4. С. 58–67. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-58-67.
12. Гладкова М. А., Зенкевич Н. А., Сорокина А. А. Методика интегральной оценки и выбора качества услуг и ее реализация на примере рынка мобильной связи Санкт-Петербурга // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. Менеджмент. 2011. Вып. 3. С. 60–95.
13. Асанова Н. В., Калинин Я. В., Сагатов Л. С., Тарасова И. А. Интегральная оценка качества транспортного обслуживания крупных городов и городских агломераций // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2018 : тр. одиннадцатой Междунар. конф. в 3 т. 2018. С. 118–124.
14. Ancuti C. O., Ancuti C., De Vleeschouwer C., Sbert M. Color channel compensation (3C): A fundamental pre-processing step for image enhancement // IEEE Transactions On Image Processing. 2020, 29, pp. 2653–2665.
15. Семейных Н. С., Сопегин Г. В., Федосеев А. В. Оценка физико-механических свойств пористых заполнителей для легких бетонов // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 2 (113). С. 203–212. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.2.203-212.
16. Никулин В. В., Афонин В. В. Эвристическая оценка качества услуг на примере операторов мобильной связи // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 2. С. 101-107. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-101-107>. EDN PFVOCR.
17. Афонин В.В. Программа оценки качества группы объектов с разнородными свойствами. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022669744, 25.10.2022. Заявка № 2022668900 от 17.10.2022.

References

1. Salaev B.K., Seregin A.A., Eviev V.A., Muchaev A.B., Glechikova N.A., Yudaev I.V. Analysis of the use of unmanned aerial vehicles in agriculture. *Vestnik agrarian science of the Don*. 2022;15(4) (60):29–44. (In Russ)
2. Villa-Henriksen A., Edwards G. T., Pesonen L. A., Green O., Sorensen C. A. G. Internet of Things in sustainable farming: Implementation, applications, challenges and potential. *Biosyst. Eng.* 2020; 191: 60–84.
3. Rastopchin V.V. Strike unmanned aerial vehicles and air defense - problems and prospects of confrontation. *AviaPanorama*. 2019; 12. (In Russ)
4. Leonkov A.P. Drones start and win. *Arsenal of the Fatherland*. 2019; 1:30–35. (In Russ)
5. Selin A. I., Turkin I. K. Review of target objects for the use of unmanned aerial vehicles operating as part of a group. *Scientific bulletin of MSTU GA*. 2023;26(2):91-105. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2023-26-2-91-105> (In Russ)
6. Klapa P., Božek P., Piech I. Charting topographic maps based on UAV data using the image classification method. *Geomatics, Landman agement and Landscape*. 2019; 2:77–85. URL: <https://doi.org/10.15576/GLL/2019.2.77>.
7. Varlamova, L. (2019). The use of unmanned aerial vehicles in ensuring technological safety. *Journal of Technical and Natural Sciences*, 5(14), 54-90. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3519853>.
8. Makarov V.V., Protasov S.N., Starodubov D.O. Using a set of control methods for objective assessment of the quality of mobile communication services. *Problems of modern economics*. 2017; 2 (62): 202–204. (In Russ)
9. Makarov V.V., Gusev V.I., Sinitsa S.A. Methodological approach to assessing information resources. *Information technologies and telecommunications*. SPbSUT. 2013; 3(3): 72–78. (In Russ)
10. Slutsky M.G., Makarov V.V., Posadsky D.A. Assessing the effectiveness of the QMS and its relationship with the TQM concept. *Economics and business: theory and practice*. 2022; 6-2 (88):168–171. (In Russ)
11. Afonin V.V., Savkina A.V., Nikulin V.V. Algorithm and methodology for ranking a group of raster images. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer technology and information science*. 2021; 4:58–67. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-58-67. (In Russ)
12. Gladkova M. A., Zenkevich N. A., Sorokina A. A. Methodology for integral assessment and selection of service quality and its implementation on the example of the mobile communications market of St. Petersburg // *Bulletin of St. Petersburg University. Ser. Management*. 2011; 3: 60–95. (In Russ)
13. Asanova N.V., Kalinin Ya.V., Sagatolova L.S., Tarasova I.A. Integral assessment of the quality of transport services in large cities and urban agglomerations. *Management of the development of large-scale systems MLSD '2018*: tr. Eleventh Int. conf. 2018; 3:118–124. (In Russ)
14. Ancuti C.O., Ancuti C., De Vleeschouwer C., Sbert M. Color channel compensation (3C): A fundamental pre-processing step for image enhancement. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2020; 29: 2653–2665.
15. Semeykh N.S., Sopegin G.V., Fedoseev A.V. Assessment of physical and mechanical properties of porous aggregates for lightweight concrete. *Bulletin of MGSU*. 2018;13:2 (113):203–212. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.2.203-212. (In Russ)
16. Nikulin V.V., Afonin V.V. Heuristic assessment of service quality using the example of mobile communication operators. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer technology and information science*. 2023; 2:101-107. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-101-107>. EDN PFVOCR. (In Russ)
17. Afonin V.V. A program for assessing the quality of a group of objects with heterogeneous properties. Certificate of registration of the computer program RU 2022669744, 10/25/2022. Application No. 2022668900 dated 10/17/2022. (In Russ)

Сведения об авторах:

Афонин Виктор Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления; vafonin53@yandex.ru

Никulin Владимир Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий и систем связи; nikulinvv@mail.ru

Information about authors:

Viktor V. Afonin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc.Prof., Assoc. Prof., Department of Automated Information Processing and Control Systems; vafonin53@yandex.ru

Vladimir V. Nikulin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc.Prof., Head of the Department of Infocommunication Technologies and Communication Systems; nikulinvv@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 14.12.2023.

Одобрена после рецензирования / Revised 15.01.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 15.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004. 056

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-46-60



Оригинальная статья/Original article

Методы оценивания связности неориентированного двухполюсного помеченного графа с учетом деструктивного воздействия внешних угроз на его вершины

В.А. Воеводин, Н.А. Крахотин

Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, 1, Россия

Резюме. Цель. Обсуждаются основные аргументы, позиционирующие задачу оценивания связности двухполюсного графа применительно к условиям деструктивного воздействия внешних угроз, как актуальную для оценивания живучести информационных систем (ИС), функционирующих в условиях угроз информационной безопасности. **Метод.** Приводятся: постановка задачи оценивания связности для условий воздействия угроз; краткий обзор существующих методов структурного моделирования двухполюсных структур; итоги анализа применимости существующих методов для оценивания устойчивости функционирования (устойчивости) двухполюсных структур применительно к условиям воздействия угроз. Приняты исходные условия: устойчивость информационной системы в целом детерминировано зависит от устойчивости ее структурных элементов и самой сетевой структуры; задача оценивания связности двухполюсной структуры является базовой для оценивания связности соответствующих многополюсных структур; анализ устойчивости объекта воздействия проводится в минимаксных критериях, а результат представляется в виде минимального значения функции устойчивости и момента времени наступления этого события. **Результат.** Выявлены ограничивающие факторы, препятствующее применению существующих методов для решения поставленной задачи. Суть основного ограничивающего фактора заключается в том, что в основе существующих методов лежат вероятностные стационарные модели, которые требуют репрезентативной статистики. Вторым, не менее важным ограничивающим фактором, является, то, что обстановка, характеризующая воздействие угроз, является весьма динамичной (не стационарна), сами события весьма редки, а период оценивания соизмерим с периодом реагирования на угрозы, что не позволяет получить эффективные оценки устойчивости. Предлагается: обобщить существующие методы для условий нестационарности процесса функционирования для чего при оценивании учитывать изменения вероятностных характеристик узловых элементов во времени. В качестве показателя, характеризующего связность, использовать минимальное значение функции устойчивости, определенной на периоде воздействия угроз. Платой за обеспечение устойчивости функционирования объекта воздействия в условиях воздействия угроз является необходимость обеспечения структурной избыточности. **Вывод.** Результаты исследования могут быть востребованы лицами, осуществляющими моделирование как самого объекта воздействия, так и процессов его функционирования, для принятия решения по обеспечению непрерывности производственных процессов в условиях воздействия угроз.

Ключевые слова: устойчивость функционирования, функция устойчивости, двухполюсная структура, угрозы информационной безопасности, структурное моделирование, методы оценивания связности, неориентированный граф, помеченный граф

Для цитирования: В.А. Воеводин, Н.А. Крахотин. Методы оценивания связности неориентированного двухполюсного помеченного графа с учетом деструктивного воздействия внешних угроз на его вершины. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):46-60. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-46-60

Methods for assessing the connectivity of an undirected bipolar labeled graph taking into account the destructive impact of external threats on its vertices

V.A. Voevodin, N.A. Krahotin

National Research University of Electronic Technology,
1 Shokina Square, Moscow, Zelenograd 124498, Russia

Abstract. Objective. The main arguments that position the problem of assessing the connectivity of the bipolar graph in relation to the conditions of destructive impact of external threats (threats) as relevant for assessing the vitality of information systems (IS) are discussed operating under conditions of information security threats. **Method.** The following are presented: formulation of the problem of assessing connectivity for conditions of exposure to threats; a brief overview of existing methods for structural modeling of bipolar structures; results of the analysis of the applicability of existing methods for assessing the stability of functioning (stability) of bipolar structures in relation to conditions of exposure to threats. The initial conditions are accepted: the stability of the information system as a whole depends deterministically on the stability of its structural elements and the network structure itself; the problem of assessing the connectivity of a two-pole structure is basic for assessing the connectivity of the corresponding multi-pole structures; the stability analysis of the impacted object is carried out using minimax criteria, and the result is presented in the form of the minimum value of the stability function and the moment in time of the occurrence of this event. **Result.** Limiting factors that prevent the use of existing methods to solve the problem have been identified. The main limiting factor is that existing methods are based on probabilistic stationary models that require representative statistics. The second, no less important limiting factor is that the situation characterizing the impact of threats is very dynamic (not stationary), the events themselves are very rare, and the assessment period is comparable to the period of response to threats, which does not allow obtaining effective assessments of sustainability. It is proposed to: generalize existing methods for conditions of non-stationary functioning process, for which, when assessing, take into account changes in the probabilistic characteristics of nodal elements over time; as an indicator characterizing connectivity, use the minimum value of the stability function determined during the period of exposure to threats. The price to pay for ensuring the sustainability of the functioning of the affected object under the influence of threats is the need to ensure structural redundancy. **Conclusion.** The results of the study can be used by persons who simulate both the object of impact and the processes of its functioning, to make a decision on ensuring the continuity of production processes under the conditions of the impact of threats.

Keywords: Stability of functioning, stability function, bipolar structure, threats to information security, structural modeling, connectivity evaluation methods, undirected graph, labeled graph

For citation: V.A. Voevodin, N.A. Krahotin. Methods for assessing the connectivity of an undirected bipolar labeled graph taking into account the destructive impact of external threats on its vertices. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1): 46-60. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-46-60

Введение. В силу требований законодательства различных юрисдикций обладатель информации обязан, в том числе: принимать меры по защите информации (ЗИ) и недопущению воздействия угроз информационной безопасности (угроз) на технические средства обработки информации, в результате которого нарушается их функционирование; обеспечить постоянный контроль над уровнем защищенности информации. Эти требования усиливаются для значимых объектов критической информационной инфраструктуры (объект воздействия) и проявляются в необходимости обеспечения устойчивости их функционирования в условиях воздействия угроз. Для управления этим процессом требуется соответствующий методический инструмент оценивания устойчивости функционирования объекта воздействия в условиях воздействия угроз.

Такой методический инструмент может быть востребован: органами управления информационной безопасностью (ИБ) при задании требований к устойчивости функционирования отдельных элементов объекта воздействия и объекта воздействия в целом; лицами, управляющими программами аудита информационной безопасности (ИБ), при формировании критериев аудита, а также при разработке программ и методик аудиторских испытаний; лицами, проводящими оценку рисков информационной безопасности ИБ с целью обоснования страховых тарифов [1]; лицами, управляющими рисками ИБ [2]; лицами, принимающими решение по обеспечению непрерывности бизнеса в условиях воздействия угроз.

Генезис понятия «устойчивость функционирования» и сопутствующих ему понятий приведены в [3]. При этом устойчивость функционирования (устойчивость) определяется как специальное свойство объекта воздействия, характеризующее его способность «выдерживать» внешние воздействия. Такими воздействиями могут быть природные воздействия (землетрясения, ураганы, наводнения) или враждебные действия противника (физические повреждения элементов объекта воздействия, компьютерные атаки), которые в совокупности позиционируются как угрозы.

Порядок моделирования и оценки актуальности угроз и возможные сценарии их реализации в информационных системах приводятся в методическом документе [4]. Результаты моделирования сценариев реализации угроз на основе описания шаблонов компьютерных атак и методические рекомендации по оцениванию актуальности угроз с учетом методики приводятся в [5]. Эти результаты служат исходными данными при моделировании процессов функционирования объекта воздействия в условиях угроз.

Предмет публикации в основном ориентирован на обеспечение безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры, это обусловлено, прежде всего тем, что в силу закона принят руководящий принцип предотвращения компьютерных атак. Это утверждение не распространяется как обязательное на объекты, которые не входят в эту категорию и решение добровольно принимают, либо обладатель информации, либо оператор соответствующей информационной системы.

Исходные данные, необходимые для оценивания устойчивости, добываются в результате аудита информационной безопасности. Общие вопросы организации и проведения аудита систем управления информационной безопасностью для штатных условий рассмотрены достаточно глубоко и приведены в национальных стандартах [6, 7]. Общие вопросы оценивания устойчивости функционирования в штатных условиях применения объекта воздействия приведены в работах [8, 9]. Однако эти методы базируются на математической статистике, теории вероятностей, теории надежности технических систем [11, 13, 15, 16] и не могут быть применены без ограничений для условий воздействия угроз. Данное ограничение связано прежде всего с тем, что сами события нельзя, без грубых допущений, отнести к массовым, а их потоки позиционировать как стационарные и эргодические.

Таким образом, для оценивания устойчивости ИС, функционирующей в условиях угроз, требуется специальный методический инструмент. Для построения такого инструмента принимается аксиома, что устойчивость функционирования ИС, при заданных характеристиках воздействия угроз, находится в зависимости от устойчивости функционирования отдельных элементов, входящих в его состав, и от самой структуры ИС, объединяющей отдельные элементы в систему. Возможные характеристики угроз приведены в существующем банке данных угроз, которые могут быть конкретизированы с помощью экспертных методов [17, 18]. Методы оценивания устойчивости функционирования отдельных элементов ИС, функционирующих в условиях воздействия угроз, приведены в [19 - 23].

На практике для оценивания устойчивости функционирования объекта воздействия применяют методы: словесного описания (вербальные модели); графические методы (структурная схема ИС); аналитические методы (математические модели). Вербальные и графические методы нашли широкое применение для предварительного оценивания обстановки и

уяснения задачи оценивания, а также для получения информации о логике возникновения повреждений объекта воздействия в целом.

Для получения количественной оценки, характеризующей устойчивость функционирования объекта воздействия, на практике используются соответствующие аналитические модели, характеризующие его структуру. С помощью таких аналитических моделей возможно получить функциональную зависимость между устойчивостью функционирования отдельных элементов и устойчивостью объекта воздействия в целом.

На практике информационную структуру можно представить в виде 1–1, 1–N, N–N полюсников. Такие аналитические модели характерны для многосвязных информационных систем с несколькими источниками информационного обмена, при заданных характеристиках устойчивости ее элементов. Принимается утверждение, что объект воздействия считается функциональным (способным выполнять требуемый функционал) при наличии хотя бы одного пути для обмена информацией между его полюсами.

Постановка задачи. В настоящей статье обзор методов оценивания устойчивости сосредоточен на оценивании связности 1–1 (двухполюсной) структуры. Задача оценивания связности 1–N и N–N полюсных структур может быть сведена к совокупности задачи оценивания связности двухполюсных структур, поэтому основные усилия при исследовании были сосредоточены на двухполюсной структуре. Дополнительно в [3] предлагается анализ живучести объекта воздействия осуществлять не в вероятностных, а минимаксных показателях и сводить его к исследованию «узких мест», или «минимальных значений функции живучести. Мерой живучести в [22, 23] предлагается использовать показатель мощности множества элементов, разрушение которых приводит к потере функциональности ИС. В этом случае показателем живучести объекта воздействия авторы предлагают использовать минимальное

подмножество, X^* , такое, что:
$$X^* = \min_{X^* \in X} \{X : \Phi_{\bar{X}} = 0\},$$
 где X есть подмножество разрушенных элементов ИС, а $\bar{X}$ есть дополнительное подмножество.

Другими словами, множество X содержит подмножество пораженных элементов при которых объект воздействия теряет свою функциональность. Строго говоря, если следовать логике вещей, то живучесть объекта воздействия зависит не только от ее структуры, но и от защищенности от воздействия угроз отдельных его элементов и способности объекта воздействия восстанавливаться после воздействия угроз. Однако, предлагаемый в [22, 23] подход эти характеристики не учитывает.

Поэтому актуальной задачей является разработка метода оценивания с помощью которого можно было бы учесть: характеристики воздействия угроз; защищенность элементов от воздействия угроз; способность объекта воздействия реагировать на поражение отдельных элементов их восстановлением. В дальнейшем, для комплексного оценивания устойчивости, предполагается объединить эти два подхода в одном программном модуле.

Пусть заданы: структура объекта воздействия $S = \{A, L\}$, где $A = \{a_i\}$ — семейство элементов информационной сети ИС, $i = 1, 2, \dots, n$; $L = \{l_{ij}\}$ — семейство связей между элементами, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $l_{ij} = 1$, если информационное направление существует и оно находится в состоянии «функционально», 0 — в противном случае; если $i = j$, то $l_{ij} = 1$, если соответствующий элемент находится в состоянии «функционален» и 0 — в противном случае. Такую структуру можно представить в виде двумерной матрицы связности или матрицы инцидентности. Для объектов значимой информационной структуры эта задача решена априори в силу закона.

Исходными данными для решения задачи являются:

- интервал времени воздействия угроз $(t_0, t_0 + T]$, где $t_0 = 0$ — момент времени начала отчета интервала времени воздействия угроз; T — момент окончания отчета времени воздействия угроз;
- двухполюсная структура информационной сети ИС, задаваемая в виде графа или структурной функции, которая в общем виде может быть записана следующим обра-

зом: $Z(t) = f[z_1(t), z_2(t), \dots, z_i(t), \dots, z_n(t)]$, где $z_i(t)$ — состояние i -го элемента в момент времени t , $i = 1, 2, \dots, n$, n — общее число элементов в информационной сети ИС, $z_i(t) = 1$, если элемент функционален в момент времени t и $z_i(t) = 0$, в противном случае;

- функции устойчивости i -го элемента [3, 19, 20] $v_i(t) = K_i(t) \phi_i(t)$, $j = 1, 2, \dots, n$, n — общее число элементов в информационной сети ИС, K_i — нестационарный коэффициент оперативной готовности i -го элемента, физически означает, что i -й элемент будет работоспособен в момент времени t_0 и будет функционален в момент времени $t = t_0 + \Delta t$, Δt — интервал времени от начала отчета $t_0 = 0$ до t ; $\phi_i(t)$ — функция живучести i -го элемента, возможность того, что i -й элемент будет находиться в состоянии «функционален» в момент времени $t_0 + t$.

В [20] предлагается для расчета функции устойчивости для условий воздействия угроз не учитывать $K_i(t_0, t_0 + T)$ при расчете $v_i(t)$ по причине того, что ее значение близко к единице и значительно превосходит значение $\phi_j(t)$. Принятие этого допущения значительно снижает сложность моделирования при обеспечении достоверности результата.

Задача оценивания устойчивости направления обмена информацией между полюсами a и b сводится к задаче построения соответствующей функции устойчивости. Порядок вывода функций устойчивости отдельных элементов ранее исследовался автором и приведен в [3, 19 - 21].

Методы исследования. Ретроспективный анализ методов оценивания вероятности связности двухполюсников разветвленной структуры, приведенных в [12 - 16], позволяет утверждать, что семейство существующих методов по точности получаемых результатов можно разделить на две группы: точные аналитические — методы последовательно-параллельных структур, прямого перебора состояний элементов, прямого перебора состояний путей, с применением теоремы разложения, логико-вероятностные; приближенные — методы статистического моделирования и граничных оценок.

Также результаты анализа показывают, что названные методы ориентированы на усредненное оценивание показателей надежности, при условии, что элемент функционирует достаточно долго в неизменных условиях и имеется репрезентативная статистика показателя наблюдаемого свойства при этом его статистическая оценка является состоятельной и не смещенной. Для условий же воздействия угроз такое допущение не приемлемо по нескольким причинам: условия обстановки динамичны; события не являются массовыми, что не позволяет собрать репрезентативную статистику; статистическая частота событий не может служить асимптотической оценкой их вероятности.

Для решения поставленной задачи требуется обобщение существующих методов для прогнозирования возможности того или иного случайного события в произвольный момент времени $t \in (0, T]$. Ниже приведен подход к обобщению существующих методов для условий воздействия угроз и для вычисления функции устойчивости объекта воздействия для названных условий.

Метод последовательно-параллельных структур. Общее описание метода для асимптотических вероятностных оценок приводится в [11-13, 24]. Метод применяется в тех случаях, когда в структуре информационной сети (структура) можно выделить фрагменты последовательно и параллельно соединенных элементов и на основе этого выделения вывести общее аналитическое соотношение. Для условий же воздействия требуется обобщение этих методов для произвольных моментов времени $t \in (0, T]$, следуя следующему алгоритму:

1. В структуре выделяются фрагменты N_i' последовательно соединенных элементов, каждый из фрагментов объединяется в один общий элемент с индексом i и для этого элемента определяется значение соответствующей характеристики $v_i'(t)$ по формуле

$$N_i'(t) = \prod_{j \in J_i} v_j(t),$$

где $N'_i(t)$ — функция устойчивости выделенного фрагмента N'_i (следует обратить внимание, что в обозначении $N'_i(t)$, N в наименовании — это заглавная буква греческого алфавита «ню» и обозначается прямым начертанием, а N'_i — это латинская заглавная N и обозначена курсивом), $v_i(t)$ — функция устойчивости i -го элемента, входящего в фрагмент $N'_i(t)$, J_i — семейство индексов элементов, входящих в выделенный фрагмент $N'_i(t)$. При этом индексы вновь формируемых общих элементов должны отличаться от индексов элементов исходной структуры и индексов, входящих ранее сформированные семейства. После завершения формирования фрагментов N'_i или случае их отсутствия осуществляется переход к п. 2.

2. Выделяются фрагменты N''_k , $k \neq i$ параллельно соединенных элементов, каждый из которых объединяется в один общий фрагмент N''_k и для этого фрагмента определяется значение соответствующего показателя устойчивости $N''_k(t)$ по формуле

$$N''_k(t) = 1 - \prod_{j \in J_k} [1 - v_j(t)],$$

где $v_j(t)$ — функция устойчивости i -го элемента, входящего в фрагмент N''_k , J_k — семейство индексов элементов фрагмента N''_k .

3. Формируется новая укрупненная структура, состоящая из общих i -х и k -х элементов, имеющих показатели устойчивости $N'_i(t)$ и $N''_k(t)$. Для новой структуры повторяются операции пп. 1 и 2.

Операции пп. 1 и 2 выполняются до тех пор, пока не будет получено искомое обобщающее аналитическое соотношение. Данный метод позволяет получить аналитическое соотношение, которое приспособлено для программирования и обеспечивает оперативное определение функциональных характеристик двухполюсных структур, имеющих большое число элементов.

Однако метод неприемлем для произвольных, например, мостиковых структур и требует ручных процедур для формирования фрагментов N'_i и N''_k .

Тестовый пример 1. Задана структура, включающая $m = 11$ элементов, приведенная на рис. 1. Определены функции устойчивости элементов $v_j(t)$, $j = 1, 2, \dots, 11$. Вывести аналитическое соотношение для вычисления функции устойчивости двухполюсника а–b. $N_{ab}(t) = F\{v_1(t), v_2(t), \dots, v_j(t), \dots, v_{11}(t)\}$.

Для чего выделяются фрагменты, содержащие последовательно соединенные элементы. К ним относятся $N'_{1,2} = \{1, 2\}$, $N'_{3,4} = \{3, 4\}$, $N'_{5-7} = \{5, 6, 7\}$, $N'_{8,9} = \{8, 9\}$.

Каждый фрагмент объединяем в один общий элемент, для которого определяется обобщенная функция устойчивости.

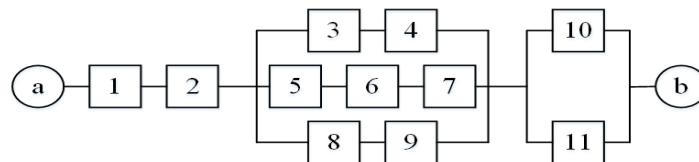


Рис. 1. Вариант исходной структуры
 Fig. 1. A variant of the original structure

В результате получаем четыре обобщенных элемента со значениями функции устойчивости $N'_{12}(t) = v_1(t)v_2(t)$, $N'_{13}(t) = v_3(t)v_4(t)$, $N'_{14}(t) = v_5(t)v_6(t)v_7(t)$, $N'_{15}(t) = v_8(t)v_9(t)$. Выделяем фрагмент $N''_{10,11}$, содержащий параллельно соединенные эле-

менты 10 и 11, для которого функция устойчивости будет иметь $N''_{16}(t) = 1 - [1 - v_{10}(t)][1 - v_{11}(t)]$.

Полученные обобщенные элементы формируются в эквивалентную, с точки зрения характеристик устойчивости, обобщенную двухполосную структуру первого уровня, представленную на рис. 2.

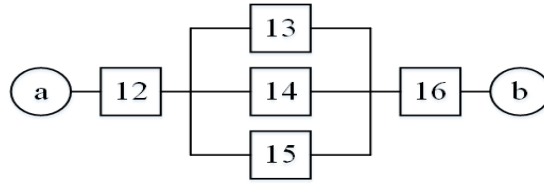


Рис. 2. Обобщенная двухполосная структура первого уровня
Fig. 2. Generalized bipolar structure of the first level

Обобщенная двухполосная структура первого уровня содержит только один фрагмент параллельно соединенных элементов, которому присваивается индекс $N''_{13,14,15}$, для которого функция устойчивости будет иметь вид $N''_{17}(t) = 1 - [1 - v_{13}(t)][1 - v_{14}(t)][1 - v_{15}(t)]$.

Из полученных элементов строится обобщенный вариант двухполосной структуры второго уровня, содержащий только последовательно соединенные элементы, структура которого приведена на рис. 3.

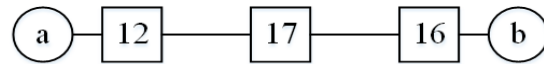


Рис. 3. Обобщенная двухполосная структура второго уровня
Fig. 3. Generalized bipolar structure of the second level

В результате функция устойчивости полученной обобщенной структуры может быть вычислена по формуле $N'_{ab}(t) = v_{12}(t)v_{17}(t)v_{16}(t)$. Последовательно подставляя полученные соотношения для обобщенных элементов, получаем формулу для вычисления функции устойчивости исходной двухполосной структуры:

$$N'_{ab}(t) = v_1(t)v_2(t) \left\{ 1 - [1 - v_3(t)v_4(t)][1 - v_5(t)v_6(t)v_7(t)][1 - v_8(t)v_9(t)] \right\} \cdot \left\{ 1 - [1 - v_{10}(t)][1 - v_{11}(t)] \right\}.$$

Метод перебора состояний элементов. Общее описание метода для асимптотических вероятностных оценок приводится в [11-13, 24].

При использовании метода перебора состояний элементов производится последовательное определение всех $k = 2m$ возможных i -х состояний двухполосной структуры при которых обеспечивается связность $z_i = \{z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_m\}i$, где z_i — индикатор связности i -й комбинации состояний элементов, $z_i = 1$, если связность обеспечивается, $z_i = 0$ — в противном случае; z_j — индикатор состояния j -го элемента, $z_j = 1$, если j -й элемент позиционируется как «функционален», $z_j = 0$ — в противном случае; $i = 1, 2, \dots, k$, k — число возможных состояний; $j = 1, 2, \dots, m$, число элементов оцениваемой двухполосной структуры.

При этом для вычисления функции устойчивости выделяются только такие комбинации состояний элементов, при которых обеспечивается связность между концевыми полюсами а и б, вычисляются возможность реализации данных состояний:

$$H_i(t) = \prod_{j \in J_{i+}} v_j(t) \prod_{j \in J_{i-}} (1 - v_j(t)), \quad (1)$$

где $H_i(t)$ — вероятность связности i -й комбинации; J_{i+} — совокупность индексов, элементов, соответствующих состоянию «функционален» в i -й комбинации; J_{i-} — совокупность индексов, соответствующих состоянию «не функционален»; $v_j(t)$ — вероятность работоспособного состояния j -го элемента в момент времени t .

В итоге процедуру (1) определения значений u можно задать в виде формулы

$$H_{a-b} = \sum_{i \in I_1} Q_i \quad (2)$$

где I_1 — совокупность индексов состояний, при которых имеется хотя бы один путь (связь) между крайними полюсами исследуемой двухполюсной структуры.

Метод перебора состояний элементов может быть использован для любых структур, он достаточно просто программируется, однако требует значительных затрат времени при больших значениях m .

Например, для решения примера 1, где задается двухполюсная структура из 11 элементов ($m = 11$), требуется «перебрать» 211 комбинаций состояний элементов. Поэтому даже компьютерные программы, составленные на основе данного метода, целесообразно использовать для несложных структур, содержащих относительно небольшое число элементов $m \leq 20$.

Тестовый пример 1. Пусть задана двухполюсная структура, включающая $m = 2$ элемента, граф которой приведен на рис. 4. Определены функции устойчивости элементов $v_1(t)$, $v_2(t)$ [19, 20]. Требуется вывести аналитическое соотношение для вычисления функции устойчивости двухполюсной структуры, изображенной на рис. 4, $H_{a-b} = F\{v_1(t), v_2(t)\}$, используя метод перебора состояний элементов.

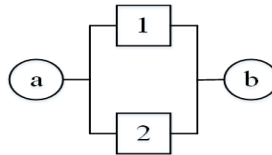


Рис. 4. Двухполюсная структура
 Fig. 4. Two-pole structure

Общее число возможных комбинаций состояний элементов данной двухполюсной структуры составляет $k = 2^2 = 4$.

Это следующие комбинации: $z = \{z_1, z_2\}$, $z_0 = \{0, 0\}$, $z_2 = \{0, 1\}$, $z_3 = \{1, 0\}$, $z_4 = \{1, 1\}$.

Связность между полюсами a и b обеспечивается при комбинациях z_2, z_3, z_4 .

Вероятности реализации данных состояний:

$$H_2(t) = [1 - v_1(t)]v_2, \quad H_3(t) = v_1(t)[1 - v_2(t)], \quad H_4 = v_1(t)v_2(t)$$

Используя формулы (1, 2), получаем следующие соотношения для вычисления функции устойчивости двухполюсной структуры, приведенной на рис. 4:

$$\begin{aligned} H_{ab}(t) &= H_2(t) + H_3(t) + H_4(t) = [1 - v_1(t)]v_2(t) + v_1(t)[1 - v_2(t)] + v_1(t)v_2(t) = \\ &= v_1(t) + v_2(t) - v_1(t)v_2(t) = 1 - [1 - v_1(t)][1 - v_2(t)]. \end{aligned}$$

Естественно, данные соотношения получить гораздо проще, применяя метод последовательно-параллельных структур. Метод перебора состояний путей. Общее описание метода для асимптотических вероятностных оценок приводится в [11-13, 24]. Метод основан на анализе всех 2^n возможных состояний n путей между конечными полюсами двухполюсника. Исходными данными являются: структура двухполюсника, заданная в виде графа, приведенная на рис. 5; функции устойчивости функционирования элементов двухполюсника (узлов).

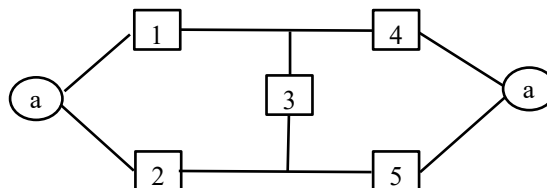


Рис. 5. Тестовая двухполюсная структура
 Fig. 5. Test two-pole structure

Метод включает в себя следующие операции:

1. Определение всех путей $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$, между окончными узлами а и б исследуемого двухполюсника. При этом каждый путь обозначается последовательностью индексов его элементов. Например, если путь π_1 содержит элементы 2, 5, 7, то он обозначается $\pi_1 = 2, 5, 7$.

2. Определение $r = 2n - 1$ последовательностей индексов элементов $\pi_i, \pi_{ik}, \pi_{12\dots n}$, полученных путем объединения минимальных путей в различных сочетаниях. В результате последовательности $\pi_i, i = 1, 2, \dots, n$, будут соответствовать полученным путям. Последовательности π_{ik} получаются посредством объединения путей по два, последовательности π_{ikr} — по три и т. д. Например, если объединяются пути $\pi_1 = 2, 5, 7, 12$; $\pi_2 = 3, 5, 7, 14$, $\pi_3 = 3, 4, 7, 12$, то в результате объединения получаем следующие последовательности: $\pi_{12} = 2, 3, 5, 7, 12, 14$, $\pi_{13} = 2, 3, 4, 5, 7, 12$, $\pi_{23} = 3, 4, 5, 7, 12, 14$; $\pi_{123} = 2, 3, 4, 5, 7, 12, 14$.

3. Вычисление вероятностей связности $v_1(t), v_{1k}(t), \dots, v_{12\dots n}(t)$ двухполюсной структуры, включающих один путь, полученный на основе объединенных путей $\pi_1, \pi_{1k}, \dots, \pi_{12\dots n}$. Для этого следует вместо индексов элементов j подставлять и умножать значения функций устойчивости $v_j(t)$. Например, если в результате выполнения алгоритма получили $\pi_{13} = 2, 3, 4, 5, 7, 12$, то $v_{13}(t) = v_2(t) v_3(t) v_4(t) v_5(t) v_7(t) v_{12}(t)$.

4. Сложение вычисленных вероятностей и определение значений:

$$S_1 = \sum_{i=1}^n v_i(t), S_2 = \sum_{i < k}^n v_{ik}(t), \dots, S_n = v_{12\dots n}(t), \quad (3)$$

где число слагаемых при определении S_2 равно числу сочетаний C_n^3 и т. д. При определении S_n имеем одно значение $v_{12\dots n}$.

5. Определение вероятности связности двухполюсной структуры по формуле

$$H = \sum_{i=1}^n (-1)^{i-1} S_i. \quad (4)$$

При небольшом количестве путей получается существенный выигрыш в сложности расчета для любых двухполюсных структур.

При равном числе путей и элементов объем вычислений при использовании метода перебора путей сравним с методом перебора состояний элементов, однако при меньшем числе путей можно получить существенный выигрыш во времени расчета. Преимуществом метода является возможность формализовать алгоритм расчета устойчивости функционирования двухполюсной структуры, а также приспособленной к оцениванию мостиковых структур.

Тестовый пример 2. Пусть задана мостиковая двухполюсная структура, включающая $m = 9$ элементов, которая приведена на рис. 5. Оконечными узлами являются узлы 1 и 4. Определены функции устойчивости элементов $v_1(t), v_2(t), v_3(t), v_4(t), v_5(t), v_6(t), v_7(t), v_8(t), v_9(t)$. Требуется вывести формулу для расчета устойчивости функционирования направления информационного обмена между конечными полюсами 1 и 4. Определены функции устойчивости элементов $H_{14} = F\{v_1(t), v_2(t), v_3(t), v_4(t), v_5(t), v_6(t), v_7(t), v_8(t), v_9(t)\}$, используя метод перебора состояний путей. Для чего определяется семейство путей между полюсами 1 и 4. В результате получаем $\pi_1 = 1, 5, 2, 8, 4$; $\pi_2 = 1, 6, 3, 9, 4$; $\pi_3 = 1, 5, 2, 7, 3, 9, 4$; $\pi_4 = 1, 6, 3, 7, 2, 8, 4$. Число путей $n = 4$.

Определяем последовательности $\pi_i, \pi_{ik}, \pi_{1234}$, полученные путем объединения путей в различных сочетаниях. В результате, выделяя вначале узлы по возрастанию, а затем ребра, получаем, что путям π_i соответствуют следующие последовательности индексов элементов: $\pi_1 = 1, 2, 4, 5, 8$; $\pi_2 = 1, 3, 4, 6, 9$; $\pi_3 = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9$; $\pi_4 = 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8$.

При объединении π_{ik} по два получаем:

$\pi_{12} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9$; $\pi_{13} = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9$; $\pi_{14} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$; $\pi_{23} = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9$; $\pi_{24} = 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9$; $\pi_{34} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$.

При объединении π_{ikr} по три получаем:

$\pi_{123} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$; $\pi_{124} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$; $\pi_{234} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$;
 $\pi_{134} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$.

При объединении π_{1234} по четыре получаем:

$\pi_{1234} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$.

Таким образом, $\pi_{123} = \pi_{124} = \pi_{234} = \pi_{134} = \pi_{1234}$

Посредством подстановки вместо индексов элементов функций устойчивости элементов $v_j(t)$ и их перемножения значения функции вероятностей связности последовательных структур в момент времени t $q_i(t)$, $q_{ik}(t)$, $q_{ikr}(t)$, $q_{1234}(t)$.

В результате получаем:

$H_1(t) = v_1(t)v_2(t)v_4(t)v_5(t)v_8(t)$; $H_2(t) = v_1(t)v_3(t)v_4(t)v_6(t)v_9(t)$;
 $H_3(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_5(t)v_7(t)v_9(t)$; $H_4(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_6(t)v_7(t)v_8(t)$;
 $H_{12}(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_5(t)v_6(t)v_8(t)v_9(t)$; $H_{13}(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_5(t)v_7(t)v_8(t)v_9(t)$;
 $H_{14}(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_5(t)v_6(t)v_7(t)v_8(t)$; $H_{23}(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_5(t)v_6(t)v_7(t)v_9(t)$;
 $H_{24}(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_6(t)v_7(t)v_8(t)v_9(t)$; $H_{34}(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_5(t)v_6(t)v_7(t)v_8(t)v_9(t)$;
 $H_{123}(t) = H_{124}(t) = H_{234}(t) = H_{134}(t) = H_{1234}(t) = v_1(t)v_2(t)v_3(t)v_4(t)v_5(t)v_6(t)v_7(t)v_8(t)v_9(t)$.

Складывая полученные значения функций вероятностей связности последовательных структур для моментов времени t и определяем значения $S_i(t)$ по формуле (3) и получаем:

$S_1(t) = H_1(t) + H_2(t) + H_3(t) + H_4(t)$;
 $S_2(t) = H_{12}(t) + H_{13}(t) + H_{14}(t) + H_{23}(t) + H_{24}(t) + H_{34}(t)$; $S_3(t) = 3H_{123}(t)$; $S_4(t) = 4H_{1234}(t)$.

Определяем вероятность связности по формуле (4). В результате получаем $H_{14}(t) = S_1(t) - S_2(t) + S_3(t) - S_4(t)$. Если функции устойчивости функционирования отдельных элементов равны, т. е. $v_j(t) = v(t)$, то формула для расчета упрощается и имеет вид: $H_{14}(t) = [v(t)]^5 \{2 + 2[v(t)]^2 - 5[v(t)]^3 + 2[v(t)]^3\}$.

Рассмотренный метод в основном применим для автоматизации расчетов.

Логико-вероятностный метод. Общее описание метода для асимптотических вероятностных оценок приводится в [11-13, 24]. Методы основаны на представлении структур-

ной функции в виде логической функции $Z = f(z) = f(z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_m)$, где z_j рассматриваются как булевы переменные, $j = 1, 2, \dots, m$. Решение задачи заключается в использовании широко известных и достаточно формализованных методов математической логики для упрощения логической функции $f(z)$ с последующей заменой z_j на $v_j(t)$ и переходом к выражению $v(t) = B\{v_1(t), v_2(t), \dots, v_j(t), \dots, v_m(t)\}$.

При переходе от логической функции $f(z)$ к выражению для оператора B необходимо учитывать специальные соотношения теории вероятностей и математической логики, используемые при разработке логико-вероятностных методов.

Достоинством данных методов является возможность применения хорошо разработанного аппарата булевой алгебры при упрощении структурной функции [14, 15]. Однако при большом числе переменных z_j получаются достаточно громоздкие выражения для булевых функций, что требует дополнительных ресурсов оперативной памяти при реализации компьютерных программ. Методы обеспечивают некоторое снижение времени вычислений, однако из-за сложности получаемых выражений не имеют в целом существенного преимущества перед вышеизложенными методами перебора состояний элементов и путей.

Метод статистического моделирования. Общее описание метода для асимптотических вероятностных оценок применительно к воздействию угроз приводится в [25]. Методы статистического моделирования используются в тех случаях, когда точные аналитические методы приводят к большим затратам времени при определении вероятности связности

сложных структур с большим количеством мостиковых соединений. Для реализации метода статистического моделирования определяется множество возможных минимальных путей между полюсами двухполюсной структуры и для каждого i -го пути формируется структурная функция

$$\pi_i = \prod_{j \in J_i} z_j, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

где J_i — множество индексов элементов i -го пути; z_j — состояние j -го элемента.

С учетом полученных частных структурных функций π_i , общая структурная функция двухполюсной структуры будет иметь вид

$$Z = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \pi_i), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Состояние z_j каждого элемента определяется с помощью датчика случайных чисел $x_j = R_j(0, 1)$ и заданных значений $v_j(t)$.

При этом, если $x_j \leq v_j(t)$, то $z_j = 1$; в противном случае $z_j = 0$.

В результате процедура получения оценок функции устойчивости функционирования двухполюсной структуры N_{ab} будет включать следующие этапы:

- 1) задание числа реализаций r , по которым производится оценка значений $v_j(t)$, $s = 1, 2, \dots, r$; s — номер реализации;
- 2) определение множества состояний $z_s = \{z_j\}_s$, $s = 1, 2, \dots, r$, с помощью заданных значений $v_j(t)$ и датчика случайных чисел;
- 3) определение значений структурной функции Z_s с помощью (5) и (6), $Z_s = f(z_s)$;
- 4) определение оценки $\hat{v}_j(t)$ по формуле

$$\hat{v}_j(t) = r^{-1} \sum_{s=1}^r Z_s(t).$$

Задание требуемого числа реализаций производится в соответствии с допустимой ошибкой вычисления оценки $\hat{v}_j(t)$.

Метод граничных оценок. Общее описание метода применительно к точечным оценкам вероятности приведено в [24]. Метод основан на вычислении верхней и нижней границ значений $H(t)$. Для этого определяются между заданными абонентами сети все минимальные пути (или просто пути) и сечения.

Здесь под путем понимается последовательное соединение неповторяющихся элементов сети, обеспечивающее связь между заданной парой абонентов. Для двухполюсной структуры, изображенной на рис. 5, имеются следующие пути: $\pi_1 = 1, 4$; $\pi_2 = 2, 5$; $\pi_3 = 1, 3, 5$; $\pi_4 = 2, 3, 4$. Число путей $n = 4$. Для сохранения связи между абонентами достаточно иметь все исправные элементы хотя бы одного пути.

Под сечением двухполюсной структуры понимается совокупность неповторяющихся элементов, в которой отказ всех элементов приводит к нарушению связи между крайними полюсами. Для структуры, изображенной на рис. 5, имеются следующие сечения; $s_1 = 1, 2$; $s_2 = 4, 5$; $s_3 = 1, 3, 5$; $s_4 = 2, 3, 4$.

При этом отдельные сечения могут совпадать с путями. Тогда мостиковую двухполюсную структуру, приведенную на рис. 5, можно представить в виде двух эквивалентных, приближенно описывающих ее схем: параллельно соединенных путей, изображенную на рис. 6, и последовательно соединенных сечений, изображенную на рис. 6.

В качестве исходных данных для реализации метода используется перечень всех путей двухполюсной структуры, где каждый из путей включает множество элементов, имеющих индексы J_i , $i = 1, \dots, n$, и перечень сечений двухполюсной структуры, где каждое сечение включает множество элементов, имеющих L_k , $k = 1, \dots, r$.

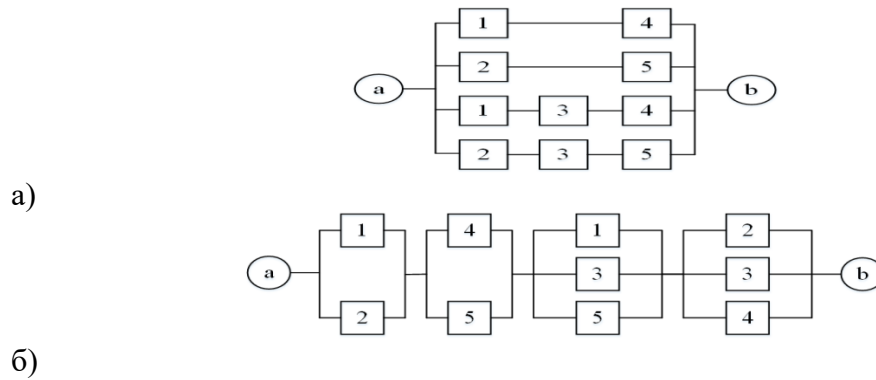


Рис. 6. Эквивалентные схемы мостиковой двухполюсной структуры
а) параллельно соединенные пути, б) последовательно соединены сечения

Fig. 6. Equivalent schemes of a two-pole bridge structure

a) parallel connected paths, b) sections connected in series

Для каждого i -го пути и k -го сечения вводятся вероятности их безотказной работы $p_i(t)$ и $q_k(t)$ соответственно по формулам

$$p_i(t) = \prod_{j \in J_i} v_j(t), \quad q_k(t) = 1 - \prod_{j \in L_k} [1 - v_j(t)]$$

где $v_j(t)$ — функция устойчивости j -го элемента, входящего в соответствующий путь или сечение.

Генезис понятия «функция устойчивости» приведен в [3]. Функция устойчивости для каждого элемента вычисляется с помощью методов, изложенных в [11-13, 24]. В результате действительное значение $v_j(t)$ в каждый момент времени t будет удовлетворять неравенству:

$$\prod_{k=1}^r q_k(t) \leq v_j(t) \leq 1 - \prod_{i=1}^n [1 - p_i(t)].$$

Метод в отдельных случаях, особенно при больших значениях $v_j(t)$, позволяет получить достаточно высокую точность оценок, однако требует предварительного определения перечня путей и сечений.

Пример 3. Задана мостиковая двухполюсная структура, включающая $m = 5$ элементов, приведенная на рис. 5. Определены функции устойчивости элементов $v_1(t)$, $v_2(t)$, $v_3(t)$; $v_4(t)$ $v_5(t)$. Задан момент времени $t = 8$ для которого требуется определить вероятность связности двухполюсной структуры $v_1(8) = 0,5$, $v_2(8) = 0,6$, $v_3(8) = 0,7$, $v_4(8) = 0,8$, $v_5(8) = 0,9$. Определить верхнюю и нижнюю оценку показателя связности двухполюсной структуры N_{ab} . Решение: определяем значения p_i для всех путей. Получаем

$$p_1(8) = v_1(8)v_4(8) = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4; \quad p_2(8) = v_2(8)v_5(8) = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54;$$

$$p_3(8) = v_1(8)v_3(8)v_5(8) = 0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 0,315; \quad p_4(8) = v_2(8)v_3(8)v_4(8) = 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 0,336;$$

В результате верхняя граница

$$v_{up}(8) = 1 - [1 - p_1(8)][1 - p_2(8)][1 - p_3(8)][1 - p_4(8)] = 1 - 0,6 \cdot 0,46 \cdot 0,685 \cdot 0,664 = 1 - 0,125 = 0,875.$$

Определяем значения q_k для всех путей, Получаем

$$q_1(8) = 1 - [1 - v_1(8)][1 - v_2(8)] = 1 - 0,5 \cdot 0,4 = 0,8;$$

$$q_2(8) = 1 - [1 - v_4(8)][1 - v_5(8)] = 1 - 0,2 \cdot 0,1 = 0,98;$$

$$q_3(8) = 1 - [1 - v_1(8)][1 - v_3(8)][1 - v_5(8)] = 1 - 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,1 = 0,985;$$

$$q_4(8) = 1 - (1 - v_2(8))(1 - v_3(8))(1 - v_4(8)) = 1 - 0,4 \cdot 0,3 \cdot 0,2 = 0,976.$$

В результате нижняя граница будет равна

$$v_{low}(8) = q_1(8)q_2(8)q_3(8)q_4(8) = 0,8 \cdot 0,98 \cdot 0,985 \cdot 0,976 = 0,754.$$

В результате вычислений получили, что действительное значение $v(8)$ удовлетворяет неравенству $0,754 \leq v(8) \leq 0,875$.

Обсуждение результатов. Результаты исследования позволяют утверждать, что перспективным является объединение двух подходов, приведенных в [22, 23] и рассмотренных в настоящей статье под единой целью оценивания устойчивости объектов воздействия, функционирующих в условиях угроз. Перспективным направлением исследования является исследование устойчивости функционирования объекта воздействия для различных условий информационной неопределенности, при которых решение по воздействию угроз противником принимается в условиях информационной неопределенности.

При принятии решение противнику: неизвестно множество элементов объекта воздействия (IP адреса); известно множество элементов ИС, входящих в состав объекта воздействия (IP адреса); известна структура объекта воздействия (конфигурация); известны результаты воздействия угроз. Решив эти задачи, возможно обосновывать внедрение методов обеспечения конфиденциальности структуры объекта воздействия и его текущего состояния.

Вывод. Существующие методы, ориентированные на исследование стационарных потоков отказов, характерные для штатных условий эксплуатации объекта воздействия, в прямой постановке не могут быть применены для оценивания устойчивости их функционирования, для условий воздействия угроз. Исследования показали, что требуются их обобщение для нестационарных потоков случайных событий, связанных с воздействием угроз. Также результаты исследования позволяют утверждать, что среди рассмотренных методов не существует универсального. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки, которые не пересекаются, поэтому для каждого случая нужно осуществлять целенаправленный выбор и требуется соответствующая методика. Перспективным направлением является автоматизация расчетов и интерпретации полученных результатов.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке Фонда Потанина.

Acknowledgments. The study was supported by the Potanin Foundation.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р 59516–2021. Информационные технологии. Менеджмент информационной безопасности. Правила страхования рисков информационной безопасности. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 мая 2021 г. № 420-ст. М.: Стандартинформ. 2021. – 20 с.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005–2010 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2010 г. № 632-ст. М.: Стандартинформ. 2012. – 91 с.
3. Воеводин В. А. Генезис понятия структурной устойчивости информационной инфраструктуры автоматизированной системы управления производственными процессами к воздействию целенаправленных угроз информационной безопасности // Вестник Воронежского института ФСИИ России. 2023. № 2. С. 30–41.
4. Методика оценки угроз безопасности информации. Методический документ ФСТЭК России от 5 февраля 2021 г. // Официальный сайт ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2919> (дата обращения 08.04.2021).
5. Васильев В. И., Вульфин А. М., Кириллова А. Д., Кучкарова Н. В. Методика оценки актуальных угроз и уязвимостей на основе технологий когнитивного моделирования и Text Mining // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 3. С. 110–134. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-3-110-134.
6. ГОСТ Р ИСО 19011–2021 Руководящие указания по проведению аудита систем менеджмента. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 апреля 2021 г. N 261-ст. М.: Стандартинформ. 2021. – 42 с.
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007—2014. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности. Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1.06.2015 М.: ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 27 с.
8. Zhang Y., Wang L., Xiang Y., Ten C. W. Power System Reliability Evaluation with SCADA Cybersecurity Considerations // IEEE Transactions on Smart Grid. 2015. vol. 6. no. 4. pp. 1707–1721. DOI: 10.1109/TSG.2015.2396994.
9. Haring I., Ebenhoch S., Stolz A. Quantifying Resilience for Resilience Engineering of Socij Technical Systems. *European Journal for Security Research*. 2016; 1: 21–58. DOI: 10.1007/s41125-015-0001-x.

10. Haque M. A., Shetty S., Krishnappa B. ICS-CRAT: A Cyber Resilience Assessment Tool for Industrial Control Systems. IEEE 5th Intl Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE Intl Conference on High Performance and Smart Computing, (HPSC) and IEEE Intl Conference on Intelligent Data and Security (IDS). 2019. pp. 273–281. DOI: 10.1109/BigDataSecurity-HPSC-IDS.2019.00058.
11. Kete N., Punzo G., Linkov I. Enhancing resilience within and between critical infrastructure systems // Environment Systems and Decisions. 2018. vol. 38. pp. 275–277. DOI: 10.1007/s10669-018-9706-5.
12. Надежность и эффективность в технике. Справочник Том № 5. Проектный анализ надежности/ под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1989, – 376 с.
13. Hammad A.W., Haddad A. Infrastructure Resilience: Assessment, Challenges and Insights // Industry, Innovation and Infrastructure. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer. Cham, 2021. pp. 1–13. DOI: 10.1007/978-3-319-71059-4_25-1.
14. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. Спб.: Политехника. 2000. 248 с.
15. Шубинский И. Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа / И. Б. Шубинский // М.: «Журнал Надежность». 2012. – 216 с.
16. Шубинский И. Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа / И. Б. Шубинский // М.: «Журнал Надежность». 2012. – 296 с.
17. Коробов В. Б. Теория и практика экспертных методов: монография. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 282 с.
18. Гуцыкова С. В. Метод экспертных оценок. Теория и практика. Серия «Методы психологии». М.: Институт психологии РАН, 2011. – 212 с.
19. Воеводин В. А. Математическая модель оценивания устойчивости функционирования элемента информационной инфраструктуры автоматизированной системы управления, подверженной воздействию угроз информационной безопасности// Информационные технологии, №1. Том 30. 2024. DOI: 10.17587/it.30.23-31. С. 23–31.
20. Воеводин В. А. Модель оценки функциональной устойчивости элементов информационной инфраструктуры для условий воздействия множества компьютерных атак. Информатика и автоматизация. 2023. Том 22 № 3. – С. 691–715. <https://DOI 10.15622/ia.22.3.8>.
21. Воеводин В. А., Виноградов И. В., Волков Д. И. Об оценке устойчивости функционирования объекта информатизации в условиях компьютерных атак при экспоненциальном законе распределения времени до воздействия противника и восстановления работоспособности. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(3): 39-51. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-3-39-51.
22. Черкесов Г. Н., Недосекин А. О., Виноградов В.В. Анализ функциональной живучести структурно-сложных технических систем // Надежность. 2018. Том 18, № 2. С. 17-24. DOI: 10.21683/1729-2646-2018-18-2-17-24.
23. Черкесов Г.Н., Недосекин А. О. Описание подхода к оценке живучести сложных структур при много-разовых воздействиях высокой точности // Надежность. 2016. Том 16, № 2(57). С. 3–15.
24. Хохлачев Е. Н. Организация и технологии выработки решений при управлении системой и войсками связи. Часть 2. Выработка решений при восстановлении сетей связи. – М.: ВА РВСН, 2009. 241 с.
25. Voevodin V. A. Monte Carlo method for predicting the stability of the functioning of the informatization object in the conditions of massive computer attacks. International Conference «Marchuk Scientific Readings 2021» (MSR-2021) Journal of Physics: Conference Series 2099 (2021). DOI 10.1088/1742-6596/2099/1/012070.

References

1. GOST R 59516–2021. Information Technology. Information security management. Rules for insurance of information security risks. *Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology* dated May 20, 2021 N 420-st. M.: Standardinform. 2021: 20. (In Russ)
2. GOST R ISO/IEC 27005–2010 Information technology. Methods and means of ensuring safety. Information security risk management. *Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology* dated November 30, 2010 N 632-p. Standardinform. 2012: 91. (In Russ)
3. Voevodin V. A. Genesis of the concept of structural stability of the information infrastructure of an automated production process management system to the impact of targeted threats to information security. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia*. 2023; 2: 30–41. (In Russ)
4. Methodology for assessing threats to information security. Methodological document of the FSTEC of Russia dated February 5, 2021 // Official website of the FSTEC of Russia [Electronic resource]. – URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2919> (access date 04/08/2021). (In Russ)
5. Vasilyev V. I., Vulfin A. M., Kirillova A. D., Kuchkarova N. V. Methodology for assessing current threats and vulnerabilities based on cognitive modeling and Text Mining technologies. *Control, Communication and Security Systems*. 2021; 3: 110–134. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-3-110-134. (In Russ)
6. GOST R ISO 19011–2021 Guidelines for conducting audits of management systems. *Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology* dated April 21, 2021; 261-p. M.: Standardinform. 2021: 42. (In Russ)

7. GOST R ISO/IEC 27007—2014. Information technology. Methods and means of ensuring security. Guidelines for auditing information security management systems. Approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated June 1, 2015 M.: FSUE “Standartinform”, 2015: 27. (In Russ)
8. Zhang Y., Wang L., Xiang Y., Ten C. W. Power System Reliability Evaluation with SCADA Cybersecurity Considerations. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2015; 6(4):1707–1721.DOI: 10.1109/TSG.2015.2396994.
9. Haring I., Ebenhoch S., Stolz A. Quantifying Resilience for Resilience Engineering of Socij Technical Systems. *European Journal for Security Research*. 2016; 1: 21–58. DOI: 10.1007/s41125-015-0001-x.
10. Haque M. A., Shetty S., Krishnappa B. ICS-CRAT: A Cyber Resilience Assessment Tool for Industrial Control Systems. IEEE 5th Intl Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE Intl Conference on High Performance and Smart Computing, (HPSC) and IEEE Intl Conference on Intelligent Data and Security (IDS). 2019; 273–281. DOI: 10.1109/BigDataSecurity-HPSC-IDS.2019.00058.
11. Kete N., Punzo G., Linkov I. Enhancing resilience within and between critical infrastructure systems. *Environment Systems and Decisions*. 2018; 38: 275–277. DOI: 10.1007/s10669-018-9706-5.
12. Reliability and efficiency in technology. Handbook Volume No. 5. Design reliability analysis / ed. IN AND. Patrushev and A.I. Rembezias. M.: Mechanical Engineering, 1989; 376. (In Russ)
13. Hammad A.W., Haddad A. Infrastructure Resilience: Assessment, Challenges and Insights. *Industry, Innovation and Infrastructure. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer. Cham, 2021; 1–13. DOI: 10.1007/978-3-319-71059-4_25-1.
14. Ryabinin I. A. Reliability and safety of structurally complex systems. St. Petersburg: Polytechnic. 2000: 248. (In Russ)
15. Shubinsky I. B. Structural reliability of information systems. Methods of analysis. I. B. Shubinsky M.: “Reliability Magazine”. 2012: 216. (In Russ)
16. Shubinsky I. B. Functional reliability of information systems. Methods of analysis. M.: “Journal Reliability”. 2012: 296. (In Russ)
17. Korobov V. B. Theory and practice of expert methods: monograph. M.: INFRA-M, 2019: 282. (In Russ)
18. Gutsykova S. V. Method of expert assessments. *Theory and practice. Series "Methods of Psychology"*. M.: Institute of Psychology RAS, 2011: 212. (In Russ)
19. Voevodin V. A. Mathematical model for assessing the stability of the functioning of an element of the information infrastructure of an automated control system exposed to information security threats. *"Information Technologies"*, 2024; 30(1): 23–31. DOI: 10.17587/it.30.23 -31(In Russ)
20. Voevodin V. A. Model for assessing the functional stability of information infrastructure elements under conditions of exposure to multiple computer attacks. *Computer science and automation*. 2023; 22(3): 691–715. <https://DOI 10.15622/ia.22.3.8>. (In Russ)
21. Voevodin V. A., Vinogradov I. V., Volkov D. I. On assessing the stability of the functioning of an informatization object in the conditions of computer attacks under the exponential law of distribution of time before the enemy’s influence and restoration of performance. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2022; 49(3): 39-51. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-3-39-51. (In Russ)
22. Cherkesov G.N., Nedosekin A.O., Vinogradov V.V. Analysis of the functional survivability of structurally complex technical systems. *Reliability*. 2018;18(2):17-24.DOI:10.21683/1729-2646-2018-18-2-17-24. (In Russ)
23. Cherkesov G.N., Nedosekin A.O. Description of the approach to assessing the survivability of complex structures under repeated high-precision impacts.. *Reliability*. 2016; 16(2)(57): 3–15. (In Russ)
24. Khokhlachev E. N. Organization and technology for developing solutions in the management of the system and communications troops. Part 2. Development of solutions when restoring communication networks. M.: VA Strategic Missile Forces, 2009:241. (In Russ)
25. Voevodin V. A. Monte Carlo method for predicting the stability of the functioning of the informatization object in the conditions of massive computer attacks. International Conference “Marchuk Scientific Readings 2021” (MSR-2021) *Journal of Physics: Conference Series* 2099 (2021). DOI 10.1088/1742-6596/2099/1/012070.

Сведения об авторах:

Воеводин Владислав Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности; vva541@mail.ru

Крахотин Никита Александрович, студент; nikita.krahotin@mail.ru

Information about authors:

Vladislav A. Voevodin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Information Security; vva541@mail.ru

Nikita A. Krahotin, Student; nikita.krahotin@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 26.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 17.01.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 17.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 656.13.05

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-61-67



Обзорная статья / Review article

**Особенности математического моделирования безопасности дорожного движения
на автомобильных дорогах**

Р.В. Гусейнов¹, П.А. Дадаева¹, М.М. Шабазов¹, М.Т. Муталибов¹, М.Р. Ахмедова²

¹Дагестанский государственный технический университет,

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

²Кубанский государственный университет,

²350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, Россия

Резюме. Цель. Целью работы является обоснование необходимости применения методов математического моделирования для решения проблем обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах. **Метод.** Количественные методы анализа проблем безопасности дорожного движения (БДД) основаны на теории вероятностей, математической статистики, теории информации, многофакторном анализе, теории надежности, моделирования, программирования и других математических методов. **Результат.** Рассмотрены основные тенденции в исследовании проблем БДД. Указано, что математические зависимости влияния ограниченного количества факторов непригодны для удовлетворительного описания системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС) в целом. Обращая внимание на неопределенность объектов, свойств и связей системы ВАДС обоснована необходимость использования системного подхода в решении этих проблем. Обсуждается необходимость учета региональных условий на БДД. Представлены математические модели, рекомендуемые для решения проблем обеспечения безопасности дорожного движения. **Вывод.** Обобщение, систематизация огромного эмпирического материала ДТП, накопленного в результате конкретных исследований, с учетом экономических, социальных и демографических условий и разработка теоретических концепций на основе системных представлений являются важнейшими условиями решения проблем обеспечения БДД.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения; математическое моделирование; дорожно-транспортное происшествие; системный анализ; система ВАДС

Для цитирования: Р.В. Гусейнов, П.А. Дадаева, М.М. Шабазов, М.Т. Муталибов, М.Р. Ахмедова. Особенности математического моделирования безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):61-67. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-61-67

Features of mathematical modeling of road safety on highways

R.V. Guseynov¹, P.A. Dadaeva¹, M.M. Shabozov¹, M.T. Mutalibov¹, M.R. Akhmedova²

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Kuban State University,

²149 Stavropol St., Krasnodar 350040, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the work is to apply mathematical modeling methods to solve problems of ensuring road safety on highways. **Method.** Quantitative methods for analyzing road safety problems (BDD) are based on probability theory, mathematical statistics, information theory, multifactor analysis, reliability theory, modeling, programming and other mathematical methods. **Result.** The main trends in the study of road safety problems are considered. It is indicated that the mathematical dependences of the influence of a limited number of factors are unsuitable for a satisfactory description of the “driver-vehicle-road-environment” (VADS) system as a whole. Paying attention to the uncertainty of objects, properties and connections of the VADS

system, the need to use a systematic approach in solving these problems is justified. The need to take into account regional conditions in road safety is discussed. Mathematical models recommended for solving problems of ensuring road safety are presented. **Conclusion.** Generalization, systematization of the vast empirical material of road accidents accumulated as a result of specific studies taking into account economic, social and demographic conditions and the development of theoretical concepts based on system representations are the most important conditions for solving the problems of ensuring road safety.

Keywords: road safety; mathematical modeling; traffic accident; system analysis; VADS system

For citation: R.V. Guseynov, P.A. Dadaeva, M.M. Shabozov, M.T. Mutalibov, M.R. Akhmedova. Features of mathematical modeling of road safety on highways. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):61-67. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-61-67

Введение. Автомобильный транспорт является наиболее гибким видом транспорта и находит бурное развитие во всем мире. Число автомобилей в России выросло за последние 15 лет почти на 42%. При этом число российских семей с двумя и более легковыми машинами увеличилось больше, чем в пять раз [1]. Рост числа автомобилей в условиях существующей транспортной инфраструктуры приводит к увеличению числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Тревожной является пока существующая тенденция роста последствий ДТП. Анализ статистических данных аварийности показывает, что ежегодно на дорогах мира гибнут 1,3 миллиона человек – один человек каждые 24 секунды (данные 2022 г.). Обращает на себя внимание высокая по сравнению со многими странами мира доля случаев со смертельным исходом в России. В 2022 году в РФ произошло 126 705 ДТП с пострадавшими. Каждое девятое — со смертельным исходом. За год на дорогах страны погибли 14 172 человека. «Смерть, потеря средств к существованию, инвалидность, трагедия и боль, финансовые последствия – дорожно-транспортные происшествия наносят семье и обществу огромный ущерб [2]. Ценность жизни человека признана практически во всем мире [3], а ее экономический эквивалент может достигать величин в US\$ 5–10 млн [4, 5].

В стране реализуются мероприятия национального проекта «Безопасные качественные дороги» федерального проекта «Безопасность дорожного движения». Определен целевой ориентир на 2023 год в части транспортного риска: количество погибших 2,25% на 10 тыс. транспортных средств, при этом «социальный риск» (количество погибших на 100 тыс. населения) должен снизиться до 8,9%. А значение показателя «удовлетворенность безопасностью дорожного движения» должен составить не менее 47%» [6]. В этой связи решение проблемы обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) относится сегодня к приоритетным задачам развития страны.

Постановка задачи. Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что в результате ДТП в большей степени погибает наиболее работоспособная часть населения. Задача обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) является особенно актуальной и сложной, поскольку ДТП, сопровождающиеся человеческими жертвами, пока имеют тенденцию к росту.

Кроме того, в результате ДТП нарушается нормальное функционирование процессов перевозок, что значительно снижает эффективность работы автомобильного транспорта. Существуют две тенденции в исследовании проблем БДД. Сторонники первой тенденции основное внимание уделяют изучению влияния отдельных факторов на вероятность ДТП. Вторая тенденция исследования проблемы БДД заключается в комплексном исследовании всех факторов системы «водитель – автомобиль- дорога – среда (ВАДС) одновременно. Оба направления исследований имеют свои преимущества и недостатки.

Целью работы является обоснование необходимости применения методов математического моделирования для решения проблем обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах.

Методы исследования. Количественные методы анализа проблем БДД служат для выявления состояния, структуры и динамики ДТП, основанные на теории вероятностей, математической статистики, теории информации, многофакторном анализе, теории надежности, моделирования, программирования и других математических методов.

Обсуждение результатов. Как правило, разработка любой математической модели начинают с выбора независимых факторов и количественного критерия оптимизации. Чем больше количество рассматриваемых факторов, тем выше адекватность модели. Однако учет всех действующих факторов во многих случаях не удается и приводит к неоправданно сложным математическим моделям, решение которых или невозможно, или экономически нецелесообразно. Можно уменьшить их количество за счет отсеивания части факторов по результатам установления корреляционных связей между ними, но это не решает проблему. Сформулируем основные факторы, влияющие на вероятность ДТП на автомобильных дорогах. В рамках общепризнанного подхода к анализу особенностей функционирования любой автотранспортной системы, ее дифференцирование на подсистемы ВАДС они следующие [7];

1. Погодные условия, включая атмосферное давление, влажность, скорость ветра, концентрацию кислорода, могут негативно сказываться на способности человека управлять транспортными средствами.
2. Факторы, связанные с транспортным средством: выбор способа передвижения, размеры и массу транспортных средств, мощность двигателя и скоростные характеристики, техническое состояние и оборудование транспортных средств.
3. Факторы внешней среды: время суток, погодные условия, состояние дорожного покрытия, загруженность транспортного потока, проведение дорожно-ремонтных работ.
4. Дорожные факторы: качество дорожного покрытия, дорожная инфраструктура.
5. Факторы, тесно связанным с человеком-водителем в процессе дорожного движения: опыт вождения, психофизиологическое состояние, общий уровень соматического здоровья и т.д.

В результате исследований установлено, что на БДД влияет более 130 параметров системы ВАДС [8]. Для их упорядочения и систематизации предлагаются различные качественные методы и модели. Одним из известных методов является Матрица Хэддона. Это классический метод двумерной классификации значимых факторов риска аварийных ситуаций. Согласно данной модели, выделяются три фазы ДТП (до его возникновения, в процессе и после), а также три группы факторов, соответствующих каждой из этих фаз: особенности личности человека (участника движения), характеристики ТС и окружающей среды [9]. Можно сформулировать задачу следующим образом: необходимо с помощью эксперимента, который будет проводиться при неполном знании или незнании механизмов явлений, научиться строить математическую модель, связывающие ДТП со всеми переменными, от которых ДТП зависят. ДТП (его характеристики) можно представить в виде так называемого «черного ящика». Он будет иметь входы (независимые переменные, факторы) $x_1, x_2, \dots, x_n$ (в нашем случае свойства системы ВАДС) и выходы (зависимые переменные, отклики, параметры оптимизации (в нашем случае- последствия ДТП)).

Наиболее наглядным показателем последствий ДТП является, так называемая, тяжесть ДТП [10–11], которая отражает долю погибших в общем числе пострадавших в ДТП. Для упрощения задачи в качестве параметра оптимизации можно использовать один количественный параметр (тяжесть ДТП) – Q. Существенным является то обстоятельство, что каждому набору уровней входов отвечают определенные значения выхода Q. Таким образом,

функцию отклика можем представить в виде $Q = \varphi(x_1, x_1, \dots x_n)$, причем вид функции φ нам заранее не известен.

Как правило решение такой задачи сводится к постановке желательного минимально возможного числа экспериментов (выбору некоторого числа наборов уровней входов), фиксации выходов, а затем к построению и анализу математической модели, связывающей выходы с входами. Поэтому, получая в экспериментах выборочные оценки выходов y строятся приближенные уравнения функций отклика

$$\begin{aligned} y &= f_1(x_1, x_1, \dots x_n). \\ y_2 &= f_2(x_1, x_1, \dots x_n). \\ &\dots\dots\dots \\ y_k &= f_k(x_1, x_1, \dots x_n). \end{aligned}$$

Эти уравнения в многомерном пространстве факторном пространстве (поверхности отклика). Следовательно, задача сводится к получению минимальной тяжести ДТП.

В многофакторных оптимизационных экспериментах применяются различные математические модели. Наибольшее применение нашли модели в виде алгебраических полиномов. Обычно используют разложение неизвестной функции отклика в ряд Тейлора в окрестности любой точки из области ее определения в факторном пространстве

$$Q = \varphi(x_1, x_1, \dots x_n) = \beta_0 + \sum_{1 \leq i \leq n} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq n} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq n} \beta_{ii} x_i^2 + \dots$$

$$\beta_i = \frac{\partial \varphi}{\partial x_i}, \beta_{ij} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i \partial x_j}, \beta_{ii} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i^2}, \dots\dots\dots$$

Модель строят по результатам экспериментов, т.е. определяют выборочные оценки коэффициентов $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}, \dots$

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2 + \dots,$$

где y – выборочная оценка Q .

Для нахождения коэффициентов β_i требуется проведение экспериментов по оценке влияния отдельных факторов на тяжесть ДТП. Поскольку действующих факторов достаточно много, проведение таких экспериментов невозможно и экономически нецелесообразно. Кроме того, повышенная опасность проведения натурных экспериментов в конечном счете просто их исключают. Если иметь в виду динамичный характер функционирования системы ВАДС в реальных условиях дорожного движения, ее продуктивное исследование только эмпирическими методами практически невозможно. Поэтому исследователи при оценке риска ДТП и их последствий пользуются статистическими данными по авариям за определенный период времени.

В работе [12] на основании обработки статистических данных получены зависимости интенсивности гибели участников дорожных инцидентов (в единицах отношения количества случаев гибели к случаям ДТП в течение года) от порядкового номера месяца в виде полиномиальной функции 6-й степени. Там же предложена математическая модель, характеризующая связь вероятности ДТП от месяца года на основе уравнения множественной линейной регрессии. Авторы [13] для установления взаимосвязей между показателями аварийности и характеристиками УДС предлагают корреляционный метод. В работе [14] для прогнозирования риска дорожно-транспортных ситуаций предлагаются использовать нейросетевые технологии. Вышеуказанные методы исследования, бесспорно, имеют практическую необходимость, позволяют оценить влияние отдельных факторов на ДТП, однако они имеют ограниченное применение, и полученные математические модели адекватны для конкретных условий эксплуатации автотранспорта, причем конкретным водителем. В качестве примера можно привести математическую модель зависимости вероятности ДТП $P_{\text{ДТП}}$ от таких факторов, как неправильный выбор скорости (НВС), нарушение правил маневрирования (НПМ), нарушение правил проезда перекрестков (НППП), несоблюдение дистанции (НД) [12].

$$P_{\text{ДТП}} = 0,21P_{\text{НВС}} + 0,21P_{\text{НПМ}} + 0,4P_{\text{НППП}} + 0,29P_{\text{НД}}.$$

В этой формуле учитываются только элементы функциональной надежности водителя. Не учитываются техническая надежность автомобиля, техническая надежность дороги, вероятность влияния среды на надежность системы ВАДС, влияние которых на риск ДТП существенно. Кроме того, не учитываются степень профессиональной подготовленности, опыт профессиональной деятельности, профессионально важные качества, состояние физического здоровья, биологического возраста водителя, а также произведений удельно-весовых показателей надежностей P_{HBC} , P_{HPP} , P_{HPPP} , P_{HD} в различных сочетаниях, характерные для водителя.

Основным недостатком такого направления исследований является недостаточный учет совместного влияния рассматриваемых факторов. Между тем, специфичность проблемы БДД заключается в том, что для ее кардинального решения необходимо учитывать все эти связи. В противном случае выводы из анализов не будут достоверными, а разработанные мероприятия по обеспечению БДД могут оказаться малоэффективными или даже вредными.

С целью разработки научно-обоснованных мероприятий по организации и обеспечению БДД необходимы комплексные исследования всей совокупности факторов, влияющих на БДД. Анализ работ по проблемам обеспечения БДД за последнее время показывает, что большинство ученых мира в максимальной степени исследовали особенности функционирования подсистем «Автомобиль» и «Дорога» (раздельно и во взаимосвязи), что способствовало качественному изменению конструкций транспортных средств и совершенствованию подходов к строительству и реконструкции дорог, в итоге – смене парадигм БДД. В то же время, влияние на БДД факторов, связанных с подсистемами «Водитель» (правильнее было бы «Человек») и «Среда», до сих пор изучено недостаточно полно [15]. ВАДС является сложной человека-машинной системой, состоящей из большого числа разнородных составляющих компонентов, имеет разветвленную структуру, причем ключевую роль на всех стадиях ее функционирования играет человек.

Все эти составляющие имеют различную природу и, как следствие, описываются различными моделями. Для такой системы трудно создать ее единую адекватную модель. Этим объясняет широкое разнообразие математических моделей (например, имитационное моделирование), описывающих те или иные параметры функционирования системы, но не пригодных для удовлетворительного ее описания в целом. Кроме того, исследования зарубежных авторов показывают на необходимость также учета таких факторов как медианный возраст населения; доля населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума; среднедушевые денежные доходы населения [16-19], оказывающих существенное влияние на дорожно-транспортную аварийность. Это особенно важно для РФ, так как регионы по этим показателям отличаются друг от друга. Авторы работы отмечают, что методы и практики управления БДД в субъектах Российской Федерации должны учитывать региональную специфику [20]. Наибольший риск характерен для самых молодых водителей автомобиля [21].

Таким образом, специфичность проблемы БДД заключается в том, что для ее кардинального решения необходимо учитывать кроме всех факторов системы ВАДС также экономические, социальные и демографические условия. В настоящее время наука о БДД располагает огромным эмпирическим материалом ДТП, накопленным в результате конкретных исследований. Его обобщение, систематизация с учетом экономических, социальных и демографических условий и разработка теоретических концепций на основе системных представлений представляются важнейшими условиями решения проблем обеспечения БДД.

Вывод. В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Существует ряд математических моделей, описывающих влияние тех или иных факторов на вероятность ДТП, однако они непригодны для удовлетворительного описания ВАДС в целом.

2. Метод многофакторного планирования экспериментов для математического моделирования БДД непригоден из-за невозможности и экономической нецелесообразности проведения экспериментов в широком диапазоне изменения параметров.

3. Решение проблемы БДД требует учета совокупности множества факторов, влияющих на ДТП и их последствий. Однако ввиду неопределенностей объектов, свойств и связей системы ВАДС возникает необходимость использования системного подхода в решении этих проблем.

4. Существует прямая связь между социальными, экономическими, демографическими условиями и дорожно-транспортной аварийностью. Поэтому для кардинального решения проблем БДД необходимо их учитывать совместно с учетом свойств системы ВАДС. Это особенно важно для РФ, так как регионы по данным показателям отличаются друг от друга.

Библиографический список:

1. https://www.ng.ru/economics/2023-03-15/4_8680_cars.html – Дата доступа 24.10.2023.
2. <https://news.un.org/ru/story/2021/10/1412732> – Дата доступа 24.10.2023.
3. Прохоров Б.Б., Шмаков Д.И. Оценка стоимости статистической жизни и экономического ущерба от потерь здоровья // Проблемы прогнозирования. 2002. № 3. С. 125–135.
4. Прохоров Б.Б., Шмаков Д.И. Причины гибели людей в мирное время и экономическая стоимость потерь // Проблемы прогнозирования. 2013. № 4 (139). С. 139–147.
5. Быков А.А. О методологии экономической оценки жизни среднестатистического человека (пояснительная записка) // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4. № 2. С. 178–191.
6. https://bezdt.ru/bezdt/ru/events/o_48953 – Дата доступа 24.10.2023.
7. Степченков, А. В. Анализ основных факторов, влияющих на безопасность дорожного движения / А. В. Степченков // Наука без границ. – 2016. – № 3 – С. 24–28.
8. Амбарцумян В.В. Организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения. Учеб. пособие для ВУЗов. - Ереван: Луйс, 1980. - 420 с.
9. Якупова Г.А. Повышение безопасности дорожного движения на основе системного подхода с применением современных методов и моделей: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.10/Гульнара Анваровна Якупова – Казань, 2021.-19 с.
10. Adams J.G.U. Risk and Freedom: the Record of Road Safety Regulation. Cardiff: Transportation Publishing Projects, 1985. 202 p.
11. Abellan J., Lopez G., de Ona J. Analysis of traffic accident severity using decision rules via decision trees. Expert Systems with Applications, 2013, vol. 40, no. 15, pp. 6047–6054.
12. Давыдовский А.Г., Линник А.М. Системный анализ и математическое моделирование дорожно-транспортных происшествий в мегаполисе /Системный анализ и прикладная информатика. Минск, №1, 2019. С.4-7.
13. Атаев П.Г., Геллер Р.М., Липаткин Д.В. Методика анализа дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими на примере Санкт-Петербурга /Транспорт Российской Федерации. №5(84). 2019. С.50-55.
14. Матросова Л. Д., Семенов Е. Ю. Прогнозирование показателей безопасности дорожного движения на основе статистического анализа // Л. Д. Матросова, Е. Ю. Семенов // Среднерусский вестник общественных наук. – 2016. – Т. 11, № 3. – С. 55–60.
15. Блинкин М.Я. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институции. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. 240 с.
16. Koornstra M. J. Prediction of traffic fatalities and prospects for mobility becoming sustainable safe. Sadhana, 2007, vol. 32, pp. 365–395.
17. Elvik R. A review of game-theoretic models of road user behavior. Accident Analysis & Prevention, 2014, vol. 62, pp. 388–396.
18. Reinfort D.W., Stewart J.R., Weaver N.L. The economy as a factor in motor vehicle fatalities, suicides and homicides. Accident Analysis and Prevention, 1991, vol. 23, pp. 453–462.
19. Wagenaar A.C. Effects of macroeconomic conditions on the incidence of motor vehicle accidents. Accident Analysis and Prevention, 1984, vol. 16, pp. 191–205.
20. Петров А.И., Колесов В.И. Дорожно-транспортная аварийность в России: основные социально-экономические факторы ее формирования и пространственно-временные особенности // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2021. Т. 14. № 1. С. 199–220.
21. Evans L. Traffic Safety. Bloomfield, Mich.: Science Serving Society, 2004. 457 p.

References

1. https://www.ng.ru/economics/2023-03-15/4_8680_cars.html – Access date 24.10.2023. (In Russ)
2. <https://news.un.org/ru/story/2021/10/1412732> – Access date 24.10.2023. (In Russ).
3. Prokhorov B.B., Shmakov D.I. Assessment the cost of statistical life and economic damage from health losses. *Problems of forecasting*. 2002; 3:125-135. (In Russ).

4. Prokhorov B.B., Shmakov D.I. Causes of death in peacetime and the economic cost of losses. *Problems of forecasting*. 2013; 4 (139):139-147. (In Russ).
5. Bykov A.A. On the methodology of economic assessment of the life of an average person (explanatory note). *Problems of risk analysis*. 2007; 49(2):178-191. (In Russ).
6. https://bezdtu.ru/bezdtu/ru/events/o_48953 . Access date 24.10.2023. (In Russ).
7. Stepchenkov A.V. Analysis of the main factors affecting road safety. *Science without Borders*. 2016;3:24-28. (In Russ).
8. Ambartsumyan V.V. Organization of road transport and road safety. Textbook for universities. -Yerevan: Luys, 1980:420.
9. Yakupova G.A. Improving road safety on the basis of a systematic approach using modern methods and models: Abstract of the Dissert. of the Cand. of Technical Scie.: 05.22.10/Gulnara Anvarovna Yakupova – Kazan, 2021:19.
10. Adams J.G.U. Risk and Freedom: the Record of Road Safety Regulation. Cardiff: Transportation Publishing Projects, 1985: 202 . (In Russ).
11. Abellan J., Lopez G., de Ona J. Analysis of traffic accident severity using decision rules via decision trees. *Expert Systems with Applications*, 2013; 40(15):6047–6054.
12. Davydovsky A.G., Linnik A.M. System analysis and mathematical modeling of traffic accidents in a megapolis. *System analysis and applied informatics*. Minsk, 2019;1:4-7.
13. Ataev P.G., Geller R.M., Lipatkin D.V. Methodology for analyzing road accidents with victims on the example of St. Petersburg. *Transport of the Russian Federation*. 20195(84):50-55.
14. Matrosova L. D., Semenov E. Yu. Forecasting road safety indicators based on statistical analysis .*Central Russian Bulletin of Social Sciences*. 2016;11(3):55–60
15. Blinkin M.Ya. Road safety: background, international experience, basic institutions. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2013. 240 p.
16. Koornstra M. J. Prediction of traffic fatalities and prospects for mobility becoming sustainable safe. *Sadhana*, 2007; 32: 365–395.
17. Elvik R. A review of game-theoretic models of road user behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 2014; 62: 388–396.
18. Reinfurt D.W., Stewart J.R., Weaver N.L. The economy as a factor in motor vehicle fatalities, suicides and homicides. *Accident Analysis and Prevention*, 1991; 23: 453–462.
19. Wagenaar A.C. Effects of macroeconomic conditions on the incidence of motor vehicle accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 1984; 16: 191-205.
20. Petrov A.I., Kolesov V.I. Road traffic accidents in Russia: the main socio-economic factors of its formation and spatio-temporal features. *Economic and social changes: facts, trends, forecast*. 2021;14(1):199-220. (In Russ).
21. Evans L. Traffic Safety. Bloomfield, Mich.: Science Serving Society, 2004;457.

Сведения об авторах:

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

Дадаева Патимат Ариповна, аспирант кафедры организации и безопасности движения, ragus05@mail.ru.

Шабазов Марат Магомедкамилович, аспирант кафедры организации и безопасности движения, ragus05@mail.ru.

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

Ахмедова Милена Расуловна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры мировой экономики и менеджмента, mili-g1@mail.ru.

Information about authors:

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

Patimat A. Dadaeva, Postgraduate student, Department of Organization and Traffic Safety, ra-gus05@mail.ru.

Marat M. Shabazov, Postgraduate student, Department of Organization and Traffic Safety, ragus05@mail.ru.

Magomedsalikh T. Mutalibov, Postgraduate student, Department of organization and traffic safety; mutalibovm98@mail.ru.

Milena R. Akhmedova, Cand. Sci. (Economics), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of World Economy and Management; mili-g1@mail.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 26.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 17.01.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 17.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК004.056



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-68-78

Оригинальная статья/ Original article

**Характеристика дефектов безопасности и анализ критичности уязвимостей
в программном обеспечении автоматизированных систем органов внутренних дел**

И.Г. Дровникова, А.Д. Попова

Воронежский институт МВД России,
394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является теоретический анализ дефектов безопасности и исследование критичности уязвимостей в программных средствах, используемых в современных автоматизированных системах органов внутренних дел. **Метод.** Использован метод системного подхода к рассмотрению сущности проблемы оценивания защищенности программного обеспечения автоматизированных систем органов внутренних дел и критичности его уязвимостей. **Результат.** Представлены результаты анализа теоретических аспектов исследования уязвимостей в программном обеспечении автоматизированных систем. Проанализированы компоненты типичного программного обеспечения, используемого на автоматизированном рабочем месте пользователя современной автоматизированной системы органов внутренних дел, на наличие известных уязвимостей, представленных в Национальной базе уязвимостей США и Банке данных угроз безопасности информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю России, с получением базовых оценок по стандарту Common Vulnerability Scoring System версий 3.0 и 3.1. **Вывод.** Сделаны выводы об уровне критичности выявленных уязвимостей и важности их устранения путем своевременного обновления используемого программного обеспечения на основе выбора его оптимальной по уровню защищенности версии. Намечены основные направления деятельности по проведению количественной оценки уровня защищенности программного обеспечения в автоматизированных системах органов внутренних дел с учетом его уязвимостей в режиме реального времени.

Ключевые слова: автоматизированная система, программное обеспечение, уязвимость, уровень опасности уязвимости, уровень критичности уязвимости, уровень защищенности программного обеспечения, количественная оценка уровня защищенности.

Для цитирования: И.Г. Дровникова, А.Д. Попова. Характеристика дефектов безопасности и анализ критичности уязвимостей в программном обеспечении автоматизированных систем органов внутренних дел. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):68-78. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-68-78

**Characterization of security defects and analysis of vulnerability criticality
in software for automated systems of internal affairs bodies**

I.G. Drovnikova, A.D. Popova

Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
53 Patriotov Ave., Voronezh 394065, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to theoretically analyze security defects and study the criticality of vulnerabilities in software used in modern automated systems of internal affairs agencies. **Method.** A systematic approach method was used to consider the essence of the problem of assessing the security of software of automated systems of internal affairs bodies and the criticality of its vulnerabilities. **Result.** The results of an analysis of theoretical aspects of the study of vulnerabilities in software of automated systems are presented. The components of typical software used in the automated workstation of a user of a modern automated system of internal affairs bodies were analyzed for the presence of known vulnerabilities presented in the US National

Vulnerability Database and the Data Bank of Information Security Threats of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia, obtaining basic estimates for standard Common Vulnerability Scoring System versions 3.0 and 3.1. **Conclusion.** Carry out timely updates of the software used based on the selection of its optimal version in terms of security level. The main directions of activity for conducting a quantitative assessment of the level of software security in automated systems of internal affairs bodies are outlined, taking into account its vulnerabilities in real time.

Keywords: automated system, software, vulnerability, vulnerability danger level, vulnerability criticality level, software security level, quantitative assessment of security level

For citation: I.G. Drovnikova, A.D. Popova. Characterization of security defects and analysis of vulnerability criticality in software for automated systems of internal affairs bodies. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):68-78. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-68-78

Введение. Важнейшая особенность современных объектов информатизации органов внутренних дел (ОВД) заключается в хранении, обработке и передаче все возрастающих объемов и многообразия разновидностей служебной информации ограниченного распространения, что приводит к лавинообразному увеличению количества и к расширению номенклатуры угроз информационной безопасности. В первую очередь, это касается появления новых видов угроз, связанных с несанкционированным доступом к информационным ресурсам автоматизированных систем (АС) ОВД, отличающихся как несложностью исполнения, так и изощренностью воздействия, подвергающим служебную информацию, циркулирующую на объектах информатизации, нарушению конфиденциальности, целостности или доступности [1].

Постоянное совершенствование злоумышленниками способов деструктивного воздействия, используя уязвимости в программном обеспечении (ПО) АС ОВД, с целью получения доступа к служебной информации ограниченного распространения, а также необходимость быстрого и правомерного реагирования на угрозы ставит в качестве первоочередной задачи устранения выявленных уязвимостей и повышения уровня защищенности используемых программных средств. Это, в свою очередь, приводит к необходимости оценивания уровня защищенности ПО в АС ОВД с учетом его уязвимостей.

Для решения обозначенной задачи сформулирована триединая цель обеспечения безопасности ПО объектов информатизации ОВД:

- защита ПО от использования злоумышленниками уязвимостей с целью кражи служебной информации (нарушения конфиденциальности);
- защита ПО от использования злоумышленниками уязвимостей с целью подмены или модификации служебной информации (нарушения целостности);
- защита ПО от использования злоумышленниками уязвимостей с целью нарушения процессов обработки, хранения и передачи служебной информации (нарушения доступности).

Постановка задачи. Реализация указанной цели требует изучения дефектов безопасности и проведения общего анализа критичности уязвимостей в программных средствах, используемых на современных объектах информатизации ОВД.

Это предполагает проработку отдельных аспектов теории оценки защищенности ПО АС ОВД с учетом уязвимостей [2] и проведение анализа типичного ПО, используемого на автоматизированном рабочем месте (АРМ) пользователя современной АС ОВД, на наличие известных уязвимостей, представленных в Национальной базе уязвимостей США (National Vulnerabilities Database – NVD) [3] и банке данных угроз (БДУ) безопасности информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России [4], с получением базовых оценок по стандарту Common Vulnerability Scoring System (CVSS) [5] V.3.0 [6] и V.3.1 [7], что и является задачей исследования.

Методы исследования. Комплексный характер проблемы оценивания уровня защищенности ПО на объектах информатизации ОВД с учетом его уязвимостей [2] предполагает реализацию системного подхода к рассмотрению сущности проблемы оценивания защищенности ПО АС ОВД и критичности его уязвимостей.

Обсуждение результатов. Согласно [8] ПО – это совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ.

Под безопасным ПО понимается ПО, разработанное с использованием совокупности мер, направленных на предотвращение появления и устранение уязвимостей программы. В соответствии с [8] уязвимость программы рассматривается как ее недостаток, который может быть использован для реализации угроз безопасности информации, а в соответствии с [9] – является свойством программы, обуславливающим возможность реализации угроз безопасности обрабатываемой с ее помощью информации.

В [10] уязвимость трактуется как слабость одного или нескольких активов (то есть всего, что представляет ценность для организации), которая может использоваться одной или несколькими угрозами. В книге Ю.К. Язова, С.В. Соловьева дается определение уязвимости системного и прикладного ПО: она рассматривается как свойство ПО, предоставляющее возможность для реализации угроз безопасности информации, обрабатываемой с использованием данного ПО. При этом подчеркивается, что описание уязвимости представляет собой неотъемлемую составную часть описания угрозы безопасности информации, которая реализуется с использованием данной уязвимости. Отсутствие указания на используемую угрозой уязвимость приводит к неопределенности описания способа реализации угрозы, а, следовательно, и описания самой угрозы [11].

В настоящее время наиболее представительной по составу содержащихся сведений о существующих уязвимостях ПО является база данных CVE (Common Vulnerabilities and Exposures) [12], которая входит в состав NVD [3] и считается единым стандартом идентификации уязвимостей. Для проведения анализа уязвимостей из CVE, их классификации, определения необходимых характеристик и получения численных оценок наиболее широкое применение получил стандарт CVSS, содержащий три группы метрик в виде набора целых чисел 0, 1, ..., 10 и векторов с кратким текстовым описанием с используемыми для вывода оценки значениями [5, 13]: базовые метрики (отображают не изменяющиеся со временем и не зависящие от окружения характеристики уязвимости.); временные метрики (отображают изменяющиеся со временем характеристики уязвимости); контекстные метрики (отражают связанные со средой использования характеристики уязвимости). Временные и контекстные метрики не являются обязательными и не влияют на базовую оценку, а служат для ее уточнения.

Востребованным отечественным каталогом уязвимостей ПО служит база данных уязвимостей, входящая в состав БДУ безопасности информации ФСТЭК России [4].

Находящиеся в открытом доступе стандарты CVE и CVSS вместе с БДУ ФСТЭК России могут быть использованы для получения предварительной информации об уязвимостях ПО АС ОВД. В [14] рассматривается понятие степени опасности уязвимости информационной системы, в соответствии с которым можно ввести понятие уровня опасности уязвимости ПО АС как меры (сравнительной величины), которая характеризует подверженность ПО уязвимости, а также влияние данной уязвимости на нарушение свойств безопасности информации, обрабатываемой в АС с использованием данного ПО (нарушение ее конфиденциальности, целостности и доступности).

Согласно [15] уровень критичности уязвимости ПО АС следует рассматривать как показатель, характеризующий уровень опасности уязвимости и ее влияние на функционирование АС, использующей данное ПО. По сути критичность уязвимости ПО – это совокупность ее основных технических характеристик, некая числовая оценка, позволяющая определить серьезность данной уязвимости в сравнении с другими [2]. Необходимость оценивания уровня критичности уязвимостей ПО связана с принятием операторами АС обоснован-

ного решения о необходимости устранения выявленных уязвимостей, основываясь на результатах их анализа [15]. В соответствии с [14] уязвимости в ПО классифицируются следующим образом по месту (источнику) их возникновения:

- 1) уязвимости в общесистемном ПО:
 - уязвимости операционных систем (ОС) (файловых систем, режимов загрузки, связанные с наличием средств разработки и отладки ПО, механизмов управления процессами и др.);
 - уязвимости систем управления базами данных (СУБД) (серверной и клиентской частей СУБД, специального инструментария, исполняемых объектов баз данных (храняемые процедуры, триггеры) и др.);
 - уязвимости иных типов общесистемного ПО;
- 2) уязвимости в прикладном ПО – уязвимости офисных пакетов программ и иных типов прикладного ПО (наличие средств разработки мобильного кода, недостатки механизмов контроля исполнения мобильного кода, ошибки программирования, наличие функциональных возможностей, способных оказать влияние на средства защиты информации и др.);
- 3) уязвимости в специальном ПО – уязвимости ПО, разработанного для решения специфических задач конкретной АС (ошибки программирования, наличие функциональных возможностей, способных оказать влияние на средства защиты информации, недостатки механизмов разграничения доступа к объектам специального ПО и др.).

В [16] описан состав типичного ПО, используемого на АРМ пользователя современной АС ОВД. Рассмотрим каждый из компонентов описанного ПО на наличие известных уязвимостей, представленных в NVD [3] и БДУ безопасности информации ФСТЭК России [4]:

1) BIOS материнской платы версии UEFI. Для рассматриваемой версии BIOS не выявлено опубликованной информации о наличии каких-либо неустранимых уязвимостей;

2) ОС Astra Linux. В представленной ОС выявлено значительное количество уязвимостей, информация об устранении которых отсутствует. Выделим отдельные из последних таких уязвимостей [4] (табл.1).

Таблица 1. Уязвимости ОС Astra Linux
Table 1. Astra Linux OS vulnerabilities

№ пп	Идентификатор Identifier	Краткое описание Brief Description	Базовая оценка CVSS V.3.0 Base Rating	Уровень опасности Danger level
1	BDU:2023-00001	Уязвимость ядра операционной системы Linux, позволяющая нарушителю получить базовый адрес Kernel ASLR и получить доступ к памяти ядра/ Operating system kernel vulnerability	6,5	средний average
2	BDU:2023-00352	BDU:2023-00352. Уязвимость функции <code>scsi_ioctl</code> (<code>drivers/scsi/scsi_ioctl.c</code>) ядра операционной системы Linux, позволяющая нарушителю повысить свои привилегии/ Vulnerability of the <code>scsi_ioctl</code> function (<code>drivers/scsi/scsi_ioctl.c</code>) of the operating system kernel	5,9	средний average
3	BDU:2023-01277	Уязвимость функции <code>setup_async_work()</code> (<code>fs/ksmbd/smb2pdu.c</code>) подсистеме SMB ядра операционной системы Linux, позволяющая нарушителю вызвать отказ в обслуживании/ Vulnerability of the <code>setup_async_work()</code> function (<code>fs/ksmbd/smb2pdu.c</code>) in the SMB subsystem of the Linux operating system kernel	6,5	средний average
4	BDU:2023-01801	Уязвимость функции <code>hci_conn_hash_flush()</code> в модуле <code>net/bluetooth/hci_conn.c</code> операционной системы Linux, позволяющая нарушителю повысить свои привилегии/ Vulnerability of the <code>hci_conn_hash_flush()</code> function in the <code>net/bluetooth/hci_conn.c</code> module of the Linux	7,8	высокий high

№ пп	Идентификатор Identifier	Краткое описание Brief Description	Базовая оценка CVSS V.3.0 Base Rating	Уровень опасности Danger level
		operating system,		
5	BDU:2023-02516	Уязвимость функции mtd_div_by_eb() в модуле include/linux/mtd/mtd.h ядра операционной системы Linux, позволяющая нарушителю вызвать отказ в обслуживании или, возможно, оказать иное воздействие/ Vulnerability of the mtd_div_by_eb() function in the include/linux/mtd/mtd.h module of the Linux operating system kernel	5,5	средний average
6	BDU:2023-03165	Уязвимость реализации сетевого протокола безопасности MACsec ядра операционной системы Linux, позволяющая нарушителю получить доступ к защищаемой информации или нарушить целостность данных/ Vulnerability in the implementation of the MACsec network security protocol in the Linux operating system kernel,	8,0	высокий high
7	BDU:2023-03435	Уязвимость функции ravb_remove() в модуле drivers/net/ethernet/renesas/ravb_main. с драйвера сетевых устройств Renesas ядра операционной системы Linux в функции ravb_remove(), позволяющая нарушителю оказать воздействие на конфиденциальность, целостность и доступность защищаемой информации/ Vulnerability of the ravb_remove() function in the drivers/net/ethernet/renesas/ravb_main module. from the Renesas network device driver of the Linux operating system kernel in the ravb_remove() function,	7,6	высокий high

3) драйвера чипсета, звуковой карты и др. [3]:

– CVE-2022-42455. Уязвимость драйвера ASUS EC Tool (он же d.sys) 1beb15c90dcf7a5234ed077833a0a3e900969b60be1d04fcebce0a9f8994bdbb, подписанного ASUS и поставляемого с несколькими программными продуктами ASUS, содержащего несколько обработчиков IOCTL, которые обеспечивают необработанный доступ к портам ввода-вывода и MSRS для чтения и записи через непривилегированные вызовы IOCTL. Локальные пользователи могут получать привилегии (базовая оценка CVSS V.3.1 составляет 7,8; высокий уровень опасности);

4) набор прикладных программ:

а) пакет офисных программ LibreOffice. Содержит множество выявленных уязвимостей, последние из которых представлены в табл. 2 [3].

Таблица 2. Уязвимости пакета программ LibreOffice
Table 2. Vulnerabilities of the LibreOffice software package

№ пп	Идентификатор Identifier	Краткое описание Brief Description	Базовая оценка CVSS V.3.0 Base Rating	Уровень опасности Danger level
1	CVE-2023-0950	Уязвимость индекса массива в компоненте электронных таблиц Document Foundation LibreOffice, позволяющая злоумышленнику создать документ электронной таблицы, который при загрузке приводит к недостаточному заполнению индекса массива, вызывая риск выполнения произвольного кода/ Array index vulnerability in Document Foundation LibreOffice spreadsheet component	7,8	высокий high
2	CVE-2023-1183	Уязвимость пакета LibreOffice, позволяющая	5,5	средний

№ пп	Идентификатор Identifier	Краткое описание Brief Description	Базовая оценка CVSS V.3.0 Base Rating	Уровень опасности Danger level
		злоумышленнику создать odb, содержащий файл «база данных/сценарий», с помощью команды SCRIPT, в которой содержимое файла может быть записано в новый файл, местоположение которого определено злоумышленником/ A vulnerability in LibreOffice that allows an attacker to create an odb containing a database/script file		average
3	CVE-2023-2255	Уязвимость реализации неправильного контроля доступа в компонентах редактора Document Foundation LibreOffice, позволяющая злоумышленнику создать документ, приводящий к загрузке внешних ссылок без запроса разрешения пользователя/ Improper access control implementation vulnerability in Document Foundation LibreOffice editor components	5,3	средний average
4	CVE-2023-26435	Уязвимость позволяет вызывать ссылки на файловую систему и сеть, используя локальный экземпляр LibreOffice и обработанные документы ODT, что позволяет злоумышленнику обнаружить топологию сети и службы с ограниченным доступом, а также включить локальные файлы с правами на чтение пользователя системы open-xchange/ The vulnerability allows you to call links to the file system and network using a local instance	5,0	средний average
5	CVE-2023-31145	Отраженная уязвимость XSS с полным обходом политики безопасности контента в установках Nextcloud с использованием для совместной работы онлайн-офисного пакета Collabora Online, основанного на технологии LibreOffice. Позволяет злоумышленнику выполнить тривиальную атаку на захват учетной записи, что может привести к несанкционированному доступу к конфиденциальной информации и данным, а также к возможности совершать действия от имени пользователя/ Reflected XSS vulnerability with full content security policy bypass in Nextcloud installations using Collabora Online online office collaboration suite	6,1	средний average

б) браузер Mozilla Firefox. Не выявлено опубликованной информации о наличии каких-либо неустранимых уязвимостей;

в) Adobe Acrobat Reader. Выделим некоторые из последних выявленных уязвимостей [3] (табл. 3).

Таблица 3. Уязвимости программы Adobe Acrobat Reader
Table 3. Adobe Acrobat Reader vulnerabilities

№ пп	Идентификатор Identifier	Краткое описание Brief Description	Базовая оценка CVSS V.3.0 Base Rating	Уровень опасности Danger level
1	CVE-2023-29299	Уязвимость ненадежного пути поиска, которая может привести к отказу в обслуживании приложения (подвержен Adobe Acrobat Reader версий 23.003.20244 и более ранних, 20.005.30467 и более ранних). Злоумышленник может воспользоваться этой уязвимостью, если для параметра	4,7	средний average

№ пп	Идентификатор Identifier	Краткое описание Brief Description	Базовая оценка CVSS V.3.0 Base Rating	Уровень опасности Danger level
		PowerShell Set-ExecutionPolicy по умолчанию установлено значение Unrestricted, что повышает сложность атаки. Для решения проблемы и открытия вредоносного файла необходимо взаимодействие с пользователем/ An untrusted search path vulnerability that could lead to an application denial of service (affected by Adobe Acrobat Reader versions 23.003.20244 and earlier, 20.005.30467 and earlier).		
2	CVE-2023-29303	Уязвимость Use After Free, которая может привести к раскрытию конфиденциальной памяти (подвержен Adobe Acrobat Reader версий 23.003.20244 и более ранних, 20.005.30467 и более ранних). Злоумышленник может использовать эту уязвимость для обхода средств защиты, таких как ASLR. Для решения проблемы и открытия вредоносного файла необходимо взаимодействие с пользователем/ Use After Free vulnerability that can lead to disclosure of confidential memory (affected by Adobe Acrobat Reader versions 23.003.20244 and earlier, 20.005.30467 and earlier).	5,5	средний average
3	CVE-2023-29320	Уязвимость, связанная с нарушением принципов безопасного проектирования, которая может привести к выполнению произвольного кода в контексте текущего пользователя в обход функции внесения в черный список API (подвержен Adobe Acrobat Reader версий 23.003.20244 и более ранних, 20.005.30467 и более ранних). Для решения проблемы и открытия вредоносного файла необходимо взаимодействие с пользователем/ Secure Design Vulnerability	7,8	высокий high
4	CVE-2023-38226	Уязвимость доступа по неинициализированному указателю, которая может привести к выполнению произвольного кода в контексте текущего пользователя (подвержен Adobe Acrobat Reader версий 23.003.20244 и более ранних, 20.005.30467 и более ранних). Для решения проблемы и открытия вредоносного файла необходимо взаимодействие с пользователем/ Uninitialized pointer access vulnerability	7,8	высокий
5	CVE-2023-38228	Уязвимость «Использовать бесплатно», которая может привести к выполнению произвольного кода в контексте текущего пользователя (подвержен Adobe Acrobat Reader версий 23.003.20244 и более ранних, 20.005.30467 и более ранних). Для решения проблемы и открытия вредоносного файла необходимо взаимодействие с пользователем/ Free to use vulnerability that could lead to arbitrary code execution in the context of the current user	7,8	высокий high
6	CVE-2023-38230	Уязвимость «После использования», которая может привести к раскрытию конфиденциальной памяти (подвержен Adobe Acrobat Reader версий 23.003.20244 и более ранних, 20.005.30467 и более ранних). Злоумышленник может использовать эту уязвимость для обхода средств защиты, таких как ASLR. Для решения	5,5	средний average

№ пп	Идентификатор Identifier	Краткое описание Brief Description	Базовая оценка CVSS V.3.0 Base Rating	Уровень опасности Danger level
		проблемы и открытия вредоносного файла необходимо взаимодействие с пользователем/ After Exploit vulnerability that could lead to sensitive memory disclosure (affected by Adobe Acrobat Reader versions 23.003.20244 and earlier, 20.005.30467 and earlier)		
7	CVE-2023-38232	Уязвимость для чтения за пределами доступа, которая может привести к раскрытию конфиденциальной памяти (подвержен Adobe Acrobat Reader версий 23.003.20244 и более ранних, 20.005.30467 и более ранних). Злоумышленник может использовать эту уязвимость для обхода средств защиты, таких как ASLR. Для решения проблемы и открытия вредоносного файла необходимо взаимодействие с пользователем/ Out-of-bounds read vulnerability that could lead to sensitive memory disclosure	5,5	средний average
8	CVE-2023-38233	Уязвимость записи за пределы допустимых значений, которая может привести к выполнению произвольного кода в контексте текущего пользователя (подвержен Adobe Acrobat Reader версий 23.003.20244 и более ранних, 20.005.30467 и более ранних). Для решения проблемы и открытия вредоносного файла необходимо взаимодействие с пользователем/ An out-of-bounds write vulnerability that could lead to arbitrary code execution in the context of the current user	7,8	высокий high

г) Qpdfview. Не выявлено опубликованной информации о наличии каких-либо неустраненных уязвимостей;

д) VipNet. К последним уязвимостям, информация об устранении которых отсутствует, относятся уязвимости, представленные в табл.4 [4].

Таблица 4. Уязвимости VipNet
Table 4. VipNet vulnerabilities

№ пп	Идентификатор Identifier	Краткое описание Brief Description	Базовая оценка CVSS V.3.0 Base Rating	Уровень опасности Danger level
1	BDU:2022-03008	Уязвимость функционала проверки файлов обновлений программно-аппаратного комплекса защиты информации VipNet Client, позволяющая нарушителю установить вредоносное программное обеспечение/ Vulnerability in the functionality for checking update files of the VipNet Client information security software and hardware system	8,8	высокий high
2	BDU:2022-03009	Уязвимость программно-аппаратного комплекса защиты информации VipNet Client, позволяющая нарушителю выполнить произвольный код путем возможности подмены динамической библиотеки/ Vulnerability of the VipNet Client information security software and hardware system,	7,8	высокий high

е) Криптопро [3]:

– CVE-2022-34301. **Уязвимость** в загрузчиках защищенных дисков CryptoPro, выпущенных до 2022-06-01. Злоумышленник может использовать этот загрузчик для обхода

или вмешательства в систему безопасной загрузки. Чтобы загрузить и выполнить произвольный код на этапе предварительной загрузки, злоумышленнику необходимо заменить существующий подписанный загрузчик, используемый в данный момент, этим загрузчиком. Для загрузки с внешнего носителя требуется доступ к системному разделу EFI (базовая оценка CVSS V.3.1 составляет 6,7; средний уровень опасности);

ж) антивирус «Kaspersky» [3]:

– CVE-2022-27534. Уязвимость в модуле анализа данных антивирусных продуктов Касперского для дома и Kaspersky Endpoint Security с антивирусными базами, выпущенных до 12 марта 2022 года, которая потенциально позволяла злоумышленнику выполнять произвольный код (базовая оценка CVSS V.3.1 составляет 9,8; **критический** уровень опасности).

Зная значения оценок уровня опасности уязвимостей компонентов ПО АС ОВД могут быть определены оценки уровня их критичности. В соответствии с [15] уровень критичности (V) уязвимости ПО в АС рассчитывается по формуле:

$$V = I_{cvss} \times I_{infr}, \quad (1)$$

где: I_{cvss} – показатель уровня опасности уязвимости (находится путем расчета базовых, временных и контекстных метрик по методике CVSS V.3.0 или V.3.1 [6, 7] применительно к конкретной АС с использованием калькулятора [17, 18] и определяется совокупностью показателей этих метрик);

I_{infr} – показатель, характеризующий влияние уязвимости ПО на процесс функционирования АС, использующей это ПО. Рассчитывается для конкретной АС в соответствии с таблицей, приведенной в [15], по формуле:

$$I_{infr} = k * K + l * L + p * P, \quad (2)$$

где: K – показатель, описывающий тип подверженного уязвимости компонента ПО;

L – показатель, описывающий число уязвимых компонентов ПО;

P – показатель, описывающий влияние уязвимого компонента на защищенность периметра АС;

k, l, p – весовые коэффициенты рассматриваемых показателей.

Проведенный анализ типичного ПО, используемого на АРМ пользователя современной АС ОВД, на наличие известных уязвимостей, представленных в NVD и БДУ безопасности информации ФСТЭК России, с получением базовых оценок CVSS V.3.0 [6, 17] и CVSS V.3.1 [7, 18] показал, что основные компоненты рассматриваемого ПО подвержены значительному числу неустранимых уязвимостей с высоким и даже критическим уровнем опасности. Это может привести к получению оценок «высокий» и «критический» при определении уровня критичности рассматриваемых уязвимостей ПО в случае проведения расчетов применительно к конкретной АС ОВД.

Наиболее эффективным способом устранения таких уязвимостей является своевременное обновление ПО, используемого на объектах информатизации ОВД. При промедлении в обновлении ПО может стать доступным значительное число уязвимостей с высоким и критическим уровнем критичности. В этом случае требуется быстрое их устранение путем принятия соответствующих организационных (компенсирующих) мер (в течение 24 часов – для уязвимостей, имеющих критический уровень критичности; в течение 7 дней – для уязвимостей, имеющих высокий уровень критичности) [15] по причине непрерывного выявления новых уязвимостей в компонентах используемого ПО АС ОВД. Выбор компенсирующих мер по защите информации осуществляет оператор системы, учитывая как архитектуру и особенности функционирования АС ОВД, так и способы эксплуатации уязвимостей в используемом ПО. Реализация своевременного обновления ПО, используемого на объектах информатизации ОВД, должна осуществляться на основе выбора его безопасной, наиболее защищенной (оптимальной по уровню защищенности) версии, что приводит к необходимости проведения количественной оценки уровня защищенности ПО в АС ОВД с учетом его

уязвимостей в режиме реального времени.

Вывод. Комплексность проблемы оценивания уровня защищенности ПО в АС ОВД с учетом его уязвимостей предполагает реализацию системного подхода. Это требует проведения более детального анализа ряда аспектов, связанных с оценкой уровня критичности уязвимостей и возможности их эксплуатации в используемых программных средствах, что определяет следующие основные направления деятельности:

- системное рассмотрение сущности проблемы оценивания защищенности ПО АС ОВД и критичности его уязвимостей;
- разработка системы показателей уровня защищенности ПО АС ОВД, учитывающих фактор времени;
- системное использование методов моделирования исследуемых процессов расчета показателей уровня защищенности ПО АС ОВД;
- разработка методики количественной оценки уровня защищенности ПО АС ОВД, основанной на анализе критичности его уязвимостей в режиме реального времени;
- разработка и верификация программного комплекса анализа и оценки уровня защищенности ПО АС ОВД с учетом уязвимостей;
- разработка предложений по использованию разработанных методики и программного комплекса при проведении оценки уровня защищенности ПО и оптимизации его версионного выбора для объектов информатизации ОВД.

Библиографический список:

1. Ефимов А. О. Меры защиты планшетных компьютеров, осуществляющих обработку конфиденциальной информации, от несанкционированного доступа / А.О. Ефимов, Т. В. Мещерякова, Е. А. Рогозин // Вестник Воронежского института МВД России. – 2023. – № 2. – С. 31–38.
2. Ефимов А. О. Концептуальные основы оценки уровня защищенности автоматизированных систем на основе их уязвимости / А. О. Ефимов, И. И. Лившиц, Т. В. Мещерякова, Е. А. Рогозин // Безопасность информационных технологий IT Security. – Том 30. – № 2(2023). – С. 63–79.
3. National Vulnerability Database. Nist [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nvd.nist.gov/> (дата обращения: 29.01.2024).
4. Банк данных угроз безопасности информации. Уязвимости // ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bdu.fstec.ru/vul> (дата обращения: 30.01.2024).
5. Common Vulnerability Scoring System (CVSS-SIG) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.first.org/cvss> (дата обращения: 12.02.2024).
6. Common Vulnerability Scoring System version 3.0. Specification Document. Revision 0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cvss-v3-specification_r0.pdf (дата обращения: 12.02.2024).
7. Common Vulnerability Scoring System version 3.1. Specification Document. Revision 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cvss-v31-specification_r1.pdf (дата обращения: 12.02.2024).
8. ГОСТ Р 56939-2016. Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 24 с.
9. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 15 с.
10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 13335-1-2006. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Часть 1. Концепция и модели менеджмента безопасности информационных и телекоммуникационных технологий. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 33 с.
11. Язов Ю. К. Защита информации в информационных системах от несанкционированного доступа : учебное пособие / Ю. К. Язов, С. В. Соловьев. – Воронеж : Кварта, 2015. – 440 с.
12. Common Vulnerabilities and Exposures (CVE) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://en.wikichip.org/wiki/cve> (дата обращения: 12.02.2024).
13. Полное руководство по общему стандарту оценки уязвимостей версии 2. Вычисление оценки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.securitylab.ru/analytics/356476.php> (дата обращения: 30.01.2024).
14. ГОСТ Р 56546-2015. Защита информации. Уязвимости информационных систем. Классификация уязвимостей информационных систем. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 12 с.
15. Методика оценки уровня критичности уязвимостей программных, программно-аппаратных средств : Методический документ от 28 октября 2022 г. // ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/metodicheskij-dokument-ot-28-oktyabrya-2022-g-2> (дата обращения: 29.01.2024).

16. Золотых Е. С. Модели оценки опасности реализации сетевых атак в автоматизированных системах органов внутренних дел : 2.3.6. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Золотых Елена Сергеевна. – Воронеж, 2022. – 220 с.
17. БДУ-CVSS v3 Calculator [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bdu.fstec.ru/calcv3> (дата обращения: 12.02.2024).
18. БДУ-CVSS v31 Calculator [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bdu.fstec.ru/calcv31> (дата обращения: 12.02.2024).

References

1. Efimov A. O. Measures to protect tablet computers processing confidential information from unauthorized access / A.O. Efimov, T. V. Meshcheryakova, E. A. Rogozin. *Bulletin of the Voronezh Institute Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2023; 2:31–38.
2. Efimov A. O. Conceptual basis for assessing the level of security of automated systems based on their vulnerability / A. O. Efimov, I. Livshits, T. V. Meshcheryakova, E. A. Rogozin. *Information technology security = IT Security*. 2023; 30(2): 63–79.
3. National Vulnerability Database. Nist [El. res.]. Access mode: <https://nvd.nist.gov/> (date of access: 01/29/2024).
4. Data bank of information security threats. Vulnerabilities // FSTEC of Russia [Electronic resource]. – Access mode: <https://bdu.fstec.ru/vul> (date of access: 01/30/2024).
5. Common Vulnerability Scoring System (CVSS-SIG) [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.first.org/cvss> (access date: 02/12/2024).
6. Common Vulnerability Scoring System version 3.0. Specification Document.Revision 0 [Electronic resource]. – Access mode: https://cvss-v3-specification_r0.pdf (access date: 02/12/2024).
7. Common Vulnerability Scoring System version 3.1. Specification Document.Revision 1 [Electronic resource]. – Access mode: https://cvss-v31-specification_r1.pdf (access date: 02.12.2024).
8. GOST R 56939-2016. Data protection. Secure software development. General requirements. – Moscow: Standartinform, 2016; 24.
9. GOST R 50922-2006. Data protection. Basic terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2008; 15.
10. GOST R ISO/IEC 13335-1-2006. Information technology. Methods and means of ensuring security. Part 1. Concept and models of security management of information and telecommunication technologies. – Moscow: Standartinform, 2007; 33.
11. Yazov Yu. K. Protection of information in information systems from unauthorized access: textbook / Yu. K. Yazov, S. V. Solovyov. Voronezh: Kvarta, 2015; 440 .
12. Common Vulnerabilities and Exposures (CVE) [Electronic resource]. – Access mode: <https://en.wikichip.org/wiki/cve> (access date: 02.12.2024).
13. A Complete Guide to the Common Vulnerability Assessment Standard Version 2. Calculating the Score [El. resource]. – Access mode: <https://www.securitylab.ru/analytics/356476.php> (access date: 01/30/2024).
14. GOST R 56546-2015. Data protection. Vulnerabilities of information systems. Classification of information system vulnerabilities. – Moscow: Standartinform, 2015; 12 .
15. Methodology for assessing the level of criticality of software, software and hardware vulnerabilities: Methodological document dated October 28, 2022 // FSTEC of Russia [Electronic resource]. – Access mode: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/metodicheskij-dokument-ot-28-oktyabrya-2022-g-2> (date of access: 01/29/2024).
16. Zolotykh E. S. Models for assessing the danger of implementing network attacks in automated systems of internal affairs bodies: 2.3.6. dissertation for the degree of Cand. of Technical Sci. / Elena Sergeevna Zolotykh. – Voronezh, 2022; 220.
17. BDU-CVSS v3 Calculator [El.res.]. Access mode: <https://bdu.fstec.ru/calcv3> (date of access: 02.12.2024).
18. BDU-CVSS v31 Calculator [El.res.]. Access mode: <https://bdu.fstec.ru/calcv31> (date of access: 02.12.2024).

Сведения об авторах:

Дровникова Ирина Григорьевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; drovnikova@mail.ru

Попова Арина Дмитриевна, адъюнкт кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; arnpva@mail.ru

Information about the authors:

Irina G. Drovnikova, Dr. Sci.(Eng.), Assoc. Prof., Prof., Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; drovnikova@mail.ru

Arina D. Popova, Adjunct, Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; arnpva@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 29.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 21.01.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 21.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК004. 056.57



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-79-86

Оригинальная статья/ Original article

Обнаружение вируса «Telegram Rat»

А.И. Дубровина^{1,2}, Мустафа Х. Алкорди¹

¹ Донской государственный технический университет,

¹344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия,

²Частное образовательное учреждение высшего образования

«Южный университет» (Институт управления, бизнеса и права),

²344000, г. Ростов-на-Дону, ул. Мечникова, 130, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является анализ вируса «Telegram Rat», подчеркивая важность информирования для эффективной борьбы с киберугрозами и обеспечения безопасности в цифровой эпохе. **Методы.** В статье использовался анализ характеристик и распространения вирусов «Telegram Rat». Приведен пример анализа технических механизмов вымогательства на примере «WAGNER GROUP» и сформулированы этапы ликвидации вируса. **Результаты.** Рассмотрена актуальность проблемы вируса «Telegram Rat» и пути его передачи. Представлены практические методы выявления и нейтрализации угрозы. Метод обнаружения угроз вируса «Telegram Rat» основан на анализе активных процессов, сетевой активности и файловой системы. Выявлено, что основным уязвимым местом на устройствах, зараженных вирусом, является неосторожное поведение пользователей. **Вывод.** В содержании настоящей работы подчеркивается важность бдительности при скачивании файлов и переходах по неизвестным ссылкам. Недостаточная осторожность может привести к утрате данных и утечке информации, подчеркивая необходимость сознательного поведения в цифровой среде.

Ключевые слова: «Telegram Rat», киберугрозы, информационная безопасность

Для цитирования: А.И. Дубровина, Мустафа Х. Алкорди. Обнаружение вируса «Telegram Rat». Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):79-86. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1- 79-86

Detection of «Telegram Rat» virus

A.I. Dubrovina^{1,2}, Mustafa H. Alcordi¹

¹Don State Technical University,

¹ 1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russia

²Southern University (Institute of Management, Business and Law),

² 130 Mechnikova St., Rostov-on-Don 344000, Russia

Abstract. Objective. The aim of this study is to analyze the «Telegram Rat» virus, emphasizing the importance of awareness to effectively combat cyber threats and ensure security in the digital age. **Methods.** This paper used an analysis of the characteristics and distribution of «Telegram Rat» viruses. An example of analyzing the technical mechanisms of extortion on the example of «WAGNER GROUP» was given and the steps of virus elimination were formulated. **Results.** The actuality of the «Telegram Rat» virus problem and ways of its transmission are considered. Practical methods of threat detection and neutralization are stipulated. The method of «Telegram Rat» virus threat detection is based on the analysis of active processes, network activity and file system. It is revealed that the main vulnerability on devices infected with the virus is careless user behavior. **Conclusion.** The contents of this paper emphasize the importance of vigilance when downloading files and clicking on links. Lack of caution can lead to data loss and information leakage, emphasizing the need for conscious behavior in the digital environment.

Keywords: «Telegram Rat», cyber threats, information security

For citation: A.I. Dubrovina, Mustafa H. Alcordi. Detection of «Telegram Rat» virus. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):79-86. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-79-86

Введение. В наше время, с развитием цифровых технологий и распространением интернета, кибербезопасность стала одним из наиболее актуальных вопросов. Киберугрозы и вирусы, такие как «Telegram Rat», стали серьезной угрозой для информационной безопасности, ведь они способны нанести значительный ущерб как отдельным пользователям, так и организациям. Обнаружение и изучение вируса «Telegram Rat» имеют решающее значение для разработки эффективных методов противодействия и обеспечения кибербезопасности, поскольку пользователей.

Постановка задачи. Исследование на тему обнаружения вируса особенно актуально в свете массового использования приложения Telegram в странах СНГ и даже за их пределами.

Целью данного исследования является обнаружение и анализ вируса «Telegram Rat» с целью понимания его структуры, распространения и механизмов действия, а также разработка стратегий для борьбы с данной киберугрозой.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

1. Идентификация вируса: Первым этапом является идентификация вируса «Telegram Rat». Это включает анализ характеристик вредоносного программного обеспечения, определение его целевой аудитории и способов распространения.

2. Анализ распространения: Изучение механизмов распространения вируса «Telegram Rat» включает анализ методов заражения, путей передачи и внедрения в целевую систему.

3. Разработка мер по борьбе: На основе полученных данных разрабатываются стратегии и методы борьбы с вирусом.

Это может включать разработку антивирусных программ, обучение пользователей правилам безопасности и рекомендации по предотвращению атак.

Методы исследования. «Telegram Rat» - (RAT - Remote Access Trojan), вирус, который представляет собой тип вредоносного программного обеспечения удаленного доступа, способного захватывать и передавать хакеру контроль над зараженным устройством с использованием мессенджера Telegram [1] для связи с удаленным хакером и передачи украденных данных [2]. И хотя сам Telegram можно использовать для злонамеренных действий, мы обнаружили, что поддельная версия приложения является частью большой волны поддельных приложений Telegram [3]. Согласно последним сообщениям, Telegram столкнулся с недавней волной подражателей приложения, которые используют репутацию приложения для распространения вредоносного ПО, которое тайно продвигает бесконечный поток вредоносных сайтов.

Эти сайты имеют неприятную способность вести к еще более опасным киберпространствам, таким как: мошенничество с техподдержкой; поддельные опросы; фишинговые страницы, предназначенные для кражи ваших личных данных; мошеннические сайты или страницы; вредоносные URL-адреса, содержащие вредоносное ПО [4]. «Telegram Rat» представляет собой определенный вид программного обеспечения, которое, однажды проникнув на компьютер, способно активировать скрытые процессы, получая при этом привилегии администратора.

Такая характеристика обеспечивает данному трояну возможность осуществления весьма неблагоприятных действий на устройстве, таких как:

1. Кража и последующая отправка документов на серверы хакеров.
2. Отправка информации о текущих активных процессах.
3. Управление состоянием Мас, включая включение или выключение.
4. Инициирование установки или удаления приложений.
5. Открытие и закрытие файлов на устройстве.

6. Сбор информации о конфигурации macOS.
7. Прекращение выполнения определенных процессов через инструмент «Монитор активности».
8. Использование встроенной микрофонной и камерной техники.

Это основная причина, по которой следует подумать об удалении этой вредоносной программы и прибегнуть к навыкам кибербезопасности в сети как можно скорее [5].

Обсуждение результатов. «Telegram Rat» использует методы социальной инженерии и манипуляции пользователем через приложение Telegram для внедрения и заражения целевой системы. Это манипулятивные методы внутри «мессенджера», чтобы убедить пользователей перейти к скачиванию (в большинстве случаев, человек не понимает, что вредоносный файл загружен на устройство) [6].

Пути передачи:

1. Ссылки: Злоумышленники могут размещать обманчивые ссылки в чатах или каналах Telegram, привлекая внимание пользователей. При переходе по такой ссылке пользователь может быть перенаправлен на страницу, представленную как легитимный ресурс, и попросить скачать какой-либо файл [7].

2. Файлы или документы: Вирус может быть передан через загрузку вредоносных файлов или документов, которые могут быть отправлены пользователями в чатах или каналах [8-9].

3. Сторонние приложения: Злоумышленники могут создавать и распространять в Telegram вредоносные приложения, представляющиеся как легитимные. Пользователи, устанавливая такие приложения, могут случайно заразить свои устройства [10-11].

4. Боты: Злоумышленники могут использовать ботов в Telegram для распространения вируса. Пользователи могут получить ссылку или инструкции от бота, которые в итоге приведут к установке «Telegram Rat» [12].

5. Поддельное приложение Telegram: Злоумышленники могут создавать поддельные версии официального приложения Telegram, которые содержат в себе вирус. Они могут распространять эти поддельное приложение через сторонние источники или недоверенные интернет-ресурсы.

Для обнаружения вируса «Telegram Rat» рекомендуется провести более глубокий анализ системы. Вот три основных пункта, которые можно использовать:

1. Анализ процессов и служб: Провести детальный анализ активных процессов и служб в системе [13-14]. Это включает:

Использование инструментов, таких как диспетчер задач в Windows или команды в терминале в Linux, чтобы выявить подозрительные процессы или службы [15].

Исследование поведения процессов, таких как их связь с интернетом, чтение/запись файлов или изменение системных настроек.

Проверку подписей и авторства процессов для выявления потенциальных «фейковых» или подмененных компонентов.

2. Анализ сетевой активности: Изучить сетевую активность системы, чтобы обнаружить связь с удаленными серверами и подозрительные запросы:

Использование сетевых мониторов, таких как Wireshark, для анализа трафика и выявления необычных или незнакомых подключений.

Оценку активности по определенным портам и протоколам, которые могут быть связаны с «Telegram Rat».

Выявление ненормально большого объема сетевого трафика или активности в ночное время, что может указывать на скрытую передачу данных.

3. Анализ файловой системы: Исследовать файловую систему на наличие вредоносных файлов и изменений:

Сканирование всех файлов на предмет наличия подозрительных расширений или изменений в датах создания/изменения.

Использование антивирусных программ и антишпионских инструментов для поиска и обнаружения вредоносных файлов.

Проверку автозагрузки и изменений в реестре, которые могут быть связаны с «Telegram Rat».

Помимо этих пунктов, важно понимать, что вирусы могут использовать разные методы для маскировки и обхода обнаружения. Поэтому специалист по кибербезопасности должен иметь опыт и экспертизу, чтобы провести комплексный и адаптированный анализ системы и выявить потенциальные угрозы, включая «Telegram Rat».

Чтобы обнаружить все вирусные компоненты и файлы, принадлежащие вирусу, мы настоятельно рекомендуем вам выполнить следующие шаги по удалению. Если вы хотите полностью обнаружить и удалить вредоносное ПО Telegram, а также любые другие вирусы, которые оно могло занести на ваш компьютер в результате его наличия, мы предлагаем запустить сканирование вашего компьютера, загрузив передовое программное обеспечение для защиты от вредоносных программ. Такой инструмент специально создан, чтобы помочь вам автоматически удалить вредоносное ПО, а также защитить автоматизированное рабочее место в будущем [16].

Подготовка и удаление «Telegram Rat». Прежде чем приступить к фактическому процессу удаления, мы рекомендуем выполнить следующие подготовительные шаги.

1. Необходимо провести анализ, что инструкции сигнатур вирусных заражений актуальны, в связи с тем, что под вирусным заражением может определяться ошибка в отработке антивирусного ПО.
2. Необходимо делать резервную копию всех ваших файлов, даже если они могут быть повреждены. Необходимо сделать резервную копию своих данных с помощью облачного решения для резервного копирования и застраховать свои файлы от любой потери, даже от самых серьезных угроз.

Инструкция по удалению:

1. Необходимо загрузить компьютер в безопасном режиме, чтобы изолировать и удалить вирус Telegram. Откройте окно «Выполнить» «Win + R» (рис. 1).



Рис. 1. Windows + R

Fig. 1. Windows + R

2. В появившемся окне введите «msconfig» и нажмите «ОК» (рис. 2).

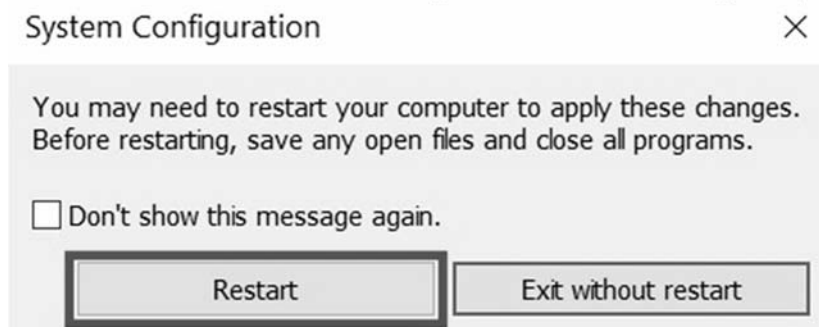


Рис. 2. Командная строка и безопасная загрузка

Fig. 2. Command Line and Secure Boot

3. Перейдите на вкладку «Загрузка». Там выберите «Безопасная загрузка», а затем нажмите «Применить» и «ОК» (рис. 2).

4. При появлении запроса необходимо нажать «Перезагрузить», чтобы перейти в безопасный режим (рис. 3).

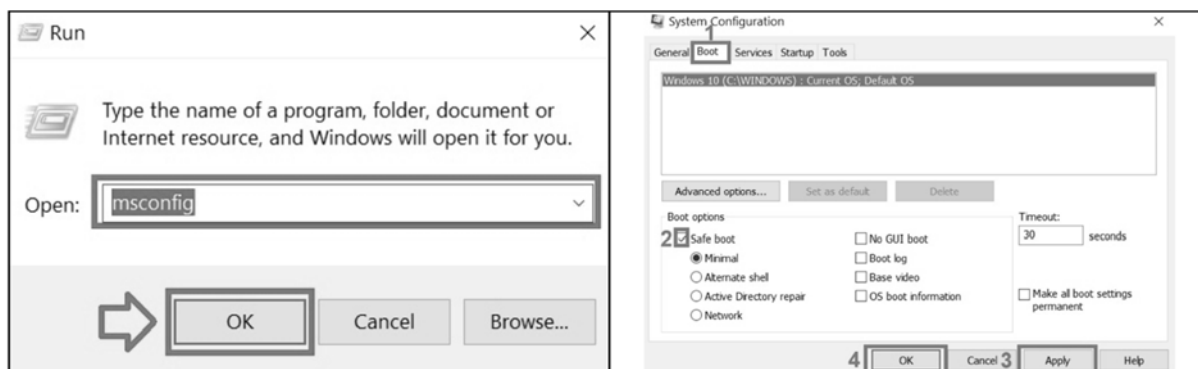


Рис. 3. Рестарт в безопасном режиме

Fig. 3. Restart in safe mode

Следуя этим шагам, возможно подготовиться к удалению «Telegram Rat» и обеспечить максимальную эффективность в процессе борьбы с вирусом. Анализ технических механизмов вируса на конкретном примере. Вымогательство Вагнера - хитроумная программа, нацеленная на операционную систему Windows.

Рассмотрим подробно технические аспекты этой угрозы, а также особенности ее обнаружения на примере реального случая использования в телеграм-группе «WAGNER GROUP» [1].

SHA256:1238ab3dd3ed620536969ee438e99a33a418ba20f5e691962ed07904e075b2a4 - вирус-вымогатель «Вагнер» представляет собой 32-разрядный двоичный файл, нацеленный на операционную систему Windows. На рис. 4 показаны детали файла.

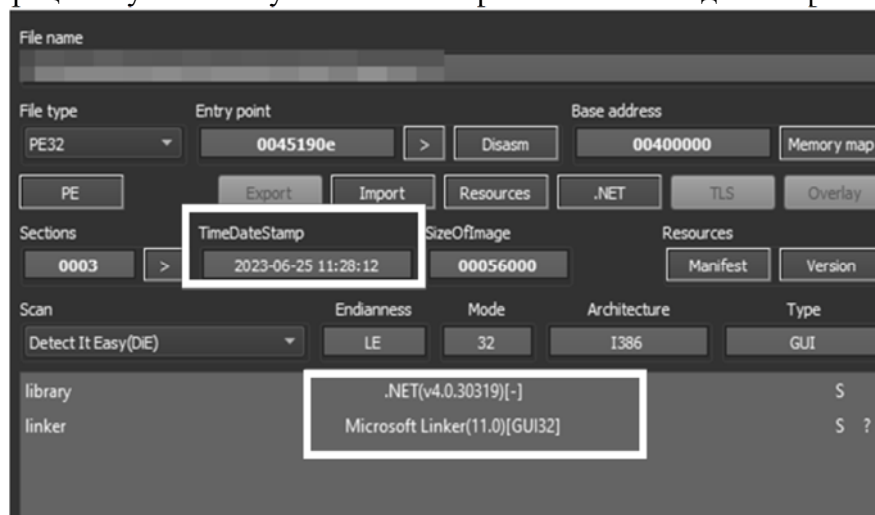


Рис. 4. Детали вируса «Вагнер»

Fig. 4. Details of the Wagner virus

Инициализация и Проверка Угрозы. После активации, программа-вымогатель Вагнера начинает свою деятельность с инициализации разнообразных переменных, которые служат ориентирами для дальнейших шагов. Однако перед тем как начать свое воздействие, она проводит первичную проверку, чтобы гарантировать, что в системе запущен только один экземпляр этой программы. Для этой цели она изучает список всех текущих процессов, используя метод `GetProcesses()`, после чего проводит поиск процесса с тем же именем, что и сама программа.

Если такой процесс обнаружен, программа автоматически завершает свою работу, исключая возможность запуска нескольких экземпляров одновременно. На рис. 5 можем ви-

деть визуальное представление этой проверки, гарантирующей наличие только одного экземпляра вымогательства (рис. 5).



Рис. 5. Один экземпляр программы
Fig. 5. One copy of the program

После успешной проверки на наличие множественных экземпляров, программа вымогательства Вагнера переходит к анализу значения переменной «checkSleep».

Если эта переменная установлена в значение true, программа начинает проверять, запущена ли она из папки «%APPDATA%». Если запуск происходит из другой директории, программа переходит в режим «сна» на заданный период времени, определенный Исполнителем Угроз (ТА). На рис. 6 наглядно продемонстрирован механизм состояния сна в программе-вымогателе «Вагнер» (рис. 6).

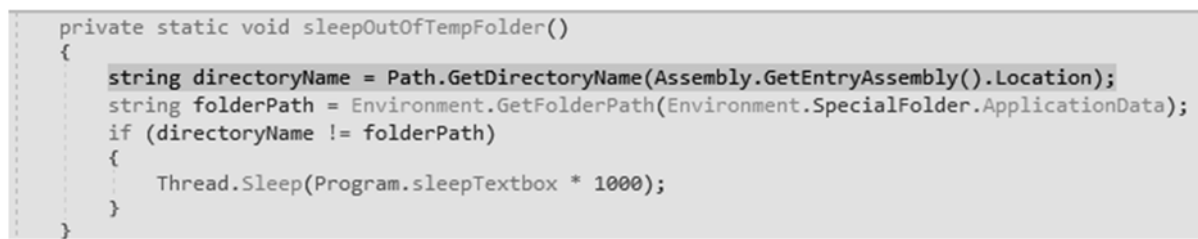


Рис. 6. Состояние сна как защита от обнаружения
Fig. 6. Sleep state as protection from detection

Анализ технических характеристик программы-вымогателя «Вагнер» раскрывает сложную сеть механизмов, созданных для обеспечения незаметности и эффективности ее действий. Обнаружение таких угроз, как вымогательство Вагнера, становится ключевым этапом в обеспечении кибербезопасности [17]. Понимание и анализ технических деталей позволяют нам эффективно бороться с угрозами и защищать нашу цифровую сферу от потенциальных атак.

Обсуждение методов анализа и обнаружения угроз, сосредотачивается на комплексном подходе. Это включает анализ активных процессов, сетевой активности и файловой системы для выявления характерных аномалий. Особое внимание уделяется обучению пользователей узнавать подозрительные действия и улучшать «кибергигиену». Это включает в себя умение различать подозрительные ссылки и файлы, регулярное обновление программ и операционных систем, использование надежных паролей и двухфакторной аутентификации, а также осведомленность о текущих кибертенденциях [18-20].

Вывод. В данной статье мы достаточно глубоко исследовали вирус «Telegram Rat» и проследили его пути передачи, методы заражения, а также технические характеристики. Мы рассмотрели разнообразные пути передачи вируса, начиная от загрузки вредоносных файлов до использования злоумышленных ботов в Telegram. Это подчеркивает сложность и многообразие методов, которыми киберпреступники могут распространять вредоносные программы.

Обнаружение и анализ вируса «Telegram Rat» играют критическую роль в обеспечении

кибербезопасности. Понимание его характеристик позволяет разрабатывать эффективные стратегии борьбы с этой угрозой. Важно помнить, что киберпреступники постоянно совершенствуют свои методы, и регулярное обновление знаний и технических навыков специалистов по кибербезопасности является неотъемлемой частью защиты от подобных угроз.

Выводы, сделанные на основе анализа вируса «Telegram Rat» и его распространения, подчеркивают важность обучения пользователей основам кибербезопасности, актуализации антивирусных программ и постоянной внимательности к собственной цифровой безопасности. Только путем совместных усилий экспертов и пользователей возможно сделать виртуальное пространство более безопасным и защищенным для всех его участников.

Библиографический список:

1. DrKLO. 2013. Telegram messenger for Android. (Oct. 2013). <https://github.com/DrKLO/Telegram>.
2. Кара И., Айдос М. Призрак в системе: технический анализ трояна удаленного доступа //International Journal on Information Technologies & Security. – 2019. – Т. 11. – № 1. – С. 73-84.
3. Li X. et al. An Android Malicious Application Detection Method with Decision Mechanism in the Operating Environment of Blockchain//Security and Communication Networks. – 2022. – Т. 2022. <https://www.hindawi.com/journals/scn/2022/3111540/>
4. Luo X. et al. Social engineering: The neglected human factor for information security management //Information Resources Management Journal (IRMJ). – 2011. – Т. 24. – №. 3. – С. 1-8.
5. Chislova O., Sokolova M. Cybersecurity in Russia //International Cybersecurity Law Review. – 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 245-251.
6. Govender I., Watson B. W. W., Amra J. Global virus lockdown and cybercrime rate trends: A routine activity approach //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1828. – №. 1. – С. 012107.
7. Peeters S., Willaert T. Telegram and digital methods: Mapping networked conspiracy theories through platform affordances //M/C Journal.–2022.–Т.25.–№.1 <https://journal.media-culture.org.au/index.php/mcjournal/article/view/2878>.
8. Koutsokostas V. et al. Invoice# 31415 attached: Automated analysis of malicious Microsoft Office documents //Computers & Security. – 2022. – Т. 114. – С. 102582. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/8/4088>
9. Dubin R. Content Disarm and Reconstruction of RTF Files a Zero File Trust Methodology //IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2023. – Т. 18. – С. 1461-1472. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10034674/>
10. Balikcioglu P. G. et al. Malicious code detection in android: the role of sequence characteristics and disassembling methods //International Journal of Information Security. – 2023. – Т. 22. – №. 1. – С. 107-118. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10207-022-00626-2>
11. Acharya S., Rawat U., Bhatnagar R. A comprehensive review of android security: Threats, vulnerabilities, malware detection, and analysis //Security and Communication Networks. – 2022. – Т. 2022. <https://www.hindawi.com/journals/scn/2022/7775917/>
12. <https://www.mdpi.com/2075-4698/12/6/164> Herrero-Solana V., Castro-Castro C. Telegram channels and bots: A ranking of media outlets based in Spain //Societies. – 2022. – Т. 12. – №. 6. – С. 164.
13. Haagman D., Ghavalas B. Trojan defence: A forensic view //Digital Investigation. – 2005. – Т. 2. – №. 1. – С. 23-30.
14. Warrender C., Forrest S., Pearlmutter B. Detecting intrusions using system calls: Alternative data models //Proceedings of the 1999 IEEE symposium on security and privacy (Cat. No. 99CB36344). – IEEE, 1999. – С. 133-145.
15. Wu N., Qian Y., Chen G. A novel approach to trojan horse detection by process tracing //2006 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. – IEEE, 2006. – С. 721-726.
16. Ciubotariu M. What next? trojan. linkoptimizer //Virus Bulletin. – 2006. – С. 6-10.
17. Mustafa Alkordi (2023). Ransomware Campaign Urges Resistance Against Russian Officials. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/ransomware-campaign-urges-resistance-against-russian-alkordi>.
18. Kok S. et al. Ransomware, threat and detection techniques: A review //Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur. – 2019. – Т. 19. – №. 2. – С. 136.https://seap.taylors.edu.my/file/remss/publication/105055_5256_1.pdf.
19. Tuma K., Calikli G., Scandariato R. Threat analysis of software systems: A systematic literature review //Journal of Systems and Software. – 2018. – Т. 144. – С. 275-294. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0164121218301304>
20. Zengy J. et al. Shadewatcher: Recommendation-guided cyber threat analysis using system audit records //2022 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP). – IEEE, 2022. – С. 489-506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157821003621>.

References

1. DrKLO. 2013. Telegram messenger for Android. (Oct. 2013). <https://github.com/DrKLO/Telegram>.
2. Kara I., Aidos M. A ghost in the system: technical analysis of a remote access Trojan. *International Journal on Information Technologies & Security*. 2019; 11(1): 73-84.
3. Li X. et al. An Android Malicious Application Detection Method with Decision Mechanism in the Operating Environment of Blockchain. *Security and Communication Networks*. 2022;2022. <https://www.hindawi.com/journals/scn/2022/3111540/>
4. Luo X. et al. Social engineering: The neglected human factor for information security management. *Information Resources Management Journal (IRMJ)*. 2011; 24(3):1-8.
5. Chislova O., Sokolova M. Cybersecurity in Russia. *International Cybersecurity Law Review*. 2021; 2(2): 245-251.
6. Govender I., Watson B. W. W., Amra J. Global virus lockdown and cybercrime rate trends: A routine activity approach. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021; 1828(1): 012107.
7. Peeters S., Willaert T. Telegram and digital methods: Mapping networked conspiracy theories through platform affordances. *M/C Journal*. 2022;25(1): <https://journal.media-culture.org.au/index.php/mcjournal/article/view/2878>.
8. Koutsokostas V. et al. Invoice# 31415 attached: Automated analysis of malicious Microsoft Office documents. *Computers & Security*. 2022;114:102582.<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/8/4088>
9. Dubin R. Content Disarm and Reconstruction of RTF Files a Zero File Trust Methodology. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*.2023;18:1461-1472. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10034674/>
10. Balickioglu P. G. et al. Malicious code detection in android: the role of sequence characteristics and disassembling methods. *International Journal of Information Security*. 2023; 22 (1):107-118.<https://link.springer.com/article/10.1007/s10207-022-00626-2>
11. Acharya S., Rawat U., Bhatnagar R. A comprehensive review of android security: Threats, vulnerabilities, malware detection, and analysis. *Security and Communication Networks*. 2022;2022. <https://www.hindawi.com/journals/scn/2022/7775917/>
12. <https://www.mdpi.com/2075-4698/12/6/164> Herrero-Solana V., Castro-Castro C. Telegram channels and bots: A ranking of media outlets based in Spain. *Societies*. 2022; 12(6):164.
13. Haagman D., Ghavalas B. Trojan defence: A forensic view. *Digital Investigation*. 2005; 2(1): 23-30.
14. Warrender C., Forrest S., Pearlmutter B. Detecting intrusions using system calls: Alternative data models. *Proceedings of the 1999 IEEE symposium on security and privacy* (Cat. No. 99CB36344). IEEE, 1999; 133-145.
15. Wu N., Qian Y., Chen G. A novel approach to trojan horse detection by process tracing. *2006 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*. IEEE, 2006: 721-726.
16. Ciubotariu M. What next? trojan. *Linkoptimizer.Virus Bulletin*. 2006: 6-10.
17. Mustafa Alkordi (2023). Ransomware Campaign Urges Resistance Against Russian Officials. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/ransomware-campaign-urges-resistance-against-russian-alkordi>.
18. Kok S. et al. Ransomware, threat and detection techniques: A review //Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur. – 2019;19(2): 136.https://seap.taylors.edu.my/file/remis/publication/105055_5256_1.pdf.
19. Tuma K., Calikli G., Scandariato R. Threat analysis of software systems: A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*. 2018; 144: 275-294. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0164121218301304>
20. Zengy J. et al. Shadewatcher: Recommendation-guided cyber threat analysis using system audit records // *2022 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*. IEEE, 2022;489-506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157821003621>.

Сведения об авторах:

Дубровина Ангелина Игоревна, ассистент, кафедра «Вычислительные системы и информационная безопасность»; adubrovina@yug.gkovd.ru

Алкорди Мустафа Хельми Муса, студент, кафедра «Вычислительные системы и информационная безопасность»; ministrelia69@yandex.ru.

Information about authors:

Angelina I. Dubrovina, Assistant, Department of Computer Systems and Information Security; adubrovina@yug.gkovd.ru

Mustafa Helmi Musa Alkordi, Student, Department of Computer Systems and Information Security; ministrelia69@yandex.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 25.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 16.01.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 16.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК004.021, 004.42



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-87-94

Оригинальная статья/ Original article

**Исследование эффективности методов компрессии данных
в реляционных и NoSQL СУБД**

В.А. Егунов, В.С. Сурин, П.С. Ступницкий, Р.Д. Ахметова

Волгоградский государственный технический университет,
400005, г.Волгоград, проспект им.Ленина, 28, Россия

Резюме. Цель. Исследование, представленное в работе, направлено на изучение эффективности современных СУБД. **Метод.** Наряду с традиционными реляционными решениями все большую популярность приобретают СУБД на основе NoSQL. В первую очередь это связано с возможностью подобных систем хранить и обрабатывать огромные объемы данных. При этом для эффективной работы с этими данными необходимо обеспечить их сжатие (компрессию). Компрессия позволяет сократить объем хранимых данных и обеспечить быстрый доступ к ним. **Результат.** Выполнен сравнительный анализ компрессии данных в СУБД MySQL и OpenSe. **Вывод.** Компрессия данных в OpenSearch более эффективна, чем в MySQL при использовании стандартных алгоритмов. OpenSearch будет отличным выбором при необходимости сохранить ресурсы хранилища, оптимально используя процессор, в противном случае обе системы хорошо справятся с поставленной задачей.

Ключевые слова: системы управления базами данных, СУБД, реляционные СУБД, NoSQL, компрессия данных, zlib, lz4, deflate

Для цитирования: В.А. Егунов, В.С. Сурин, П.С. Ступницкий, Р.Д. Ахметова. Исследование эффективности методов компрессии данных в реляционных и NoSQL СУБД. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):87-94. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-87-94

**Research on the effectiveness of data compression methods in relational
and NoSQL DBMS**

V.A. Egunov, V.S. Surin, P.S. Stupnitskiy, R.D. Akhmetova

Volgograd State Technical University,
28 Lenin Ave., Volgograd 400005, Russia

Abstract. Objective. The research presented in the paper is aimed at studying the effectiveness of modern DBMSs. **Method.** Along with traditional relational solutions, NoSQL-based DBMSs are becoming increasingly popular. This is primarily due to the ability of such systems to store and process huge volumes of data. At the same time, to work effectively with this data, it is necessary to ensure its compression. Compression allows you to reduce the amount of stored data and provide quick access to it. **Result.** A comparative analysis of data compression in the MySQL and OpenSe DBMS was performed. **Conclusion.** Data compression in OpenSearch is more efficient than in MySQL when using standard algorithms. OpenSearch is an excellent choice if you need to conserve storage resources while making optimal use of the processor, otherwise both systems will do the job well.

Keywords: database management systems, DBMS, relational DBMS, NoSQL, data compression, zlib, lz4, deflate.

For citation: V.A. Egunov, V.S. Surin, P.S. Stupnitskiy, R.D. Akhmetova. Research on the effectiveness of data compression methods in relational and NoSQL DBMS. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):87-94. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-87-94

Введение. Проблема повышения производительности вычислительных систем всегда привлекала внимание исследователей. Данная проблема приобрела особую актуальность в последние годы вместе с резким ростом количества обрабатываемых данных, увеличением сложности решаемых задач. Одним из способов решения данной проблемы является повышение эффективности программного обеспечения [1]. Данная тематика достаточно широко освещается в научной литературе.

Для повышения эффективности компьютерных программ могут применяться различные методы, такие как распараллеливание и векторизация вычислений [2], изменение стратегии кэширования данных [3], распределение нагрузки между узлами гетерогенной вычислительной системы [4]. Вместе с ростом объемов хранимых и обрабатываемых данных потребность в эффективном хранении и ускорении их обработки также увеличилась.

Постановка задачи. В настоящее время все большую популярность приобретают системы управления базами данных (СУБД) на основе NoSQL (not only SQL). В первую очередь это связано с возможностью данных систем хранить и обрабатывать огромные объемы данных. При этом для эффективной работы с этими данными необходимо обеспечить их сжатие (компрессию).

Компрессия позволяет сократить объем хранимых данных и обеспечить быстрый доступ к ним. Это особенно важно для баз данных, где данные хранятся на диске и читаются в оперативную память при запросах. Сжатие данных также позволяет уменьшить нагрузку на сеть при передаче данных между узлами кластера. Однако, компрессия данных при работе с NoSQL СУБД может стать проблемой. Некоторые NoSQL СУБД, например Cassandra, не поддерживают сжатие данных непосредственно на уровне базы данных. В таких случаях необходимо проводить компрессию данных на уровне приложений. Это может привести к увеличению нагрузки на процессор и меньшей эффективности по сравнению с сжатием данных на уровне базы данных.

Методы исследования. В статье будет выполнен сравнительный анализ компрессии данных в MySQL и OpenSearch, который в результате может быть полезным для принятия обоснованных решений при выборе систем управления базами данных при необходимости эффективного использования ресурсов хранилища. Данный анализ был проведен в процессе работы над программной системой управления мероприятиями. Исходя из особенностей разрабатываемой системы, были использованы реляционная СУБД MySQL и NoSQL СУБД OpenSearch.

1. Современные СУБД. Традиционно базы данных делят на два класса: реляционные – SQL и нереляционные - NoSQL (рис.1). При этом стоит отметить, что существуют и другие критерии классификации.

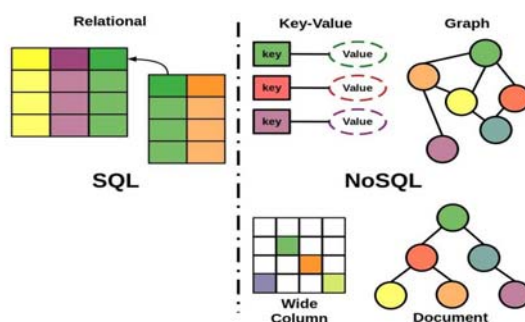


Рис.1. Реляционные и нереляционные базы данных

Fig.1. Relational and non-relational databases

Реляционная база данных (реляционная система управления базами данных, РСУБД) представляет собой набор отношений (сущностей, таблиц), множества кортежей для каждого отношения (строк), множества атрибутов для каждого кортежа (столбцов). При этом между сущностями могут быть отношения различных типов.

РСУБД выполняют требования транзакционной целостности ACID: атомарность (atomicity), согласованность (consistency), изолированность (isolation) устойчивость (durability). Выполнение данных требований обеспечивает надежную и предсказуемую работу системы. Реляционные базы данных имеют фиксированную структуру, которая получается в процессе нормализации, т.е. процесса структурирования базы данных в соответствии с последовательностью нормальных форм.

Для создания, модификации и управления данными в РСУБД используется Structured Query Language (SQL). SQL представляет собой мощный язык запросов, позволяющий создавать сложные запросы, выполняющие агрегацию данных из множества таблиц. Обработка сложных запросов, выполнение требований ACID приводит к тому, что РСУБД перестают удовлетворять требованиям к СУБД, обрабатывающим большие объемы данных в силу своей относительно невысокой производительности. Стоит также отметить, что РСУБД масштабируются вертикально (за счет увеличения мощности «железа») и практически не масштабируются горизонтально (за счет увеличения числа узлов).

Как альтернатива РСУБД активно развиваются NoSQL СУБД. NoSQL не означает конкретную технологию и включает в себя широкий спектр программных продуктов. Одним из свойств данных СУБД является частичный или полный отказ от принципов ACID в пользу BASE:

- basic availability; базовая доступность – каждый запрос гарантированно завершается, успешно или нет (без гарантии, что будет получена последняя версия данных);
- soft state; гибкое состояние – состояние системы может изменяться со временем, даже без ввода новых данных для достижения согласования данных (репликация, eventual consistency);
- eventual consistency; согласованность в конечном счете – данные могут быть некоторое время рассогласованы, но приходят к согласованию через некоторое время (один процесс редактирует, данные не блокируются, другой читает «старые данные»).

Кроме того, для NoSQL баз данных характерен отказ от строгой структуры данных, структура данных может изменяться, более того, хранимые данные могут быть неструктурированными. Подобные СУБД хорошо масштабируются горизонтально, лучше подходят для распределенного хранения данных и широко используются в системах обработки больших данных.

2. Компрессия данных в современных СУБД.

Как уже было сказано выше, данное исследование было проведено в рамках работы над программной системой управления мероприятиями, где были использованы реляционная СУБД MySQL и NoSQL СУБД OpenSearch. Реляционная СУБД использовалась для хранения данных, т.к. ввиду особенностей проектируемой системы данная функция была нереализуема в NoSQL. Однако отказываться от всех преимуществ NoSQL, а это полнотекстовый поиск, обширный набор агрегаций и т.д., было нерационально. Именно поэтому часть данных реплицируется в OpenSearch.

MySQL является одной из наиболее популярных реляционных баз данных, которая применяется во многих областях. Преимущества MySQL:

1. Широкий функционал: MySQL обладает широким спектром функций, позволяя работать с большим количеством данных. Она может обрабатывать большие объемы данных в многопользовательском режиме.
2. MySQL поддерживает множество языков программирования, поэтому внедрение ее в сервис или приложение не составит труда.
3. Как и большинство других реляционных баз данных, MySQL имеет возможность контроля доступа и управления привилегиями пользователей.

Кроме описанных выше общих недостатков РСУБД, MySQL присущи собственные недостатки:

1. Настройка MySQL может быть довольно сложной и затратной задачей. Она может требовать дополнительных знаний и инструментов, чтобы получить максимальную производительность.
2. MySQL может использовать довольно большое количество ресурсов для обработки больших объемов данных. Это может привести к снижению производительности при работе с нагрузкой.
3. MySQL масштабируется хуже других новых технологий и не может обрабатывать такое большое количество данных, как NoSQL и другие базы данных новых поколений.

MySQL поддерживает несколько типов таблиц, в частности ISAM и InnoDB, однако в настоящее время рекомендуется использовать таблицы InnoDB. В таблицах InnoDB используется два вида компрессии данных [5]: Compressed row format (ROW_FORMAT); Page compression (PAGE_COMPRESSED).

Первый тип компрессии позволяет сократить размер данных, сохраненных в таблице, до 50%. Это достигается за счет использования алгоритма сжатия данных zlib [6, 7]. Как правило, этот тип компрессии используется для таблиц, с большим количеством повторяющихся данных [8].

Второй тип компрессии позволяет значительно сократить размер индексов таблицы, сохраненных на диске, без потери производительности при выполнении запросов. Это достигается за счет использования алгоритма сжатия данных LZ4 [9].

Выбор типа компрессии данных зависит от характеристик данных, хранящихся в таблице, а также от требований к производительности системы. Рекомендуется экспериментировать с различными значениями ROW_FORMAT и PAGE_COMPRESSED и выбрать то, что лучше всего соответствует конкретной ситуации.

В качестве NoSQL СУБД использовалась OpenSearch. OpenSearch представляет собой систему поискового сервера, созданную как форк Elasticsearch. Преимущества OpenSearch:

1. OpenSearch – это форк Elasticsearch, который имеет преимущества оригинального проекта и позволяет легко переключаться между двумя системами, что делает ее популярным решением, особенно для пользователей, уже знакомых с Elasticsearch.
2. OpenSearch является проектом с открытым исходным кодом, что позволяет пользователям выбирать и изменять их собственным образом, а также разрабатывать плагины и надстройки.
3. OpenSearch разработана для масштабирования и может работать с большим количеством данных, обеспечивая высокую производительность и надежность.

К недостаткам OpenSearch можно отнести следующее :

1. OpenSearch может быть сложным и требовать знания языка запросов для эффективного использования. Это делает его менее доступным для новых пользователей.
2. OpenSearch имеет меньшее количество полезных плагинов и инструментов, чем Elasticsearch. Может потребоваться больше усилий, чтобы настроить и оптимизировать OpenSearch для своих нужд.
3. Сообщество OpenSearch является новым и менее развитым, чем сообщество Elasticsearch. Это может означать, что пользователи могут столкнуться с проблемами документации или отсутствием ответов на интересующие их вопросы.

OpenSearch предлагает два варианта сжатия [10]: default; best_compression.

Default указывает OpenSearch использовать блоки по 16 КБ, сжатые с помощью LZ4, а best_compression — использовать блоки по 60 КБ, сжатые с помощью DEFLATE [11].

LZ4 представляет собой алгоритм сжатия данных без потерь, ориентированный на скорость сжатия и распаковки. Он принадлежит к семейству байт-ориентированных схем сжатия LZ77 [12]. Алгоритмы LZ4 призваны обеспечить хороший компромисс между скоростью и степенью сжатия. Как правило, он имеет меньшую (т.е. худшую) степень сжатия, чем аналогичный алгоритм LZO [13], который, в свою очередь, хуже, чем алгоритмы типа

DEFLATE. Однако скорость сжатия LZ4 аналогична LZO и в несколько раз выше, чем у DEFLATE, а скорость распаковки значительно выше, чем у LZO.

Deflate представляет собой формат файла сжатия данных без потерь, который использует комбинацию LZ77 и кодирования Хаффмана. Он был разработан Филом Кацем (Phil Katz) для версии 2 его инструмента архивирования PKZIP [14].

Важным компонентом этих двух алгоритмов сжатия является дедупликация строк. Всякий раз при обнаружении строки, которая уже встречалась ранее в потоке, эта строка будет заменена ссылкой на предыдущее появление этой строки. На самом деле это единственное, что делает LZ4, в то время как DEFLATE сочетает дедупликацию строк с кодированием Хаффмана для дальнейшего сжатия данных.

Для выполнения анализа эффективности компрессии в MySQL и OpenSearch был сгенерирован набор данных в 2 миллиона записей. Загрузка в обе системы была итеративной по 500 тысяч записей. На каждом этапе производилась фиксация размера таблицы/индекса. Для каждой системы загрузка осуществлялась дважды, OpenSearch:

1. В индекс с настроенным сжатием LZ4
2. В индекс с настроенным сжатием DEFLATE

Для MySQL:

1. Таблица с сжатием LZ4
2. Таблица с сжатием ZLIB

Обе системы были развернуты и настроены с помощью Docker. Используемое программное обеспечение: MySQL 8.0.33 (arm64v8); OpenSearch 2.7.0 (arm64v8); Docker 4.9.0 (arm64v8). Датасет представлял из себя следующую структуру: id – уникальный идентификатор пользователя (целое число); name – имя пользователя (строка); savings – сбережения пользователя (целое число).

Обсуждение результатов. В результате выполнения вычислительных экспериментов были получены следующие данные (табл. 1).

Таблица 1. Полученные размеры хранимых данных

Table 1. Resulting sizes of stored data

Объем записей Record volume	OpenSearch LZ4 (МБ)	MySQL LZ4 (МБ)	OpenSearch DEFLATE (МБ)	MySQL ZLIB (МБ)
500 тысяч	12.6	19.5	9.9	10.3
1 млн	25.2	36.6	20.1	19.8
1.5 млн	38.4	54.6	30.4	30.3
2 млн	52.1	75.6	40.7	41.3

На основании полученных данных были построены графики зависимости размера хранимых данных от объема данных. Ось X – количество записей, ось Y – размер в мегабайтах. На рис. 1 и 2 представлено сравнение эффективности применения алгоритма LZ4 в обеих системах.

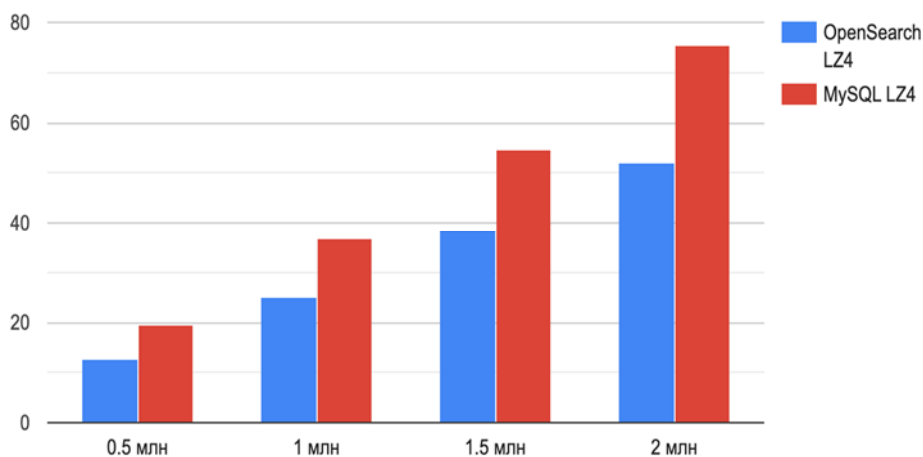


Рис. 1. Эффективность алгоритма LZ4 (столбчатая диаграмма)

Fig. 1. Efficiency of LZ4 algorithm (bar chart)

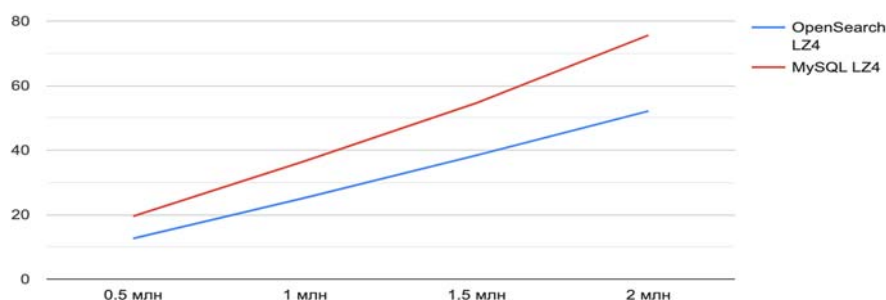


Рис. 2. Эффективность алгоритма LZ4 (линейная диаграмма)

Fig. 2. Efficiency of the LZ4 algorithm (line diagram)

На рис. 3 и 4 представлено сравнение эффективности применения продвинутых алгоритмов сжатия (ZLIB и DEFLATE) в обеих системах.

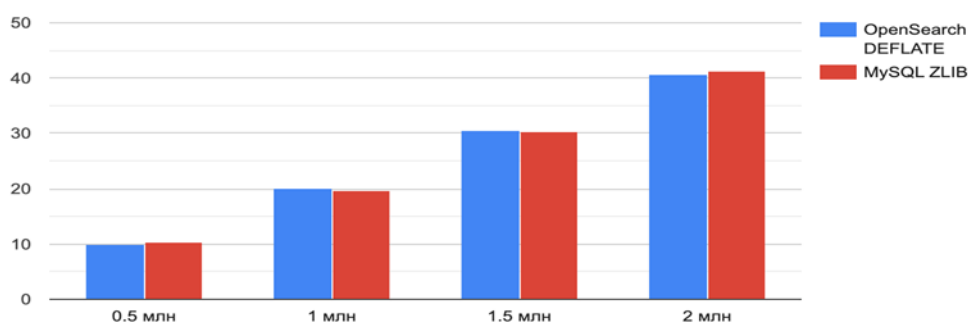


Рис. 3. Эффективность продвинутых алгоритмов (столбчатая диаграмма)

Fig. 3. Efficiency of advanced algorithms (bar chart)

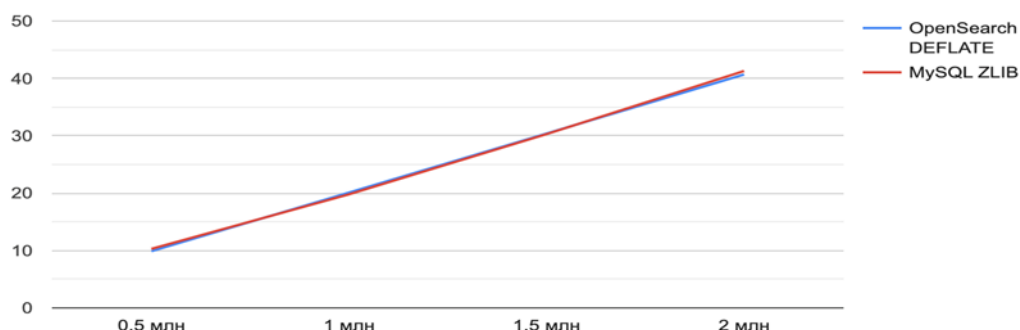


Рис. 4. Эффективность продвинутых алгоритмов (линейная диаграмма)

Fig. 4. Efficiency of advanced algorithms (line chart)

На рис. 5 представлено полное сравнение примененных алгоритмов сжатия.

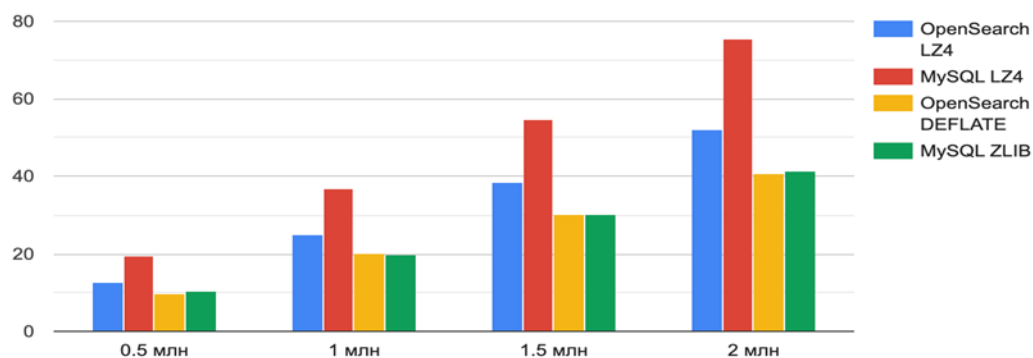


Рис. 5. Эффективность алгоритмов (столбчатая диаграмма)

Fig. 5. Algorithm efficiency (bar chart)

Вывод. По полученным данным можно сделать следующие выводы:

1. OpenSearch лучше работает с алгоритмом сжатия LZ4, чем MySQL.
2. Размер сжатых данных растет линейно, при этом MySQL к двум миллионам записей начал хуже справляться с сжатием. Это означает, что для больших объемов данных предпочтительнее использовать OpenSearch.
3. Алгоритмы DEFLATE и ZLIB работают одинаково хорошо и в OpenSearch и в MySQL.

Общая картина показывает достаточную эффективность применения алгоритмов компрессии DEFLATE и ZLIB.

Таким образом, можно утверждать, что компрессия данных в OpenSearch более эффективна, чем в MySQL при использовании стандартных алгоритмов. Но системы схожи при использовании более продвинутых способов сжатия. При этом стоит учитывать, что использование вторых интенсивнее нагружает процессор, так как процесс декомпрессии сложнее, чем у стандартных алгоритмов, поэтому можно сделать вывод, что OpenSearch будет отличным выбором при необходимости сохранить ресурсы хранилища, оптимально используя процессор, в противном случае обе системы хорошо справятся с поставленной задачей.

Библиографический список:

1. Low, T.M., Igual, F.D., Smith, T.M., Quintana-Orti, E.S.: Analytical modeling is enough for high-performance BLIS. ACM Trans. Math. Softw. 43, 1–18 (2016). <https://doi.org/10.1145/2925987>
2. Егунов, В.А. Повышение эффективности векторизации вычислений / В.А. Егунов, А.Г. Кравец // Математические методы в технологиях и технике. - 2023. - № 3. - С. 65-68. - DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_3_65.
3. Егунов, В.А. Метод улучшения стратегии кэширования для вычислительных систем с общей памятью / В.А. Егунов, А.Г. Кравец // Программная инженерия. - 2023. - Т. 14, № 7. - С. 329-338. - DOI: 10.17587/prin.14.329-338
4. Бычков И. В. Поддержка вычислений в распределенных средах на основе непрерывной интеграции / И. В. Бычков, С. А. Горский, А. Г. Феоктистов, Р. О. Костромин // Информационные технологии. – 2021. – Т. 27. – № 12. – С. 619-625. – DOI 10.17587/it.27.619-625. – EDN QSGWAI.
5. Краткий обзор движков таблиц MySQL // habr.com – Режим доступа : <https://habr.com/ru/articles/64851/> (дата обращения 20.09.2023)
6. Zlib 1.3 Manual // zlib.net – Режим доступа: <https://zlib.net/manual.html> (дата обращения 20.09.2023)
7. Koranne, S. (2011). Compression Engines. In: Handbook of Open Source Tools. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7719-9_8
8. Черняк Л., Большое хранилище для больших данных, Л. Черняк // Открытые системы. СУБД. 2010. № 5. С. 60.
9. Новый алгоритм сжатия LZ4 от TOAST в PostgreSQL 14. Насколько быстрым он может быть? // shunlongwei.com – Режим доступа : <https://www.shunlongwei.com/ru/toasts-new-compression-algorithm-lz4-in-postgresql-14-how-fast-can-it-be/> (дата обращения 20.09.2023)
10. Save space and money with improved storage efficiency in Elasticsearch 7.10 // www.elastic.co – Режим доступа : <https://www.elastic.co/blog/save-space-and-money-with-improved-storage-efficiency-in-elasticsearch-7-10> (дата обращения 20.09.2023)
11. Алгоритм Deflate на примере формата PNG // habr.com – Режим доступа : <https://habr.com/ru/articles/274825/> (дата обращения 20.09.2023)
12. Yan, H., Lu, H., Gao, Q. (2012). A BP-LZ77 Compression Algorithm Based on BP Network. In: Jin, D., Lin, S. (eds) Advances in Electronic Engineering, Communication and Management Vol.2. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 140. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27296-7_34
13. LZO use and presentation // Programmer AI – Режим доступа: <https://programmerall.com/article/99471030002/> (дата обращения 20.09.2023)
14. PKZIP // PKWARE – Режим доступа: <https://www.pkware.com/products/pkzip/> (дата обращения 20.09.2023)

References

1. Low, T.M., Igual, F.D., Smith, T.M., Quintana-Orti, E.S.: Analytical modeling is enough for high-performance BLIS. ACM Trans. Math. Softw. 2016; 43:1–18. <https://doi.org/10.1145/2925987>
2. Egunov, V.A. Povyshenie effektivnosti vektorizatsii vychislenij [Improving the efficiency of vectorization of calculations] / V.A. Egunov, A.G. Kravec. Matematicheskie metody v tekhnologiyah i tekhnike [Mathematical methods in technology and engineering]. 2023;3:65-68. - DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_3_65. (In Russ)
3. Egunov, V.A. Metod uluchsheniya strategii keshirovaniya dlya vychislitel'nykh sistem s obshchej pamyat'yu [A method for improving the caching strategy for computing systems with shared memory] / V.A. Egunov,

- A.G. Kravets. *Programmnaya inzheneriya [Software Engineering]*. 2023;14(7):329-338. - DOI: 10.17587/prin.14.329-338.(In Russ)
4. Bychkov I. V. Podderzhka vychislenij v raspredelennyh sredah na osnove nepreryvnoj integracii [Support for computing in distributed environments based on continuous integration] / I. V. Bychkov, S. A. Gorskiy, A. G. Feoktistov, R. O. Kostromin // *Informacionnye tekhnologii [Information technology]*. 2021; 27(12): 619-625. – DOI 10.17587/it.27.619-625. – EDN QSGWAI. (In Russ)
 5. Kratkij obzor dvizhkov tablic MySQL [A brief overview of MySQL table engines] // *habr.com* – Rezhim dostupa [Access mode] : <https://habr.com/ru/articles/64851/> (data obrashcheniya [date of application] 20.09.2023) .(In Russ)
 6. Zlib 1.3 Manual // *zlib.net* – Rezhim dostupa [Access mode]: <https://zlib.net/manual.html> (data obrashcheniya [date of application] 20.09.2023)
 7. Koranne, S. (2011). *Compression Engines*. In: *Handbook of Open Source Tools*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7719-9_8
 8. CHernyak L., Bol'shoe hranilishche dlya bol'shih dannyh [Large storage for big data], L. CHernyak // *Otkrytye sistemy. SUBD. [Open systems. DBMS.]* 2010;5: 60. (In Russ)
 9. Novyj algoritm szhatiya LZ4 ot TOAST v PostgreSQL 14. Naskol'ko bystryim on mozhet byt'? [TOAST's new LZ4 compression algorithm in PostgreSQL 14. How fast can it be?] // *shunlongwei.com* – Rezhim dostupa [Access mode] : <https://www.shunlongwei.com/ru/toasts-new-compression-algorithm-lz4-in-postgresql-14-how-fast-can-it-be/> (data obrashcheniya [date of application] 20.09.2023) (In Russ)
 10. Save space and money with improved storage efficiency in Elasticsearch 7.10 // *www.elastic.co* – Rezhim dostupa [Access mode]:<https://www.elastic.co/blog/save-space-and-money-with-improved-storage-efficiency-in-elasticsearch-7-10> (data obrashcheniya [date of application] 20.09.2023)
 11. Algoritm Deflate na primere formata PNG [Deflate algorithm on the example of PNG format] // *habr.com* – Rezhim dostupa [Access mode] : <https://habr.com/ru/articles/274825/> (data obrashcheniya [date of application] 20.09.2023) (In Russ)
 12. Yan, H., Lu, H., Gao, Q. (2012). A BP-LZ77 Compression Algorithm Based on BP Network. In: Jin, D., Lin, S. (eds) *Advances in Electronic Engineering, Communication and Management Vol.2. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 140. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27296-7_34
 13. LZO use and presentation//Programmer AI – Rezhim dostupa [Access mode]: <https://programmerall.com/article/99471030002/> (data obrashcheniya [date of application] 20.09.2023)
 14. PKZIP // PKWARE – Rezhim dostupa [Access mode]: <https://www.pkware.com/products/pkzip/> (data obrashcheniya [date of application] 20.09.2023)

Сведения об авторах:

Егунув Виталий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра ЭВМ и систем; vegunov@mail.ru

Сури́н Валерий Сергеевич, магистрант, кафедра ЭВМ и систем; surin190899@gmail.com

Ступни́цкий Павел Сергеевич, магистрант, кафедра ЭВМ и систем; p.stupnitskiy@gmail.com

Ахметова Руфина Джигировна, магистрант, кафедра ЭВМ и систем; rufina_akhmetova@list.ru

Information about the authors:

Vitaly A. Egunov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Computers and Systems Department; vegunov@mail.ru

Valeriy S. Surin, Master Student, Computers and Systems Department; surin190899@gmail.com

Pavel S. Stupnitskiy, Master Student, Computers and Systems Department; p.stupnitskiy@gmail.com

Rufina D. Akhmetova, Master Student, Computers and Systems Department, rufina_akhmetova@list.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 25.12.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 20. 01.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 20.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК004.942



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-95-105

Оригинальная статья/ Original article

**Задача разработки системы поддержки принятия решений для расчета
ведомственной оценки административной деятельности полиции**

Р. А. Жилин, Р. В. Никулин, В.Ю. Лазарев

Воронежский институт МВД России,
394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. Целью данной работы является разработка системы поддержки принятия решений в виде компьютерной программы «Расчет ведомственной оценки административной деятельности полиции» на основе алгоритма статистического анализа данных отчета «1-АП», который позволяет в инклюзивном виде (к примеру, графическом) отслеживать динамику основных показателей, содержащихся в отчете «1-АП» для должностных лиц органов внутренних дел, ответственных за охрану общественного порядка. **Метод.** Выявлена проблема объективного противоречия между показателями ведомственных критериев оценки административной деятельности органов внутренних дел Российской Федерации и вневедомственной оценки деятельности территориальных органов МВД России. Предлагается в качестве дополнительного показателя ведомственной оценки обеспечения правопорядка в общественных местах учитывать количество выявленных административных правонарушений, расценивая их рост, как положительную характеристику. Для выявления количественной составляющей данного показателя необходимо провести анализ динамики данных, содержащихся в форме статистической отчетности «1-АП». **Результат.** Разработанная компьютерная программа реализует: сводку и группировку информации из статистических форм отчета «1-АП» за весь период действия приказа МВД России № 179; анализ и прогнозирование динамических рядов, настраиваемых по различным информативным показателям административной практики; формирование диаграмм для графического анализа трендов изучаемых явлений. **Вывод.** Разработанная система поддержки принятия решений в виде компьютерной программы является эффективным средством реализации инфокоммуникационных технологий в деятельность органов внутренних дел. Пользователями данной системы будут являться должностные лица органов внутренних дел, ответственные за организацию охраны общественного порядка, а также курсанты и адъюнкты, обучающиеся по юридическим специальностям.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, компьютерная программа, алгоритм статистического анализа данных, отчет, административная деятельность полиции, расчет ведомственной оценки.

Для цитирования: Р.А. Жилин, Р.В. Никулин, В.Ю. Лазарев. Задача разработки системы поддержки принятия решений для расчета ведомственной оценки административной деятельности полиции. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):95-105. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-95-105

**The task of developing a decision support system for calculating departmental assessment
of police administrative activities**

R. A. Zhilin, R.V. Nikulin, V.Yu. Lazarev

Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
394065, Voronezh, pr. Patriotov, 53, Russia

Abstract. Objective. The purpose of this work is to develop a decision support system in the form of a computer program «Calculation of departmental assessment of administrative activities of the police» based on the algorithm for statistical analysis of data from the «1-AP» report,

which allows in an inclusive form (for example, graphically) to track the dynamics of key indicators, contained in the «1-AP» report for officials of internal affairs bodies responsible for maintaining public order. **Method.** The problem of objective contradiction between the indicators of departmental criteria for assessing the administrative activities of the internal affairs bodies of the Russian Federation and non-departmental assessment of the activities of territorial bodies of the Ministry of Internal Affairs of Russia has been identified. In order to resolve it, it is proposed to take into account the number of identified administrative offenses as an additional indicator of departmental assessment of law enforcement in public places, assessing their growth as a positive characteristic. To identify the quantitative component of this indicator, it is necessary to analyze the dynamics of the data contained in the «1-AP» statistical reporting form. **Result.** The developed computer program implements: summary and grouping of information from the statistical forms of the «1-AP» report for the entire period of validity of Order No. 179 of the Ministry of Internal Affairs of Russia; analysis and forecasting of time series, adjusted according to various informative indicators of administrative practice; formation of diagrams for graphical analysis of trends in the phenomena being studied. **Conclusion.** The developed decision support system in the form of a computer program is an effective means of implementing information and communication technologies in the activities of internal affairs bodies. Users of this system will be officials of internal affairs bodies responsible for organizing the protection of public order, as well as cadets and adjuncts studying in legal specialties.

Keywords: decision support system, computer program, algorithm for statistical data analysis, report, administrative activities of the police, calculation of departmental assessment.

For citation: R.A. Zhilin, R.V. Nikulin, V.Yu. Lazarev. The task of developing a decision support system for calculating departmental assessment of police administrative activities Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):95-105. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-95-105

Введение. Оценка деятельности органов внутренних дел (полиции) в современном виде представляет собой совокупность вневедомственной и ведомственной оценки, как независимых друг от друга самостоятельных оценочных показателей, рассчитываемых по специальным методикам [1]. И, если вневедомственная оценка, полностью зависит от мнения населения о деятельности территориального органа МВД России, то ведомственная включает экспертную оценку и оценку результатов деятельности территориального органа МВД России по статистическим показателям, то есть содержит критерии, на которые общественное мнение не может оказать непосредственное влияние.

Такая комплексная конструкция общей оценки деятельности органов внутренних дел (полиции), состоящая из двух независимых систем оценки, показала свою эффективность и прошла проверку временем. Так, за последние двадцать лет, начиная с 2002 года, в МВД России действовало пять «Оценочных приказов», причем только современный приказ существует более 12 лет [2].

Однако, полагаем, что сложившаяся система оценки деятельности органов внутренних дел (полиции) имеет потенциал для дальнейшего совершенствования, прежде всего в направлении уточнения критериев оценки административной деятельности органов внутренних дел Российской Федерации. В этой связи выскажем мнение, что именно административная деятельность некоторых подразделений полиции существенным образом влияет на формирование общественного мнения населения, то есть на формирование вневедомственной оценки, так как именно она непосредственно направлена на обеспечение правопорядка и безопасности.

Структура действующего «Оценочного приказа» предусматривает ведомственную оценку деятельности органов внутренних дел (полиции) по всем основным направлениям деятельности полиции. Исходя из предположения, что административная деятельность полиции, прежде всего реализуется по таким направлениям деятельности, как: производство

по делам об административных правонарушениях, исполнение административных наказаний и обеспечение правопорядка в общественных местах (без учета обеспечения безопасности дорожного движения), то именно по этим направлениям необходимо определить критерии ведомственной оценки административной деятельности полиции [3, 4].

Единственным критерием, формирующим ведомственную оценку деятельности органов внутренних дел (полиции) по такому направлению ее деятельности, как производство по делам об административных правонарушениях, исполнение административных наказаний – является соотношение вынесенных должностными лицами органов внутренних дел постановлений по делам об административных правонарушениях (без учета административной практики в области дорожного движения) к отмененным, что напрямую не оказывает существенного влияния на формирование общественного мнения о деятельности полиции, то есть на вневедомственную ее оценку.

В тоже время, такое направление деятельности органов внутренних дел (полиции), как обеспечение правопорядка в общественных местах, оценивается только через количество преступлений, совершенных в общественных местах, связанных с угрозой жизни, здоровью и имуществу граждан, хулиганством, что не в полной мере соотносится с деятельностью служб, задействованных в охране общественного порядка. Административная деятельность анализируемого субъекта нацелена на выявление, пресечение преступлений и административных правонарушений в общественных местах.

Так, при добросовестном исполнении своих обязанностей, службы, задействованные в охране общественного порядка, обеспечат рост показателей по выявлению таких преступлений и административных правонарушений, при этом рост преступлений отрицательно повлияет на ведомственную оценку. Однако, эффективная деятельность по выявлению административных правонарушений в общественных местах не окажет никакого влияния на этот критерий, так как большинство граждан не могут знать всех факторов, которым необходимо придавать значение для объективной оценки деятельности органов внутренних дел (полиции) [5].

В этой связи полагаем, что эффективная деятельность по выявлению, пресечению преступлений и административных правонарушений в общественных местах положительно скажется на вневедомственной оценке органов внутренних дел (полиции).

Таким образом, выявлена проблема объективного противоречия между показателями ведомственных критериев оценки административной деятельности органов внутренних дел и вневедомственной оценки деятельности территориальных органов МВД России.

С целью ее разрешения предлагается в качестве дополнительного показателя ведомственной оценки обеспечения правопорядка в общественных местах учитывать количество выявленных административных правонарушений, расценивая их рост, как положительную характеристику.

Для выявления количественной составляющей данного показателя необходимо провести анализ динамики данных, содержащихся в форме статистической отчетности «1-АП» [6]. Структура приказа предусматривает возможность проведения анализа сведений о пресечённых административных правонарушениях, учет которых осуществляется в модуле «Административная практика» Сервиса обеспечения охраны общественного порядка ИСОД МВД России. Причем, параметрами анализа могут стать не только количественные показатели пресечённых административных правонарушений с дифференциацией их по статьям КоАП РФ, но и сведения, отражающие степень участия в этой деятельности сотрудников различных подразделений территориальных органов МВД России, таких как: сотрудники дежурной части, участковые уполномоченные и сотрудники подразделения по делам несовершеннолетних, патрульно-постовой службы, дорожно-патрульной службы, сотрудники оперативных подразделений (столбцы 2 - 15 раздела 1).

Кроме того, такие сведения, как количество прекращенных производств за отсутствием состава или события административного правонарушения (столбец 7 и 8 раздела 2) и раз-

дел 3 отчета позволяют оценить качественную характеристику административной деятельности подразделений полиции, что в некоторой степени может дать оценку состоянию законности и профессионализма сотрудников.

Таким образом, можно утверждать, что в распоряжении должностных лиц территориальных органов МВД России, ответственных за организацию охраны общественного порядка на обслуживаемой территории начиная с 2014 года (то есть с момента введения в действие приказа МВД России № 179 от 26.03.2014) находится информационный ресурс позволяющий проводить качественный и количественный анализ административной деятельности подразделений полиции в области охраны общественного порядка на основе статистических данных административной практики.

Однако, как показывает анкетирование руководителей и сотрудников кадрового резерва на эти должности территориальных органов МВД России районного уровня, проходивших обучение по программе повышения квалификации на базе Воронежского института МВД России, значительный массив данных, содержащихся в отчете «1-АП» не позволяет в наглядном виде отслеживать тенденции изменения показателей административной практики, что затрудняет должное принятие управленческих решений [7, 8].

Анализ вышеперечисленных проблем определяет цель настоящей работы.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка системы поддержки принятия решений в виде компьютерной программы «Расчет ведомственной оценки административной деятельности полиции» на основе алгоритма статистического анализа данных отчета «1-АП», который позволяет в инклюзивном виде (к примеру, графическом) отслеживать динамику основных показателей, содержащихся в данном отчете для должностных лиц органов внутренних дел, ответственных за охрану общественного порядка.

Разработка данной системы позволит импортировать ключевые данные отчета «1-АП» за весь период действия приказа МВД России № 179 от 26.03.2014 в графическую форму, которая наглядно покажет динамику формирования и развития основных показателей административной деятельности подразделений охраны общественного порядка.

Методы исследования. С целью выявления наиболее информативных показателей административной практики, содержащихся в отчете «1-АП», авторами в ходе анкетирования был задан вопрос, о том, динамика изменения каких показателей административной практики должна быть учтена при расчете ведомственной оценки административной деятельности территориального органа МВД России [9, 10].

В результате были получены следующие ответы [11]:

- общее количество пресеченных административных правонарушений;
- общее количество пресеченных административных правонарушений, выявленных службами и подразделениями, задействованными в охране общественного порядка;
- количество составленных протоколов о направлении на медицинское освидетельствование на состояние опьянения;
- взыскаемость по наложенным административным штрафам;
- количество вынесенных решений по делам об административных правонарушениях судебными органами о прекращении производства по делу за отсутствием состава либо события административного правонарушения.

Таким образом, графическая обработка именно этих показателей административной практики за период с 2014 года на обслуживаемой территории, позволит должностному лицу, ответственному за организацию охраны общественного порядка провести качественный и количественный анализ административной деятельности на обслуживаемой территории, что будет способствовать формированию положительной вневедомственной оценки о деятельности полиции, зависящей от мнения населения [12, 13].

Естественно, данный процесс нуждается в автоматизации для сокращения временных затрат на сбор, обработку и анализ значительных массивов данных, содержащихся в отчете «1-АП» с 2014 года по настоящее время. Однако процедура такой автоматизации в среде

MathCAD весьма проблематична из-за сложности операций [14]. В этой связи разработаем систему поддержки принятия решений в виде компьютерной программы «Расчет ведомственной оценки административной деятельности полиции» с использованием языка программирования Python. Структурная схема системы поддержки принятия решений на основе компьютерной программы представлена на рис. 1.

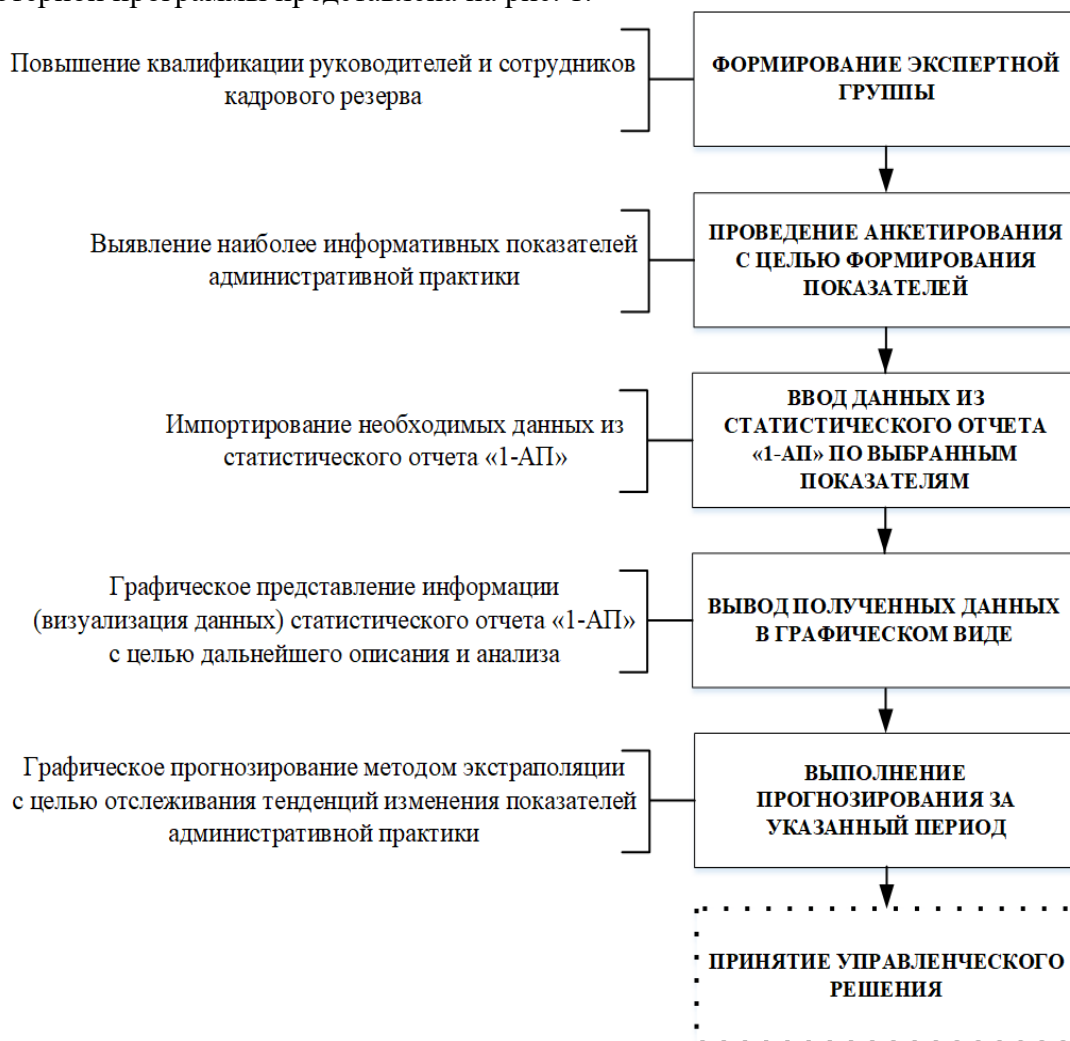


Рис. 1. Структурная схема системы поддержки принятия решений в виде компьютерной программы «Расчет ведомственной оценки административной деятельности полиции»

Fig. 1. Block diagram of a decision support system in the form of a computer program «Calculation of departmental assessment of administrative activities of the police»

Разработка данной системы позволит [15]:

- 1) импортировать данные статистического отчета «1-АП» за весь период действия приказа МВД России № 179 от 26.03.2014 в графическую форму;
- 2) наглядно анализировать динамику формирования и развития основных показателей административной деятельности подразделений охраны общественного порядка;
- 3) должностным лицам, ответственным за организацию охраны общественного порядка провести качественный и количественный анализ административной деятельности на обслуживаемой территории, что будет способствовать формированию положительной ведомственной оценки о деятельности полиции.

Обсуждение результатов. Рассмотрим последовательность этапов работы разработанной компьютерной программы «Расчет ведомственной оценки административной деятельности полиции».

1. После активации запускового ярлыка с названием программы появится интерфейс, представленный на рис. 2.



Рис. 2. Интерфейс первой экранной формы компьютерной программы «Расчет ведомственной оценки административной деятельности полиции»

Fig. 2. Interface of the first screen form of the computer program «Calculation of departmental assessment of administrative activities of the police»

2. После запуска компьютерной программы пользователю необходимо заполнить пустые поля, указав необходимые для анализа показатели ведомственной оценки административной деятельности полиции, согласно статистическому отчету «1-АП» с целью проведения вычислительного эксперимента.

Рис. 3. Экранная форма для ввода показателей ведомственной оценки административной деятельности полиции

Fig. 3. Screen form for entering indicators of departmental assessment of administrative activities of the police

В данной компьютерной программе существует возможность увеличения количества показателей ведомственной оценки административной деятельности полиции необходимых для анализа путем нажатия кнопки «ДОБАВИТЬ».

Как только необходимые показатели указаны, пользователю необходимо нажать кнопку «ДАЛЕЕ». Данная кнопка становится активна только после заполнения необходимых для анализа показателей.

Рис. 4. Пример оконного интерфейса программы с заполненными для анализа показателями ведомственной оценки административной деятельности полиции

Fig. 4. An example of a program window interface with indicators of departmental assessment of police administrative activities filled in for analysis

В программе также существует возможность ручного ввода координат строк и столбцов показателей ведомственной оценки административной деятельности полиции согласно статистическому отчету «1-АП» для проведения вычислительного эксперимента.

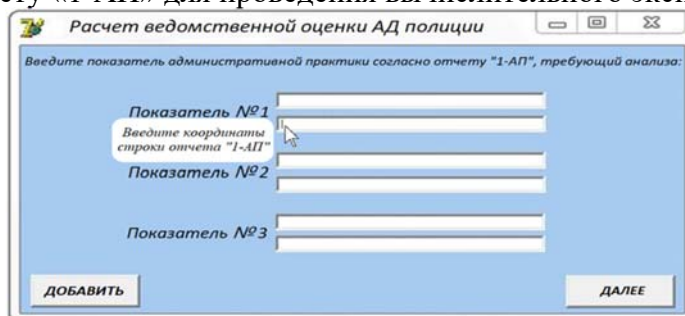


Рис. 5. Пример оконного интерфейса программы с возможностью ручного ввода координат строки отчета «1-АП»

Fig. 5. An example of a program window interface with the ability to manually enter the coordinates of the «1-AP» report line

При наведении указателя мыши в соответствующее поле появится выплывающая подсказка «Введите координаты строки отчета «1-АП», либо «Введите координаты столбца отчета «1-АП».

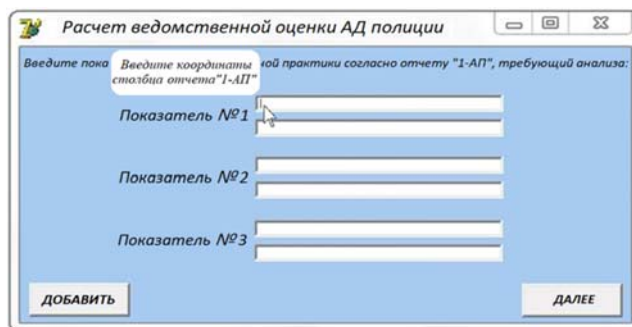


Рис. 6. Пример оконного интерфейса программы с возможностью ручного ввода координат столбца отчета «1-АП»

Fig. 6. An example of a program window interface with the ability to manually enter coordinates of the «1-AP» report column

После указания необходимых координат строк и столбцов показателей ведомственной оценки административной деятельности полиции, пользователю необходимо нажать кнопку «ДАЛЕЕ». Затем, компьютерная программа предложит выбрать период времени, за который необходимо выполнить анализ выбранных выше показателей ведомственной оценки административной деятельности полиции. После осуществления выбора пользователю необходимо вновь нажать на кнопку «ДАЛЕЕ».

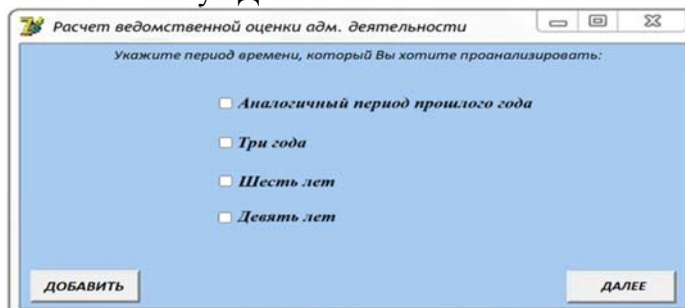


Рис. 7. Пример оконного интерфейса компьютерной программы с возможностью выбора периода времени, который необходимо проанализировать

Fig. 7. An example of a windowed interface of a computer program with the ability to select the time period that needs to be analyzed

Выбираемый анализируемый период может варьироваться пользователем посредством нажатия кнопки «ДОБАВИТЬ» и введения необходимого периода на его усмотрение. Далее пользователю на выбор будет предложен вид отображения результирующих данных

(проанализированных за выбранный период показателей ведомственной оценки административной деятельности полиции). После осуществления выбора необходимо нажать на кнопку «ДАЛЕЕ».

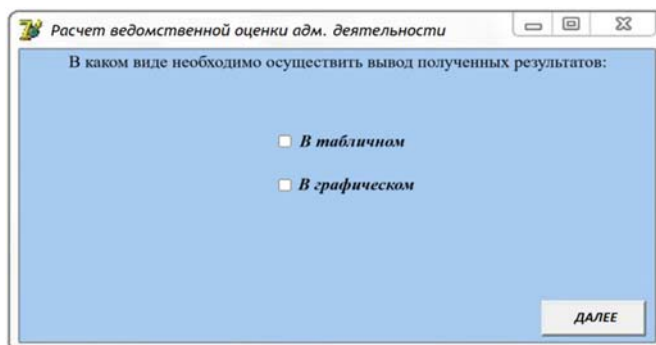


Рис. 8. Пример оконного интерфейса компьютерной программы с возможностью выбора отображения результирующих данных

Fig. 8. An example of a windowed interface of a computer program with the ability to select the display of the resulting data

Также в данной компьютерной программе существует возможность выполнения графического прогноза методом экстраполяции с целью отслеживания тенденций изменения показателей административной практики. Пользователю на выбор будет предложена данная функция. После осуществления выбора пользователю необходимо нажать на кнопку «ДАЛЕЕ».

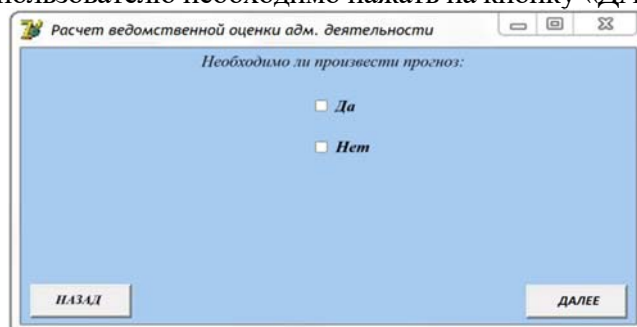


Рис. 9. Пример оконного интерфейса компьютерной программы с возможностью выполнения графического прогноза методом экстраполяции

Fig. 9. An example of a window interface of a computer program with the ability to perform a graphical forecast using the extrapolation method

Если пользователь выбрал пункт «Нет», то компьютерная программа визуализирует данные выбранных выше показателей ведомственной оценки административной деятельности полиции за определенный пользователем период времени и выводит результаты на экран. Если пользователь выбрал пункт «Да», то компьютерная программа предложит выбрать период времени, за который необходимо выполнить графический прогноз методом экстраполяции выбранных выше показателей ведомственной оценки административной деятельности полиции.

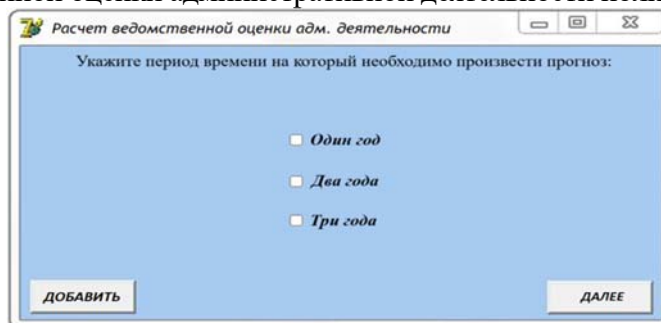


Рис. 10. Пример оконного интерфейса компьютерной программы с возможностью выбора периода времени, который необходим для выполнения графического прогноза методом экстраполяции

Fig. 10. An example of a window interface of a computer program with the ability to select the time period that is necessary to perform a graphical forecast using the extrapolation method

Выбираемый пользователем период графического прогноза методом экстраполяции может варьироваться посредством нажатия кнопки «ДОБАВИТЬ» и введения необходимого периода на его усмотрение.

В разработанной компьютерной программе реализован следующий функционал:

- 1) сводка и группировка информации из статистических форм отчета «1-АП» за весь период действия приказа МВД России № 179 от 26.03.2014;
- 2) анализ и прогнозирование динамических рядов, настраиваемых по различным информативным показателям административной практики;
- 3) формирование диаграмм для графического анализа трендов изучаемых явлений.

Пользователями данной системы будут являться должностные лица органов внутренних дел, ответственные за организацию охраны общественного порядка, а также курсанты и адъюнкты, обучающиеся по юридическим специальностям [16].

Алгоритм статистического анализа данных, который позволяет в графическом виде отслеживать динамику показателей, содержащихся в отчете «1-АП» представлен на рис. 11.

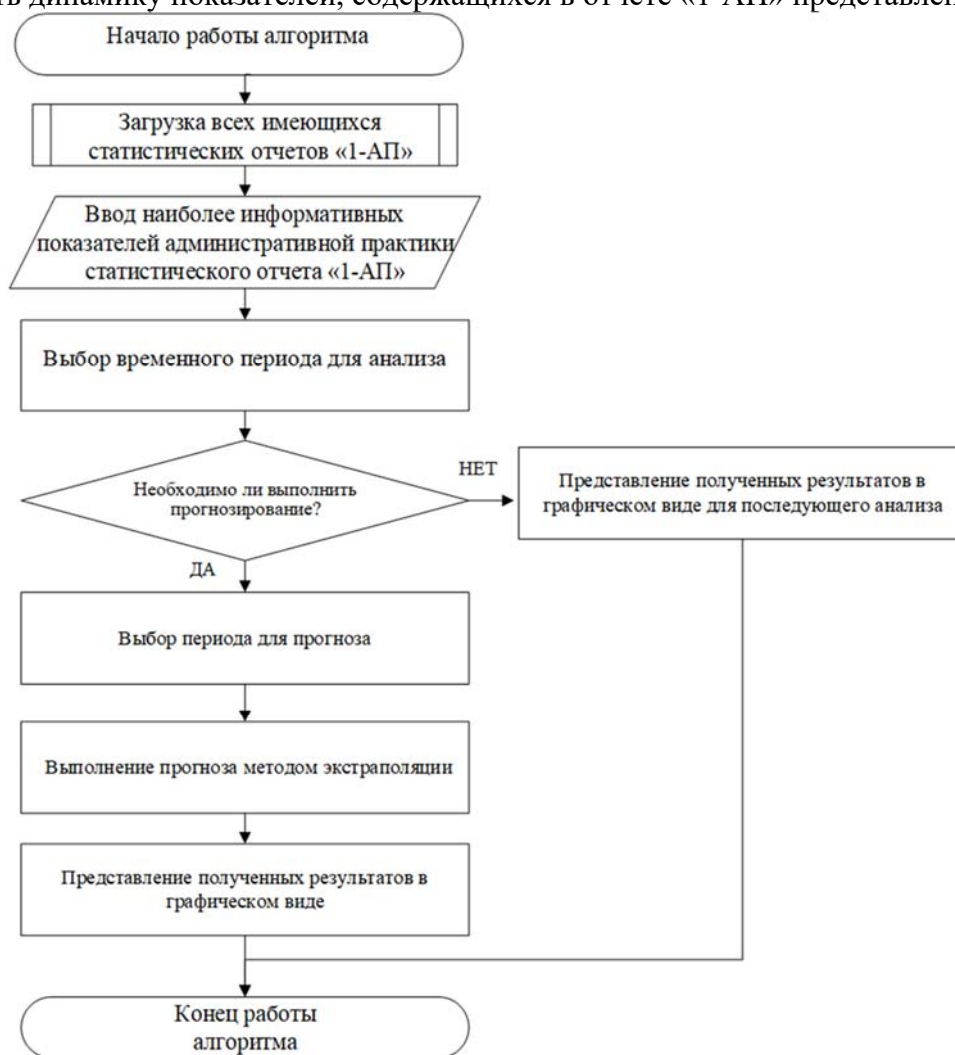


Рис. 11. Алгоритм статистического анализа данных, который позволяет в графическом виде отслеживать динамику показателей, содержащихся в отчете «1-АП»

Fig. 11. An algorithm for statistical data analysis that allows you to graphically track the dynamics of indicators contained in the report «1-AP»

Вывод. Разработанная система поддержки принятия решений «Расчет ведомственной оценки административной деятельности полиции» является эффективным средством реализации инфокоммуникационных технологий в деятельность органов внутренних дел Российской Федерации, которая позволит:

1) в графическом виде отслеживать тенденции изменения показателей административной практики, содержащихся в статистическом отчете «1-АП», что значительно облегчит принятие управленческих решений;

2) проводить качественный и количественный анализ административной деятельности подразделений полиции в области охраны общественного порядка на основе административной практики.

Библиографический список:

1. Приказ МВД России «Вопросы оценки деятельности территориальных органов Министерства внутренних дел Российской Федерации», № 1040, от 31 декабря 2013 г.
2. Денисенко, В. В. Показатели и методика вневедомственной оценки деятельности органов внутренних дел и условий их функционирования / В. В. Денисенко, Е. Н. Майорова // Правопорядок: история, теория, практика. – 2021. – № 1(28). – С. 13-18.
3. Гусев, Р. Г. Методологические подходы к оценке деятельности полиции// Современное право. – 2012. – № 5. – С. 81-82.
4. Гонов, Ш. Х. Моделирование анализа и оценки результатов деятельности ОВД в сфере обеспечения правопорядка в общественных местах / Ш. Х. Гонов // Охрана, безопасность, связь. – 2017. – № 1-3. – С. 56-62.
5. Гусев, А. В. Проблемы развития законодательства об оценке эффективности административной деятельности полиции / А. В. Гусев, А. Р. Гиздатов // Вестник Уральского юридического института МВД России. – 2016. – № 1. – С. 47-53.
6. Приказ МВД России «Об утверждении формы статистической отчетности», № 179, от 26.03.2014 № 179 (ред. 27.09.2021).
7. Жилин, Р. А. Об экспертном опросе в отношении нарушителей систем безопасности// Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии. – 2021. – № 7-3. – С. 64-68.
8. Старенков И.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663119 Российская Федерация. Модуль оценки эффективности проектируемой системы физической защиты охраняемого объекта на основе данных экспертного опроса / И. А. Старенков, П.В. Шульгин, Р. А. Жилин.
9. Осянин, А. Н. Методические аспекты организации исследования общественного мнения о деятельности ОВД методом анкетирования / А. Н. Осянин, Е. С. Вершинина // Юридическая наука и практика: Вестник Нижегородской академии МВД России. – 2016. – № 1(33). – С. 145-149.
10. Lilley, D. Organizational Values and Police Officer Evaluation: A Content Comparison Between Traditional and Community Policing Agencies / D. Lilley, S. Hinduja // Police Quarterly. – 2006. – Vol. 9, No. 4. – P. 486-513.
11. Roberts, G. E. A Case Study in Performance Appraisal System Development: Lessons from a Municipal Police Department / G. E. Roberts // American Review of Public Administration. – 1996. – Vol. 26, No. 3. – P. 361-385.
12. Мельников, А. В. Графический метод анализа статистики судимости на основе нормализации трендов в динамических рядах / А. В. Мельников, Л. Н. Саврасова, Е. Г. Чернышев // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2022. – № 3. – С. 92 - 100.
13. Akhlyustin, S. B. Prediction of the Integrated Indicator of Quality of a New Object Under the Conditions of Multicollinearity of Reference Data / S. B. Akhlyustin, A. V. Melnikov, R. A. Zhilin // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. – 2020. – Vol. 13, No. 4. – P. 66-80.
14. Melnikov, A. V. Method of forming expert coalitions in the context of solving the expertise problem of alternatives with weakly formalized criteria / A. V. Melnikov, I. V. Shcherbakova, R. A. Zhilin // Journal of Physics: Conference Series : Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems, Voronezh, 11–13 ноября 2019 года. Vol. 1479. – Voronezh: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012071.
15. Никулин, Р. В. К вопросу влияния ведомственных критериев оценки административной деятельности органов внутренних дел на вневедомственную оценку деятельности территориальных органов МВД России / Р. В. Никулин // Полиция и общество: проблемы и перспективы взаимодействия. – 2023. – № 5. – С. 132-135.
16. Жилин, Р. А. Особенности использования программы для формирования высокосогласованных групп экспертов на основе численного метода предварительной экспертизы / Р. А. Жилин // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2022. – № 1. – С. 40-45.

References

1. Order of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation "Issues of assessment of the activities of territorial bodies of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation", (1040), dated December 31, 2013. (In Russ)

2. Denisenko V. V., Mayorova E.N. Indicators and methods of non-departmental assessment of the activities of internal affairs bodies and the conditions of their functioning. Law and order: history, theory, practice. 2021; (1(28)): 13-18. (In Russ)
3. Gusev R. G. Methodological approaches to the assessment of police activity. Modern law. 2012; (5): 81-82. (In Russ)
4. Gonov Sh. Kh. Modeling of analysis and evaluation of the results of the Department of Internal Affairs in the field of law enforcement in public places. *Protection, security, communications*. 2017; (1-3): 56-62. (In Russ)
5. Gusev A.V., Gizdatov A.R. Problems of development of legislation on evaluating the effectiveness of administrative police activities. *Bulletin of the Ural Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2016; (1): 47-53. (In Russ)
6. Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia «On approval of the statistical reporting form», (179), dated 03/26/2014 No. 179 (ed. 09/27/2021). (In Russ)
7. Zhilin R. A. On an expert survey on violators of security systems. *Public safety, legality and law and order in the III millennium*. 2021; (7-3): 64-68. (In Russ)
8. Starenkov I.A., Shulgin P.V., Zhilin R.A. Certificate of state registration of a computer program Number 2023663119 Russian Federation. Module for evaluating the effectiveness of the projected system of physical protection of a protected object based on expert survey data. (In Russ)
9. Osyannin A. N., Vershinina E.S. Methodological aspects of the organization of public opinion research on the activities of the Department of Internal Affairs by means of a questionnaire. Legal science and practice: *Bulletin of the Nizhny Novgorod Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2016; (1(33)): 145-149. (In Russ)
10. Lilley D, Hinduja S. Organizational Values and Police Officer Evaluation: A Content Comparison Between Traditional and Community Policing Agencies. *Police Quarterly*. 2006; (9, 4): 486-513.
11. Roberts G. E. A Case Study in Performance Appraisal System Development: Lessons from a Municipal Police Department. *American Review of Public Administration*. 1996; (26, 3): 361-385.
12. Melnikov A.V., Savrasova L.N., Chernyshev E.G. Graphical method for analyzing criminal record statistics on the basis of normalization of trends in dynamic series. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia*. 2022; (3): 92-100. (In Russ)
13. Akhlyustin S.B., Melnikov A.V., Zhilin R.A. Prediction of the integrated indicator of quality of a new object under the conditions of multicollinearity of reference data. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical modeling and programming*. 2020; (13(4)): 66-80.
14. Melnikov A.V., Shcherbakova I.V., Zhilin R.A. The method of forming coalitions of experts within the framework of solving the problem of examining alternatives with weakly formalizable criteria. Actual problems of applied mathematics, informatics and mechanics. *Proceedings of the International Scientific Conference*. 2020; 968–75.
15. Nikulin R. V. On the issue of the influence of departmental criteria for evaluating the administrative activities of internal affairs bodies on the non-departmental assessment of the activities of territorial bodies of the Ministry of Internal Affairs of Russia. *Police and society: problems and prospects of interaction*. 2023; (5): 132-135. (In Russ)
16. Zhilin R. A. Features of using the program to form highly coordinated expert groups based on the numerical method of preliminary examination. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia*. 2022; (1): 40-45. (In Russ)

Сведения об авторах:

Жилин Роман Андреевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры тактико-специальной подготовки; zhilin99.zhilin@yandex.ru.

Никулин Роман Викторович, заместитель начальника кафедры административной деятельности органов внутренних дел; vorhmscl@comch.ru

Лазарев Владимир Юрьевич, преподаватель кафедры тактико-специальной подготовки; Sanav@mail.ru

Information about authors:

Roman A. Zhilin, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, Department of Tactical and Special Training; zhilin99.zhilin@yandex.ru.

Roman V. Nikulin, Deputy Head of the Department of Administrative Activities of Internal Affairs Bodies; vorhmscl@comch.ru

Vladimir YU. Lazarev, Lecturer, Department of Tactical and Special Training; Sanav@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 30.11.2023.

Одобрена после рецензирования / Revised 30.12.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 30.12.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК004.8



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-106-112 Оригинальная статья /Original article

Исследование обнаружения аномалий с использованием
Isolation Forest в машинном обучении

А.С. Кечеджиев, О.Л. Цветкова

Донской государственный технический университет

344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, Россия

Резюме. Цель. Исследование посвящено оценке применимости метода Isolation Forest в задаче обнаружения аномалий на данных сетевого трафика, характеризующихся недостаточной разметкой. Основной целью данной работы является оценка эффективности Isolation Forest при ограниченной разметке данных и его потенциала в критически важных областях, таких как кибербезопасность и финансовая аналитика. **Метод.** Исследование включает предварительную обработку данных, обучение модели на тренировочном наборе, а также оценку производительности модели на тестовом наборе с использованием метрик точности, матрицы ошибок и отчета о классификации. Для реализации данного исследования был выбран язык программирования Python и библиотека scikit-learn для реализации Isolation Forest, а также Pandas для работы с данными. **Результат.** Оценка применимости метода Isolation Forest на неструктурированных данных выявила его потенциал в выделении аномальных паттернов без необходимости обширной разметки. Это подтверждает эффективность Isolation Forest в условиях, где доступ к размеченным данным ограничен или отсутствует. **Вывод.** Полученные результаты демонстрируют высокую полноту обнаружения аномалий, несмотря на относительно низкую общую точность, что указывает на важность контекстуальной интерпретации метрик в задаче обнаружения редких событий в данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, кибербезопасность, киберугрозы, информационная безопасность, Isolation Forest.

Для цитирования: А.С. Кечеджиев, О.Л. Цветкова. Исследование обнаружения аномалий с использованием Isolation Forest в машинном обучении. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):106-112. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-106-112

Anomaly detection research using Isolation Forest in Machine Learning

A. S. Kechedzhiev, O. L. Tsvetkova

Don State Technical University,

1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344003, Russia

Abstract. Objective. The study is devoted to assessing the applicability of the Isolation Forest method in the task of detecting anomalies in network traffic data characterized by insufficient markup. The main purpose of the work is to evaluate the effectiveness of Isolation Forest with limited data markup and its potential in critical areas such as cybersecurity and financial analytics. **Method.** The study includes data preprocessing, training the model on the training set, and evaluating the model's performance on the test set using accuracy metrics, error matrix, and classification report. To implement this research, the Python programming language and the scikit-learn library were chosen to implement the Isolation Forest, as well as Pandas for working with data. **Result.** Evaluating the applicability of the Isolation Forest method on unstructured data revealed its potential for identifying anomalous patterns without the need for extensive labeling. This confirms the effectiveness of Isolation Forest in environments where access to labeled data is limited or absent. **Conclusion.** The results demonstrate high anomaly detection recall despite relatively low overall

accuracy, indicating the importance of contextual interpretation of metrics in the task of detecting rare events in data.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, cybersecurity, cyberthreats, information security, Isolation Forest

For citation: A.S. Kechedzhiev, O.L. Tsvetkova. Anomaly detection research using Isolation Forest in Machine Learning. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1): 106-112. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-106-112

Введение. Современные задачи обработки данных, особенно в контексте обнаружения аномалий, часто сталкиваются с отсутствием подробной разметки или недостаточным объемом размеченных данных для обучения моделей. Недостаточная или отсутствующая разметка данных затрудняет создание точных моделей, способных выявлять аномалии в реальном времени. Эта проблема становится особенно актуальной в областях, где нештатные ситуации могут иметь серьезные последствия, таких как кибербезопасность, финансовая аналитика и производственные процессы.

Основные проблемы заключаются в следующем:

Недостаток размеченных данных. В реальных условиях часто бывает сложно или дорого создать большой объем размеченных данных для обучения моделей обнаружения аномалий. Это ставит под вопрос эффективность и точность моделей, требующих разметку для обучения.

Необходимость оперативного обнаружения аномалий. Во многих областях, таких как кибербезопасность или финансовая аналитика, нештатные ситуации требуют мгновенного реагирования. Оперативное обнаружение и предотвращение аномальных событий становится критически важным.

Точность и надежность обнаружения. Отсутствие разметки или недостаточное количество размеченных данных может привести к недостаточной точности моделей обнаружения аномалий. Важно создать методы, способные точно выделять аномалии при минимальном использовании размеченных данных.

Выявление аномалий представляет собой процесс определения данных, элементов, наблюдений или событий, которые отличаются от большинства образцов в наборе данных. Обнаружение аномалий может указывать на подозрительный сетевой трафик, неисправности измерительных приборов, ошибки измерений или просто данные, которые следует исключить перед последующим анализом [1]. Большинство исследований в области обнаружения аномалий основываются на моделях, которые обучаются на ограниченных выборках [2, 3]. Однако такие модели часто имеют погрешность, так как требуется их переобучение в процессе работы [3]. Некоторые авторы предлагают использованием машинного обучения для того, чтобы иметь возможность поиска аномального поведения пользователей по журналам событий безопасности Windows [4]. Интерес представляет решение такой задачи как динамическая аутентификация пользователей, выполненная по результатам анализа работы с компьютерной мышью [5]. Модифицированные алгоритмы кластерного анализа могут быть применены для обнаружения аномалий на основе машинного обучения [6].

Постановка задачи. Процесс обнаружения аномалий сталкивается с острой проблемой нехватки размеченных данных, что затрудняет точное выявление аномалий и требует методов, способных работать с ограниченной разметкой.

В таких условиях изоляционный лес выделяется как перспективный инструмент. Его эффективность в обнаружении аномалий при минимальном использовании размеченных данных делает его привлекательным выбором.

Метод основан на принципе изоляции аномалий путем случайного разделения, что позволяет оперативно и точно выявлять нештатные ситуации. Кроме того, его низкая чувствительность к выбросам в данных делает его устойчивым к шуму и способным эффективно обрабатывать различные типы аномалий.

Целью исследования является изучение и оценка метода Isolation Forest в контексте обнаружения аномалий в данных, где отсутствует детальная разметка. Основная задача состоит в проверке применимости этого метода в условиях неструктурированных данных, где доступ к полной разметке ограничен или отсутствует. Также необходимо оценить эффективность Isolation Forest в определении аномальных паттернов в данных без необходимости наличия большого объема размеченных образцов.

Это исследование будет осуществляться путем изучения способностей метода Isolation Forest на различных типах данных, включая как структурированные, так и неструктурированные данные разного формата и представления. Основное внимание уделяется оценке производительности метода на данных реальных сценариев применения, таких как кибербезопасность, финансовая аналитика или обнаружение нештатных ситуаций, где точное и оперативное обнаружение аномалий имеет важное значение.

Для достижения цели исследования будет проведен обширный анализ результатов, полученных при применении Isolation Forest к различным наборам данных. Это включает в себя оценку производительности модели через различные метрики, такие как точность, полнота, F-мера и другие, для более глубокого понимания способности модели точно выделять аномалии в данных. Основная задача состоит в том, чтобы понять, насколько успешно метод Isolation Forest может быть применен в условиях ограниченной разметки данных и оценить его потенциал для использования в различных областях, где обнаружение аномалий является важным аспектом анализа данных.

Важным аспектом исследования является оценка возможности обобщения результатов на другие области и типы данных для понимания того, как полученные выводы могут быть применимы в различных контекстах и сценариях.

Методы исследования. Для обучения взят набор данных, который содержит сетевой трафик, собранный в контролируемой лабораторной среде. Этот набор данных был создан для обнаружения вредоносного сетевого трафика (сетевых атак) с использованием методов машинного обучения. Он содержит информацию о различных видах сетевых атак, таких как DoS, атаки на переполнение буфера, различные типы сканирования и другие. Набор данных UNSW_NB15 содержит различные атрибуты, описывающие сетевой трафик, и метки классов, указывающие на тип атаки или отсутствие атаки для каждого экземпляра. Эти данные часто используются для обучения моделей машинного обучения с целью обнаружения и классификации сетевых атак.

Для реализации данного исследования был выбран язык программирования Python и библиотека scikit-learn для реализации Isolation Forest, а также Pandas для работы с данными. В рамках исследования выполнен анализ метода обнаружения аномалий с применением Isolation Forest, который является одним из методов несупервизионного обучения и применяется для выявления аномальных или необычных паттернов в данных, не требуя подробной разметки. Основные этапы проведенного исследования:

1. Загрузка данных и предобработка: данные загружаются из файлов и подвергаются необходимой предобработке, включая обработку категориальных признаков и масштабирование числовых.

2. Обучение модели Isolation Forest: создается и обучается модель Isolation Forest на подготовленных данных для выявления аномалий.

3. Оценка производительности модели: модель оценивается на тестовом наборе данных с использованием метрик: точность, матрица ошибок и отчет о классификации.

Используемые технологии:

```
# Импорт необходимых библиотек и модулей
from sklearn.ensemble import IsolationForest # Импорт Isolation Forest для обнаружения аномалий
from sklearn.metrics import accuracy_score, confusion_matrix, classification_report # Импорт метрик для оценки модели
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler # Импорт MinMaxScaler для масштабирования признаков
```

```
import pandas as pd # Импорт библиотеки для работы с данными
# Загрузка данных
features = pd.read_csv('DataSet/NUSW-NB15_features.csv', encoding='latin-1') # Загрузка файла
с признаками
training_set = pd.read_csv('DataSet/UNSW_NB15_training-set.csv') # Загрузка тренировочного
набора данных
testing_set = pd.read_csv('DataSet/UNSW_NB15_testing-set.csv') # Загрузка тестового набора
данных
# Обработка категориальных признаков
categorical_columns = ['proto', 'service', 'state', 'attack_cat'] # Выбор категориальных признаков
training_set_encoded = pd.get_dummies(training_set, columns=categorical_columns,
drop_first=True) # Кодирование категориальных признаков в тренировочном наборе
testing_set_encoded = pd.get_dummies(testing_set, columns=categorical_columns,
drop_first=True) # Кодирование категориальных признаков в тестовом наборе
common_columns = training_set_encoded.columns.intersection(testing_set_encoded.columns) #
Нахождение общих столбцов в обоих наборах данных
training_set_encoded = training_set_encoded[common_columns] # Оставление только общих
столбцов в тренировочном наборе
testing_set_encoded = testing_set_encoded[common_columns] # Оставление только общих
столбцов в тестовом наборе
# Масштабирование числовых признаков
scaler = MinMaxScaler() # Инициализация MinMaxScaler
numerical_columns = training_set.select_dtypes(include=['float64', 'int64']).columns.tolist() # Вы-
бор числовых признаков
training_set_encoded[numerical_columns] = scaler.fit_transform(training_set[numerical_columns])
# Масштабирование числовых признаков в тренировочном наборе
testing_set_encoded[numerical_columns] = scaler.transform(testing_set[numerical_columns]) #
Масштабирование числовых признаков в тестовом наборе
# Выбор признаков и целевой переменной
X_train = training_set_encoded.drop('label', axis=1) # Отделение признаков от меток классов в
тренировочном наборе
y_train = training_set_encoded['label'] # Выделение меток классов в тренировочном наборе
# Инициализация и обучение модели Isolation Forest
clf = IsolationForest(random_state=42) # Инициализация модели Isolation Forest с заданным
random_state для воспроизводимости
clf.fit(X_train) # Обучение модели на тренировочных данных
# Прогнозирование аномалий на тестовом наборе
X_test = testing_set_encoded.drop('label', axis=1) # Отделение признаков от меток классов в те-
стовом наборе
y_pred = clf.predict(X_test) # Предсказание аномалий на тестовых данных с помощью обу-
ченной модели
# Преобразование предсказанных значений
y_pred[y_pred == 1] = 0 # Замена значений для представления аномалий (1)
y_pred[y_pred == -1] = 1 # Замена значений для представления нормальных данных (0)
# Оценка производительности модели Isolation Forest
accuracy = accuracy_score(testing_set_encoded['label'], y_pred) # Вычисление точности модели
conf_matrix = confusion_matrix(testing_set_encoded['label'], y_pred) # Вычисление матрицы
ошибок
classification_rep = classification_report(testing_set_encoded['label'], y_pred) # Создание отчета
о классификации
# Вывод результатов
print(f'Isolation Forest - Accuracy: {accuracy}') # Вывод точности модели
print(f'Isolation Forest - Confusion Matrix:\n{conf_matrix}') # Вывод матрицы ошибок
print(f'Isolation Forest - Classification Report:\n{classification_rep}') # Вывод отчета о класси-
фикации
```

```
# Обучение модели Isolation Forest
clf.fit(X_train)
# Прогнозирование аномалий на обучающем наборе для визуализации процесса обучения
y_train_pred = clf.predict(X_train)
# Создание графика для отображения прогнозирования аномалий на обучающем наборе
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(X_train.iloc[:, 0], X_train.iloc[:, 1], c=y_train_pred, cmap='viridis', label='Anomaly (-1) /
Normal (1)')
plt.title('Isolation Forest - Training Set Anomaly Detection')
plt.xlabel('Feature 1')
plt.ylabel('Feature 2')
plt.legend()
plt.colorbar()
plt.show()
```

Обсуждение результатов. Результат работы программного кода приведен на рис. 1.

Эти метрики и отчет о классификации показывают оценку производительности модели Isolation Forest на тестовом наборе данных для задачи обнаружения аномалий.

Accuracy (Точность): 0.32

Это общая точность модели, т.е., доля правильно классифицированных случаев.

Здесь она составляет около 32%, что может быть низким значением, особенно для некоторых задач классификации. Однако, для задачи обнаружения аномалий высокая точность может быть менее важной из-за дисбаланса классов.

Confusion Matrix (Матрица ошибок): в матрице ошибок видно, что модель правильно классифицировала 55174 аномальных случая и 833 нормальных случая.

Classification Report (Отчет о классификации):

Precision (Точность) для класса 0.0 (аномалии) составляет 0.32, что означает, что из всех предсказанных моделью аномалий только 32% действительно являются аномалиями.

Recall (Полнота) для класса 0.0 составляет 0.99, что означает, что модель обнаруживает 99% всех действительных аномалий.

F1-score (F-мера) для класса 0.0 равен 0.48, это среднее гармоническое между точностью и полнотой.

Support (Поддержка):

Это количество фактических случаев в каждом классе. Эти метрики помогают понять, как модель работает в контексте обнаружения аномалий. В данном случае, хотя точность невысока, полнота высока для аномалий, что может быть важным в контексте обнаружения редких событий, но стоит обращать внимание на ошибки в классификации нормальных случаев как аномалий.

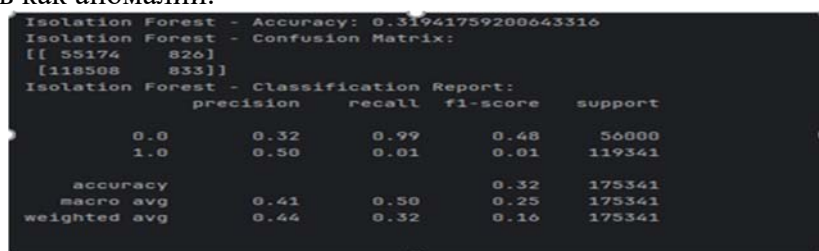


Рис. 1. Оценка производительности Isolation Forest

Fig. 1. Isolation Forest performance evaluation

График, созданный в данном коде, позволяет визуализировать процесс обучения модели Isolation Forest на обучающем наборе данных (рис. 2). Каждая точка на графике представляет отдельный образец из обучающего набора данных, где оси X и Y представляют различные признаки.

Синий (значение 1): Эти точки представляют образцы, которые модель считает «нормальными», то есть они не являются аномальными по мнению модели.

Желтый (значение -1): Точки этого цвета представляют образцы, которые модель отметила, как «аномалии» или необычные паттерны данных.

Таким образом, график позволит визуальнo оценить, как модель разделяет данные на «нормальные» и «аномальные» значения на обучающем наборе данных. Это позволяет оценить способность модели выявлять аномалии и ее общую производительность в их обнаружении.

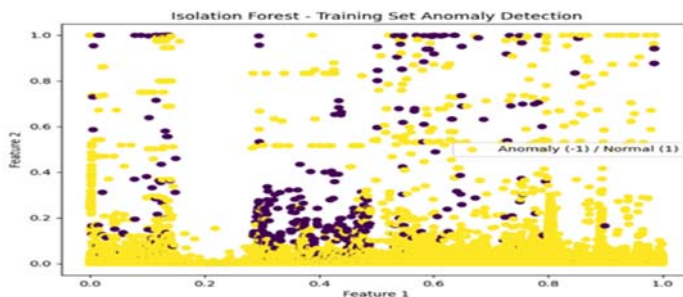


Рис. 2. Визуализации прогнозирования аномалий
Fig. 2. Visualizations of anomaly prediction

Вывод. Прделанная работа позволила исследовать метод Isolation Forest в контексте обнаружения аномалий в данных без детальной разметки. Оценка применимости данного метода на неструктурированных данных выявила его потенциал в выделении аномальных паттернов без необходимости обширной разметки. Это подтверждает эффективность Isolation Forest в условиях, где доступ к размеченным данным ограничен или отсутствует. Isolation Forest имеет достаточно высокую производительность при обнаружении аномалий в различных типах данных, включая неструктурированные данные, что делает его перспективным методом в областях, где требуется оперативное выявление нештатных ситуаций.

Оценка производительности модели Isolation Forest через различные метрики, такие как точность, полнота и F-мера, подтвердила его способность точно определять аномалии. Метод проявил свою применимость в реальных сценариях, таких как кибербезопасность или финансовая аналитика, что подчеркивает его значимость в областях, где оперативное обнаружение аномалий имеет высокий приоритет.

Таким образом, исследование показало, что Isolation Forest представляет собой перспективный метод для обнаружения аномалий в данных без обширной разметки и может успешно применяться в различных областях, где обнаружение нештатных ситуаций играет ключевую роль. Выводы работы могут быть использованы для дальнейшего улучшения методов обнаружения аномалий и их применения в реальных сценариях.

Библиографический список:

1. Попова, И.А. Обнаружение аномалий в наборе данных с помощью алгоритмов машинного обучения без учителя Isolation Forest и Local Outlier Factor / И.А. Попова // StudNet. – 2020. – Т. 3, № 12. – С. 1460-1470. – EDN XILRBX.
2. Гайдук, К.А. К вопросу о реализации алгоритмов выявления внутренних угроз с применением машинного обучения / К.А. Гайдук, А.Ю. Исхаков // Вестник СибГУТИ. – 2022. – Т. 16, № 4. – С. 80-95. – DOI 10.55648/1998-6920-2022-16-4-80-95. – EDN SGBSIN.
3. Савицкий, Д.Е. Выявление аномалий при обработке потоковых данных в реальном времени / Д.Е. Савицкий, М.Е. Дунаев, К.С. Зайцев // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 6. – С. 70-76. – EDN IGAWAO.
4. Терских, М. Г. Обнаружение аномального поведения пользователей в журналах событий безопасности Windows с применением алгоритмов машинного обучения / М. Г. Терских, Е. М. Тишина // Теория и практика современной науки. – 2018. – № 5(35). – С. 821-839. – EDN UYMTNC.
5. Динамическая аутентификация пользователей на основе анализа работы с компьютерной мышью / А. В. Березникер, М. А. Казачук, И. В. Машечкин [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. – 2021. – № 4. – С. 3-16. – EDN XIQNZ.
6. Токарев, Д. М. Обнаружение аномалий на основе машинного обучения с использованием сочетания алгоритмов K-MEAN и SMO / Д. М. Токарев, М. Г. Городничев // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2023. – Т. 10, № 1. – С. 5-13. – EDN ILCJZP.
7. Мельник, М. В. Обнаружение аномального поведения пользователей и сущностей в контейнерных системах на основе методов машинного обучения / М. В. Мельник, И. В. Котенко // Информационная

безопасность регионов России (ИБРР-2023) : XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Материалы конференции, Санкт-Петербург, 25–27 октября 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2023. – С. 97-98. – EDN QOBTZP.

8. Н. Эйб, Б. Задрозный, Дж. Лэнгфорд. Обнаружение выбросов с помощью активного обучения. В материалах 12-й международной конференции ACM SIGKDD по обнаружению знаний и интеллектуальному анализу данных, страницы 504-509. ACM Press, 2006.
9. Сафин, А. Р. Обнаружение аномального поведения сетевого трафика на основе статистических методов при помощи машинного обучения / А. Р. Сафин // Информационная безопасность и защита персональных данных. Проблемы и пути их решения: Материалы XIII Межрегиональной научно-практической конференции, Брянск, 30 апреля 2021 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2021. – С. 228-231. – EDN UDRGDA.
10. А. Асунсьон, Д. Ньюман. Репозиторий машинного обучения UCI, 2007.

References

1. Popova, I.A. Detection of anomalies in a data set using unsupervised machine learning algorithms Isolation Forest and Local Outlier Factor/ I.A. Popova StudNet. 2020; 3(12):1460-1470. – EDN XILRBX. (In Russ)
2. Gaiduk, K.A. On the issue of implementing algorithms for identifying internal threats using machine learning / K.A. Gaiduk, A.Yu. Iskhakov. *Bulletin of SibGUTI*. 2022;16(4):P. 80-95. – DOI 10.55648/1998-6920-2022-16-4-80-95. – EDN SGBSIH. (In Russ)
3. Savitsky, D.E. Detecting anomalies when processing streaming data in real time / D.E. Savitsky, M.E. Dunaev, K.S. Zaitsev. *International Journal of Open Information Technologies*. 2022;10(6):70-76. – EDN IGAWAO. (In Russ)
4. Terskikh, M. G. Detection of anomalous user behavior in Windows security event logs using machine learning algorithms / M. G. Terskikh, E. M. Tishina. *Theory and practice of modern science*. 2018; 5(35): 821-839. – EDN UYMTHC. (In Russ)
5. Dynamic user authentication based on analysis of work with a computer mouse / A. V. Berezniker, M. A. Kazachuk, I. V. Mashechkin [etc.]. *Bulletin of Moscow University. Episode 15: Computational mathematics and cybernetics*. 2021; 4: 3-16. – EDN XIQNZ. (In Russ)
6. Tokarev, D. M. Anomaly detection based on machine learning using a combination of K-MEAN and SMO algorithms / D. M. Tokarev, M. G. Gorodnichev. *Telecommunications and information technologies*. 2023; 10(1):5-13. – EDN ILCJZP. (In Russ)
7. Melnik, M. V. Detection of anomalous behavior of users and entities in container systems based on machine learning methods / M. V. Melnik, I. V. Kotenko. *Information security of regions of Russia (IBRR-2023): XIII St. -Petersburg interregional conference. Conference materials*, St. Petersburg, October 25–27, 2023. – St. Petersburg: St. Petersburg Society of Informatics, Computer Science, Communication and Control Systems, 2023: 97-98. – EDN QOBTZP. (In Russ)
8. N. Abe, B. Zadrozny, J. Langford. Outlier detection using active learning. In *Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, ACM Press, 2006: 504–509. (In Russ)
9. Safin, A. R. Detection of anomalous behavior of network traffic based on statistical methods using machine learning. *Information security and personal data protection. Problems and ways to solve them: Materials of the XIII Interregional Scientific and Practical Conference*, Bryansk, April 30, 2021. – Bryansk: Bryansk State Technical University, 2021: 228-231. – EDN UDRGDA. (In Russ)
10. Asuncion, D. Newman. UCI Machine Learning Repository, 2007. (In Russ)

Сведения об авторах:

Кечеджиев Александр Сергеевич, магистрант кафедры «Вычислительные системы и информационная безопасность»; Kechedzhiev.alex@mail.ru

Цветкова Ольга Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительные системы и информационная безопасность»; olga_cvetkova@mail.ru

Information about authors:

Alexander S. Kechedzhiev, Master's Student, Department of Computer Systems and Information Security; Kechedzhiev.alex@mail.ru

Olga L. Tsvetkova, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Computer Systems and Information Security; olga_cvetkova@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 16.12.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 17.01.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 17.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК519.677



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-113-122 Оригинальная статья /Original article

Применение генетического алгоритма для оптимизации процесса
автоматической генерации тестовых шаблонов

В.И. Кураедов

Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники,

124498, г. Москва, г. Зеленоград, Площадь Шокина, дом 1, Россия

Резюме. Цель. Всесторонняя проверка интегральных схем имеет решающее значение для предотвращения дорогостоящих ошибок и задержек в цикле разработки продукта. Это включает в себя тестирование взаимодействия и совместимости всех различных компонентов, составляющих микросхему, таких как центральный процессор, память и различные периферийные устройства. Для проверки соответствия интегральной схемы всем функциональным требованиям необходимо около 70% от всего времени проектирования. Очевидной задачей, которая стоит перед производителями интегральных схем, является исследование и разработка методов снижения сложности проектирования и сокращения сроков их изготовления. Необходимо исследовать возможность применения генетического алгоритма для оптимизации процесса ATPG при проектировании интегральных схем и предложить новый метод для тестирования сбоев перекрестных помех. **Метод.** Проведены исследования в области применения генетического алгоритма для своевременного обнаружения ошибок, которые могут повлечь брак готового изделия. **Результат.** Получены данные о количестве жертв и целевых ошибок для всех сбоев типа stuck-at-0 и stuck-at-1 для схем из наборов ISCAS'85 и ISCAS'89. Обнаружено, что предлагаемый метод эффективнее по сравнению со случайными векторами для различных эталонных схем в зависимости от количества обнаруженных целевых сбоев. **Вывод.** Полученные результаты позволяют использовать представленный алгоритм в процессе проектирования ИС, позволив сократить время, затрачиваемое на тестирование и улучшить качество тестовых решений.

Ключевые слова: дефект, логические схемы, ATPG, генетический алгоритм, stuck-at-fault, тестовое покрытие

Для цитирования: В.И. Кураедов. Применение генетического алгоритма для оптимизации процесса автоматической генерации тестовых шаблонов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):113-122. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-113-122

Applying Genetic Algorithm for test pattern generation process optimization

V.I. Kuraedov

National Research University "Moscow Institute of Electronic Technology",

1 Shokin Square, Moscow, Zelenograd 124498, Russia

Abstract. Objective. Comprehensive integrated circuit (IC) verification plays a crucial role in preventing costly errors and delays in product development cycle. It includes testing interaction and compatibility of different system elements, such as central processing unit, memory and various peripheral devices. Validating IC's compliance to the functional requirements list may take up to 70% of the design process duration. This proportion grows with complexity and size of the device under development. Consequently, the essential tasks that integrated circuit developers face are research and development of methods for cutting design complexity and reducing implementation time. **Method.** Conducted research regarding usage of genetic algorithm for error discovery, which could lead to a failure in the end product. **Result.** Collected data regarding the amounts of victims and target errors

for each fault of types stuck-at-0 and stuck-at-1 for circuits from ISCAS'85 and ISCAS'89 benchmarks. It has been discovered that the proposed method is more effective in comparison to random vector generation to an extent of target errors amount for every benchmark. **Conclusions.** Accumulated results allow for the algorithm usage during IC design in order to reduce time consumption for circuitry validation and improve on test kits quality.

Keywords: Faults, logical circuits, ATPG, genetic algorithm, stuck-at-fault, fault coverage

For citation: V.I. Kuraedov. Applying Genetic Algorithm for test pattern generation process optimization. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1): 113-122. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-113-122

Введение. В результате технологических достижений, которые привели к увеличению плотности микросхем, увеличению числа слоев межсоединений и улучшению временных характеристик, проверки только на статические stuck-at сбои становится недостаточно [1], и теперь также требуется иметь дело с физическими дефектами, которые влияют на временное поведение данной схемы. Различные источники шума, такие как перекрестные помехи и шум источника питания, оказывают значительное влияние на временные характеристики проектируемых систем [2]. Увеличение числа транзисторов в микросхеме приводит к одновременному переключению большего числа устройств, что приводит к помехам в источнике питания, что в свою очередь снижает уровни напряжения устройства и увеличивает задержку сигнала.

Постановка задачи. Электрически изолированные устройства могут создавать помехи друг другу, что приводит к функциональным проблемам. Одно из таких взаимодействий, вызванных паразитной связью между проводами, известно как перекрестные помехи [3]. Эти шумовые эффекты могут привести к сбоям в работе полностью проверенного чипа и снижению производительности изготовленной микросхемы. Существует два основных типа эффектов перекрестных помех: импульсы, вызванные перекрестными помехами [4], и задержка, вызванная перекрестными помехами. Тип эффекта перекрестных помех, рассматриваемый в этой статье, - задержка, вызванная перекрестными помехами. Задержка перекрестных помех возникает, когда две линии, линия агрессора и линия жертвы, имеют одновременные или почти одновременные переключения сигналов, которые могут вызвать нежелательные эффекты, включая сбои, увеличение или уменьшение задержки сигнала. Если обе линии проходят в одном направлении, эффективная задержка уменьшается, что приводит к перекрестным помехам ускорения. Если агрессор и жертва перемещают сигнал в противоположном направлении, то задержка увеличивается, что приводит к перекрестным помехам замедления. У разработчика есть два варианта устранения ошибок, вызванных перекрестными помехами: либо путем изменения размера источника, экранирования соединительных линий и перенаправления сигналов, либо путем разработки методов генерации тестов на перекрестные помехи [5]. Разработчики часто выбирают последний вариант, поскольку переделывание готового дизайна может быть коммерчески затратным.

Методы исследования. В этой статье описывается метод генерации тестовых последовательностей на основе генетического алгоритма [6] для сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами. Эксперименты проводились на эталонных схемах из наборов ISCAS'85 и ISCAS'89 [7]. Генетический алгоритм генерирует варианты тестовых векторов, а средство моделирования сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами вычисляет пригодность вариантов тестовых векторов.

Количество перекрестных помех между всеми возможными комбинациями линий-агрессоров и линий-жертв очень велико, и их непрактично обнаруживать в больших сложных цепях [8]. Некоторые сбои не могут быть протестированы или в их тестировании нет необходимости. Следовательно, уменьшенный набор сбоев задержек, вызванных

перекрестными помехами, определяется статическим временным анализом схемы. Количество критических путей и линий, которые лежат на критическом пути, вычисляются с использованием топологической информации и временной информации. Затем получаются списки целевых сбоев, которые меньше набора всех возможных комбинаций сбоев.

Алгоритм расчета сокращенного целевого списка сбоев таков:

1. Вычисляется самое позднее и самое раннее время перехода для каждой линии.
2. По максимальному значению самого позднего времени перехода определяется самый длинный путь (критический путь). Находятся строки в самом длинном пути. Они формируют набор линий-жертв.
3. Окно синхронизации выбранной линии-жертвы сопоставляется с окном синхронизации линии-агрессора, и если у окон имеется наложение, то выбранная пара линий агрессора и жертвы добавляется в список целевых сбоев. Список входных сбоев для системы моделирования представляет собой сокращенный набор целевых сбоев.

Учитывая последовательность тестовых векторов в качестве входных данных, задача системы моделирования сбоев состоит в том, чтобы определить, какие из этих сбоев обнаружены. Обнаруженные сбои - это те, которые вызывают логическую ошибку, то есть сбой на внешних выходах [9]. Также отмечается эффект задержки на выходе. Система моделирования сбоев способна обнаруживать сбои типа «несколько агрессоров»/«одиночная жертва».

Моделирование сбоев на основе автоматической генерации тестовых шаблонов (Automatic Test Pattern Generation (ATPG)) включает [10]:

1. Моделирование исправной схемы для случайных векторов.
2. Считывание сбоя из списка сбоев.
3. Моделирование схемы для активации сбоя для каждого вектора.
4. У жертвы и агрессоров направление движения сигналов должно быть противоположным. Тогда сбой активируется.
5. Внесение неисправности, задерживая только жертву на временной шаг, равный единице задержки. Другие события исполняются как обычно для исправной схемы. Продолжайте моделирование до конца времени симуляции.
6. Сравнение значения на всех внешних выходах и последовательных входах с исправной схемой.
7. Если исправная и неисправная цепи различаются, то обнаруживается сбой, и пары, включающие жертву и активированные агрессоры удаляются из списка сбоев.
8. Повторение данных шагов для всех сбоев в списке сбоев.

На рис. 1 путем статического временного анализа было обнаружено, что схема на примере состоит из шести самых длинных путей, а именно: [3, 7, 10, 14], [4, 7, 10, 14], [3, 7, 10, 15], [3, 7, 11, 15], [4, 7, 10, 15] и [4, 7, 11, 15]. Набор жертв - [3, 4, 7, 10, 11, 14, 15]. Общее количество целевых сбоев перекрестных помех для схемы равно 42. На первичные входы логической схемы подаются два набора данных (00001, 01000). Набор агрессоров /жертв, принимаемый к рассмотрению, таков: [6, 7, 11, 14, 15/10].

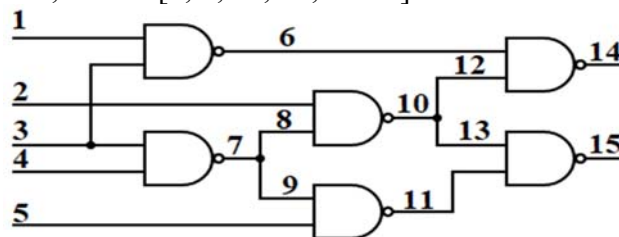


Рис. 1. Схема для выявления сбоев путём статического временного анализа

Fig. 1. Circuit for fault detection using static timing analysis

Агрессоры (11) и (14) активированы. Следовательно, жертва (10) получает задержку в одну единицу в логическом конусе. На (15) наблюдается сбой, а на (14) наблюдается эффект

задержки. Активированные агрессоры удаляются из списка сбоев.

Другие агрессоры учитываются при следующем тестировании. Неисправности считываются из списка сбоев, и выполняется моделирование сбоев. Весь процесс повторяется для всех тестовых векторов в наборе тестов.

В области тестирования СБИС генетические алгоритмы успешно используются при тестировании сбоев вентильной задержки и ошибок типа stuck-at-0 и stuck-at-1 [11]. Простота, надежность, эффективность и результативность генетического алгоритма делают его многообещающим инструментом для сложных систем. Он поддерживает набор потенциальных решений, называемых строками или хромосомами. Каждая строка связана со значением пригодности, определяемым пользовательской функцией пригодности.

На рис. 2 показана блок-схема генетического алгоритма.



Рис. 2. Блок-схема генетического алгоритма

Fig. 2. Genetic algorithm flow-chart

Он начинается с популяции, обычно генерируемой случайным образом [12], и эволюционного процесса, который состоит из этапов размножения, скрещивания и мутации и используется для создания совершенно новой популяции из уже существующей. Новая популяция и существующая популяция конкурируют за членство в очередном поколении. Отбор хромосом для новой популяции регулируется стратегией замещения. Старая популяция не учитывается. В результате отбора перекрестная мутация завершает цикл одного поколения. Генетический алгоритм прогрессирует через поколения, пока не будет достигнута цель, установленная пользователем, например фиксированное количество поколений.

Целью генерации теста для сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, является создание сокращенного набора тестов, который содержит как можно меньше тестовых векторов. По сути, это процесс, исследующий пространство пары тестовых векторов. Таким образом, генетический алгоритм можно использовать для оптимизации процесса исследования. Каждый тестовый вектор может рассматриваться как отдельный объект или строка.

Таким образом, мы можем рассматривать количество пар тестовых последовательностей как отдельную популяцию. Для оценки каждой пары тестовых векторов в популяции в любом поколении подходит система моделирования сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами. Алгоритм ATPG выполняется в два этапа. На первом этапе исходная совокупность

тестовых векторов и последовательностей генерируется псевдослучайным процессом. На втором этапе тестовые векторы эволюционируют на основе функции пригодности Блок-схема процесса ATPG, основанного на генетическом алгоритме, показана на рис. 3.



Рис. 3. Блок-схема процесса ATPG, основанного на генетическом алгоритме

Fig. 3. Flow-chart of ATPG process, based on GA

Используемая функция пригодности такова: $FIT = Num_faults$, (1)

где: Num_faults - количество обнаруженных сбоев.

На этом этапе на основе псевдослучайного процесса генерируются исходные последовательности, состоящие из N векторов. Для этих последовательностей происходит моделирование сбоев для сбоев из списка. Если последовательность обнаруживает сбой, то он удаляется из списка сбоев и соответствующая последовательность добавляется в набор решений. Если ни одна из последовательностей не обнаруживает сбоев, то в набор решений добавляется последняя последовательность, сгенерированная в соответствующем цикле. Этот процесс повторяется настраиваемое пользователем количество раз, называемое I_{max} . Блок-схема первой фазы показана на рис. 4.



Рис. 4. Блок-схема первой фазы процесса ATPG, основанного на генетическом алгоритме

Fig. 4. Flow-chart of the first phase of ATPG process, based on GA

Обсуждение результатов. Исходная популяция генетического алгоритма состоит из последовательностей, сгенерированных в первой фазе. Чтобы сгенерировать новую популяцию из существующей, отбираются две особи (родители) и скрещиваются для создания двух полностью отдельных особей (дочерних), и каждый дочерний вид мутирует с некоторой небольшой вероятностью мутации. Оператором выбора является выбор на основе ранга. При выборе на основе ранга решения сортируются в соответствии с их пригодностью от худшего (ранг 1) до лучшего (ранг N). Каждому элементу в отсортированном списке присваивается пригодность, равная рангу решения в списке. После этого применяется оператор пропорционального отбора с ранжированным значением пригодности, и выбираются лучшие решения для заполнения новой популяции. Предыдущая популяция исключается. Используемое скрещивание - одноточечное. Вероятность скрещивания равна 1, а вероятность мутации равна 0,01, данные значения используются для всех наборов. Количество поколений равно 8, чтобы сократить время выполнения. Во время тестовой генерации используется значение размера популяции, равное 16. Блок-схема для второй фазы представлена на рис. 5.

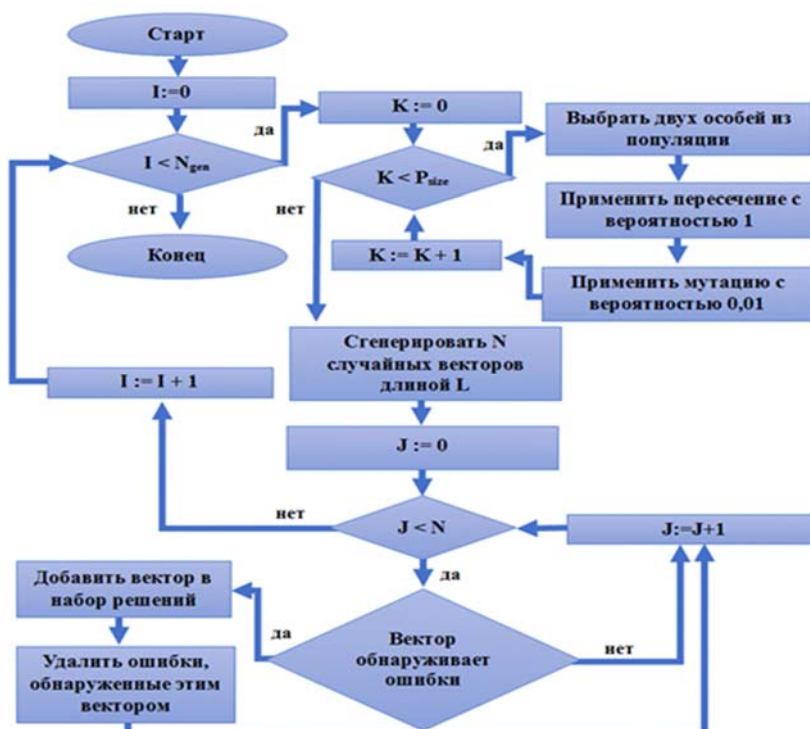


Рис. 5. Блок-схема второй фазы процесса ATPG, основанного на генетическом алгоритме
Fig. 5. Flow-chart of the second phase of ATPG process, based on GA

Система моделирования сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами и генератор тестов на основе генетического алгоритма реализованы в MATLAB [13] в среде LINUX. ATPG на основе случайной генерации векторов и на основе генетического алгоритма применяются к некоторым схемам из наборов ISCAS'85 и ISCAS'89.

В табл. 1 приведены характеристики данных схем. После названия схемы указано количество первичных входов и первичных выходов, количество вентилях, количество путей и количество критических путей. Пути всей схемы анализируются с использованием древовидной структуры данных. Общее количество путей в схеме вычисляется с использованием алгоритма поиска в глубину [14], который использует процедуру рекурсивного поиска. Критические пути - это пути, задержка которых превышает заданный процент от наибольшей задержки распространения в схеме. Выбор производится с использованием статического анализа синхронизации и заданной задержки вентиля. Предполагается, что задержка вентиля для статического анализа синхронизации составляет одну единицу измерения времени.

Таблица 1. Характеристики схем ISCAS'85 и ISCAS'89
Table 1. Circuit characteristics of ISCAS'85 and ISCAS'89 sets

Схема Scheme	Количество вентилей Number of valves	Количество входов Number of inputs	Количество выходов Number of outputs	Количество критических путей Number of critical paths	Количество результатирующих путей Number of resulting paths
S1494	647	14	25	1	976
S1488	653	14	25	1	962
S1238	508	32	32	30	3558
S1196	529	32	32	9	3097
S820	289	23	24	11	492
S526	193	24	27	1	410
S510	211	25	13	1	369
S420.1	218	34	17	1	474
C386	159	13	13	10	207
S349	161	24	26	1	365
S344	160	24	26	1	355
S298	119	17	20	1	231
S208.1	104	18	9	1	142
S208	96	19	10	2	145
S27	10	7	4	6	28
C880	383	60	26	92	8642
C449	202	41	32	14	9440
C432	160	36	7	2199	83926
C17	6	5	2	6	11

В табл. 2 показано покрытие сбоев, вызванных перекрестными помехами, полученное для нескольких эталонных схем.

Таблица 2. Эффект сбоя на первичном выходе
Table 2. Fault effect on the primary output

Схема Scheme	Количество целевых ошибок Number of target errors	Количество жертв Number of victims	Эффект сбоя на первичном выходе в зависимости от типа ATPG Effect of primary output		Процессорное время, (с) Processor time, (s)
			Случайная Random	Генетический алгоритм Genetic algorithm	
S1494	4283	18	4280	4282	45.03
S1488	4305	18	4302	4304	29.76
S1238	5822	45	2764	4556	20.36
S1196	10630	55	5791	9150	20.03
S820	7738	43	7362	7728	11.61
S526	891	10	729	886	4.21
S510	1098	13	1091	1098	4.76
S420.1	1276	14	927	1257	4.05
C386	4195	49	4152	4189	2.45
S349	1197	21	1192	1196	7.56
S344	1190	21	1185	1189	7.53
S298	537	10	532	533	2.32
S208.1	558	12	371	512	1.26
S208	743	18	559	726	1
S27	74	10	70	72	0.03
C880	9279	70	5722	8922	24.68
C449	21879	207	17937	20806	22.7
C432	9327	103	6629	7918	125.35
C17	42	7	42	42	0.2

Эффект сбоя на первичном выходе показывает количество сбоев, для которых на

первичном выходе был замечен эффект задержки, вызванный перекрестными помехами.

Обнаруженные сбои - это те, которые вызывают логическую ошибку на первичном выходе. Поскольку для больших цепей нецелесообразно тестировать все сбои, сокращенный набор целевых сбоев рассчитывается путем выбора жертв, которые находятся на критическом пути, и для каждого сбоя временное окно агрессор-жертва должно накладываться. Входной список сбоев для каждой цепи состоит из каждой комбинации пар одиночный агрессор/одиночная жертва. Предполагается, что вентили имеют единичную задержку, и вводимое значение задержки перекрестных помех также предполагается равным единице времени.

В табл. 2 для схем с449 и с880 показано, что 95% сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, приводили к задержке на первичном выходе. Для 13 из 15 схем из набора ISCAS'89 98% сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, приводили к задержке на первичном выходе. Схемы s1196, s1238 и c432 с критическими путями длиной 9, 30 и 2199, соответственно, вызвали эффект задержки только для 86%, 78,2% и 84,8% сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, соответственно. Это может быть связано с тем фактом, что основой для нахождения критических путей и устранения целевых сбоев является статический временной анализ, который не учитывает ложные пути.

В табл. 2 количество сбоев, обнаруженных с использованием ATPG на основе генетического алгоритма, было намного больше, чем при использовании случайных векторов для 17 из 19 протестированных эталонных схем. При работе со случайными векторами количество обнаруженных сбоев составило около 70% для схем с432 и с449, а для с880 охват сбоев составил 48%. Также при использовании случайных векторов количество обнаруженных сбоев составило от 24% до 66% для 10 схем из набора ISCAS'89.

Низкий охват отказов не является чем-то необычным, поскольку из-за противоречивых логических условий возникает множество сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, которые невозможно распознать или распространить на первичный выход. Более того, введенная единичная задержка может быть недостаточной, чтобы вызвать логическую ошибку на первичном выходе. Для большинства тестовых схем были получены компактные тестовые векторы. Время выполнения центрального процессора, показанное в табл.2, является временем генерации тестов на основе генетического алгоритма. Оно было немного выше для более крупных схем.

График, показанный на рис. 6, дает сравнительную диаграмму, показывающую эффективность генетического алгоритма по сравнению со случайными векторами для различных эталонных схем в зависимости от количества обнаруженных целевых сбоев.

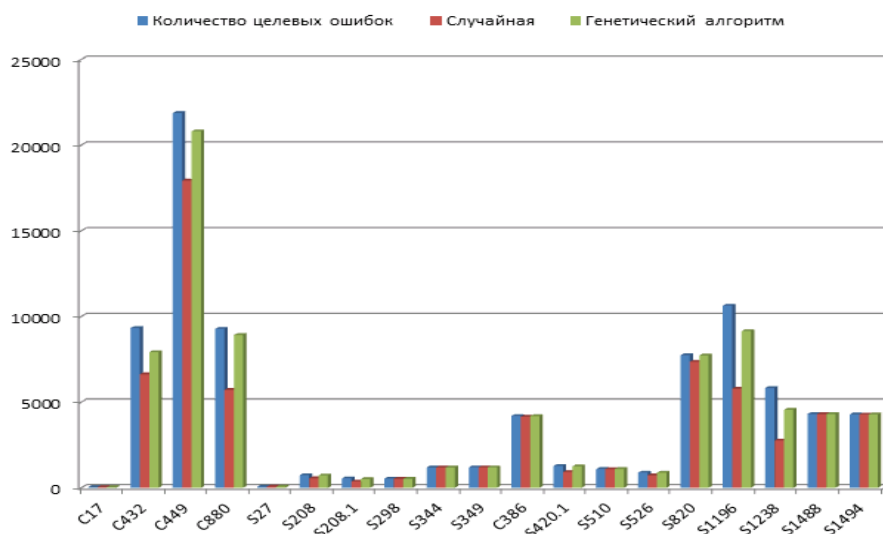


Рис. 6. Сравнение эффективности разных подходов ATPG для различных схем
Fig. 6. Comparison of different ATPG approaches for various circuits

Вывод. Повышенная плотность проектирования в субмикронных интегральных схемах приводит к более значительным помехам между сигналами из-за емкостной связи или перекрестных помех, которые могут приводить к сбоям типа stuck-at-0 и stuck-at-1. Чтобы гарантировать производительность проектирования, методы ATPG должны учитывать, как перекрестные помехи влияют на задержки распространения сигналов.

В этой статье разработана система моделирования сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, с использованием генетического алгоритма. Избыточные сбои задержек, вызванные перекрестными помехами, которые никогда не влияют на производительность схемы, отфильтровываются.

Система моделирования сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, способна обнаруживать сбои типа n-агрессоров/одиночная жертва.

Представлены результаты для сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, которые приводят к эффекту задержки на первичном выходе, а также для тех, которые приводят к логической ошибке на первичном выходе. Проверки на эталонном наборе схем приводили к эффекту задержки при 72-99% сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами. Для сбоев задержек, вызванных перекрестными помехами, приводящих к логической ошибке на первичном выходе, метод обеспечил покрытие сбоев от 48% до 72% на четырех схемах из набора ISCAS'85 и от 12% до 66% на 15 схемах из набора ISCAS'89.

Библиографический список:

1. S. Hasan, A.K. Palit, W. Anheier, Test pattern generation and compaction for crosstalk induced glitches and delay faults, in Proceedings of the 23rd International Conference on VLSI Design (2010).
2. S. Jayanthi, M.C. Bhuvaneshwari, S. Keesarapalli, Test generation for crosstalk-induced delay faults in VLSI circuits using modified FAN algorithm. VLSI Des. 2012. 2012;10 (Article ID 745861). <https://doi.org/10.1155/2012/745861>.
3. S. Jayanthi, M.C. Bhuvaneshwari, M. Prabhu, Simulation based ATPG for low power testing of crosstalk delay faults in asynchronous circuits. Int. J. Comput. Appl. Technol. 2013; 48(3): 241–252. ISSN: 1741-5047.
4. W. Chen, S. K. Gupta, and M. A. Breuer, "Analytic models for crosstalk delay and pulse analysis under non-ideal inputs," in Proceedings of the IEEE International Test Conference, November 1997; 809–818.
5. S. Chun, T. Kim, and S. Kang, "ATPG-XP: test generation for maximal crosstalk-induced faults," IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, vol. 28, no. 9, Article ID 5208481, 2009;28(9):1401–1413.
6. Darrel Whitley: A Genetic Algorithm Tutorial; November 10, 1993; Technical Report CS-93-103 (Revised); Department of Computer Science, Colorado State University, Fort Collins, US
7. D. Bryan, "The ISCAS'85 benchmark circuits and netlist format," North Carolina State University, vol. 25, 1985.
8. Pasca, V., Anghel, L. & Benabdenbi, M. Kth-Aggressor Fault (KAF)-based Thru-Silicon-ViaInterconnect Built -In Self-Test and Diagnosis. J Electron Test 2012; 817–829. <https://doi.org/10.1007/s10836-012-5322-3>.
9. Lee S., Cobb B., Dworak J., Grimaila M. R., Mercer M. R. A new ATPG algorithm to limit test set size and achieve multiple detections of all faults. Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition, 2002; 94-99. DOI: 10.1109/DATE.2002.998255.
10. M. Fujita, N. Taguchi, K. Iwata, and A. Mishchenko. Incremental atpg methods for multiple faults under multiple fault models. In Sixteenth International Symposium on Quality Electronic Design, 2015; 177–180.
11. Jutman A., Ubar R. Design error diagnosis in digital circuits with stuck-at fault model. Microelectron Reliab, Dec. 2000; 40(2):307–320.
12. Rudnick, E.M., Patel, J.H., Greenstein, G.S., Niermann, T.M.: A genetic algorithm framework for test generation. Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, IEEE Transactions on 1997; 16(9), 1034–1044.
13. Xue, D., Press, T.U. MATLAB Programming: Mathematical Problem Solutions. De Gruyter STEM. De Gruyter. 2020; 21.
14. Aggarwal, A.; Anderson, R. J. (1988), "A random NC algorithm for depth first search", Combinatorica, 8 (1): 1–12, doi:10.1007/BF02122548

References

1. S. Hasan, A.K. Palit, W. Anheier, Test pattern generation and compaction for crosstalk induced glitches and delay faults, in Proceedings of the 23rd International Conference on VLSI Design (2010).

2. S. Jayanthi, M.C. Bhuvaneswari, S. Keesarapalli, Test generation for crosstalk-induced delay faults in VLSI circuits using modified FAN algorithm. *VLSI Des.* 2012. 2012;10 (Article ID 745861). <https://doi.org/10.1155/2012/745861>.
3. S. Jayanthi, M.C. Bhuvaneswari, M. Prabhu, Simulation based ATPG for low power testing of crosstalk delay faults in asynchronous circuits. *Int. J. Comput. Appl. Technol.* 2013; 48(3): 241–252. ISSN: 1741-5047.
4. W. Chen, S. K. Gupta, and M. A. Breuer, "Analytic models for crosstalk delay and pulse analysis under non-ideal inputs," in *Proceedings of the IEEE International Test Conference*, November 1997; 809–818.
5. S. Chun, T. Kim, and S. Kang, "ATPG-XP: test generation for maximal crosstalk-induced faults," *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, Article ID 5208481, 2009;28(9):1401–1413.
6. Darrel Whitley: A Genetic Algorithm Tutorial; November 10, 1993; Technical Report CS-93-103 (Revised); Department of Computer Science, Colorado State University, Fort Collins, US
7. D. Bryan, "The ISCAS'85 benchmark circuits and netlist format," North Carolina State University, 1985; 25.
8. Pasca, V., Anghel, L. & Benabdenbi, M. Kth-Aggressor Fault (KAF)-based Thru-Silicon-ViaInterconnect Built - In Self- Test and Diagnosis. *J Electron Test* 28, 2012; 817–829. <https://doi.org/10.1007/s10836-012-5322-3>.
9. Lee S., Cobb B., Dworak J., Grimaila M. R., Mercer M. R. A new ATPG algorithm to limit test set size and achieve multiple detections of all faults. *Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition*, 2002; 94-99. DOI: 10.1109/DATE.2002.998255.
10. M. Fujita, N. Taguchi, K. Iwata, and A. Mishchenko. Incremental atpg methods for multiple faults under multiple fault models. In *Sixteenth International Symposium on Quality Electronic Design*, 2015; 177–180.
11. Jutman A., Ubar R. Design error diagnosis in digital circuits with stuck-at fault model. *Microelectron Reliab*, Dec. 2000; 40(2):307–320.
12. Rudnick, E.M., Patel, J.H., Greenstein, G.S., Niermann, T.M.: A genetic algorithm framework for test generation. *Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, *IEEE Transactions on* 1997; 16(9), 1034–1044.
13. Xue, D., Press, T.U. *MATLAB Programming: Mathematical Problem Solutions*. De Gruyter STEM. De Gruyter. 2020; 21.
14. Aggarwal, A.; Anderson, R. J. "A random NC algorithm for depth first search", *Combinatorica*, 1988; 8 (1): 1–12, doi:10.1007/BF02122548

Сведения об авторе:

Вадим Иванович Кураедов, аспирант, институт интегральной электроники имени академика К.А. Валиева (ИнЭл), vladimir96k@mail.ru

Information about author:

Vadim I. Kuraedov, Post-graduate Student, Institute of Integrated Electronics (InEl); vladimir96k@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 15.12.2023.

Одобрена после рецензирования / Reved 14.01.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 14.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.094



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-123-131

Обзорная статья / Review article

Проблемы подготовки специалистов в области информационной безопасности

И.И. Лившиц

Национальный исследовательский университет ИТМО,
197101, г.Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, Россия

Резюме. Цель. Проблема подготовки специалистов в области информационной безопасности представляется актуальной с учетом недостатка специалистов, способных оказывать противодействие новым угрозам. Объективно наблюдается существенный дефицит квалифицированных специалистов, которых могли бы подготовить технические ВУЗы Российской Федерации в самое ближайшее время. При решении указанной проблемы важно принять во внимание уровень качества выпускаемых специалистов и негативный риск от дистанционного режима обучения. **Метод.** В представленной работе предложен анализ потребностей в квалифицированных специалистах по программе 10.04.01 «Информационная безопасность» и статистический анализ выпускных квалификационных работ магистров факультета ФБИТ Университета ИТМО по итогам работы государственных экзаменационных комиссий 2023 г. **Результат.** Проведен анализ потребностей в квалифицированных специалистах в области информационной безопасности на основе доступных данных; показано, что при существующей динамике в ближайшее время не представляется возможным обеспечить необходимое количество квалифицированных специалистов без существенных изменений в ВУЗах. Проведен анализ ВКР магистров, обучающихся по программе 10.04.01 «Информационная безопасность» в аспекте поставленной проблемы: отражены примеры отличного выполнения работ для «индустрии» и риски выполнения типовых «шаблонных» работ. **Вывод.** Представленные результаты могут быть применены для оценки качества подготовки специалистов в области информационной безопасности в технических ВУЗах Российской Федерации в соответствии с известными потребностями, а также с учетом перспективных направлений.

Ключевые слова: программа обучения, компетенции, дистант, требования, информационная безопасность, специальность, меры защиты, риски, остаточные риски

Для цитирования: И.И. Лившиц. Проблемы подготовки специалистов в области информационной безопасности. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):123-131. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-123-131

Problems of training specialists in the field of information security

I.I. Livshits

National Research University ITMO,
49 Kronverksky Ave., St. Petersburg 197101, Russia

Abstract. Objective. The problem of training specialists in the field of information security seems relevant given the lack of specialists capable of countering new threats. Objectively, there is a significant shortage of qualified specialists who could be trained by technical universities of the Russian Federation in the very near future. When solving this problem, it is important to take into account the level of quality of the graduates and the negative risk from the distance learning mode. **Method.** The presented work proposes an analysis of the needs for qualified specialists in the program 10.04.01 “Information Security” and a statistical analysis of the final qualifying works of masters of the Faculty of FBIT of ITMO University based on the results of the work of state examination commissions in 2023. **Result.** An analysis of the needs for qualified information security specialists was carried out based on available data; It is shown that given the current dynamics, it is not possible in the near future to provide the required number of qualified specialists without sig-

nificant changes in universities. An analysis of the graduate work of masters studying under the 10.04.01 “Information Security” program was carried out in the aspect of the problem posed: examples of excellent performance of work for the “industry” and the risks of performing standard “template” work were reflected. **Conclusion.** The results can be used to assess the quality of training of specialists in the field of information security in technical universities in Russia.

Keywords: training program, competencies, distance learning, requirements, information security, specialty, protection measures, risks, residual risks

For citation: I.I. Livshits. Problems of training specialists in the field of information security. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):123-131. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-123-131

Введение. Современные организации применяют множество самых различных ИТ-систем, соответственно, критичное значение приобретает фактор обеспечения квалифицированным персоналом, способным обеспечить требуемый уровень информационной безопасности (далее – ИБ). Эта проблема известна в системе высшего образования, и в настоящее время экспертами предложено несколько путей решения: например, нанять готового квалифицированного специалиста, проводить собственное обучение или принимать молодых выпускников технических ВУЗов по соответствующим специальностям.

В статье рассматривается вариант подготовки квалифицированных специалистов в области ИБ в Университете ИТМО и методах оценки выпускных квалификационных работ (далее – ВКР). Рассмотренная проблема доступности нужного количества квалифицированного персонала подтверждается на уровне регуляторов, в частности в приказе Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (далее – ФСТЭК России) от 20.04.2023 № 69 «О внесении изменений в Требования к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционирования, утвержденные приказом ФСТЭК России от 21 декабря 2017 г. № 235». Полученные результаты могут быть применены для оценки качества подготовки специалистов в области ИБ в технических ВУЗах РФ в соответствии с текущими потребностями, а также с учетом перспективных направлений.

Постановка задачи. Известна позиция экспертов (например, Positive Technologies), что «недостаток квалифицированных кадров может приводить к пониженной эффективности систем». Аналогичные суждения приведены в докладе Центрального Банка России на «Инфофоруме-Сочи 2023» – объем средств, похищенных кибермошенниками в Российской Федерации с начала 2023 г., достиг 4,5 млрд. руб., по сравнению со средними значениями 2022 г. объем похищенных средств вырос почти на 30%.

В настоящее время работодатели реагируют вполне адекватно, в частности, существенно меняются приоритеты служб, но остаточный риск все же достаточно велик – доля компаний, которые объективно подтверждают нехватку кадров, выросла в 2023 г. до значения 50%. Соответственно, компании увеличивают расходы на собственное корпоративное обучение, например, крупнейшие компании, как правило, имеют собственные учебные центры. По данным Group-IB количество запросов на обучение специалистов выросло на 30% год, наибольший спрос наблюдается на обучение специалистов-практиков и технических специалистов. Оценки компании Positive Technologies более значительные – зафиксирован рост более чем на 70%.

Методы исследования. Рассмотрим более внимательно третий вариант решения проблемы – подготовку квалифицированных специалистов в технических ВУЗах РФ. Известны публикации по данной тематике [1- 4]. В докладах XXVIII научно-практической конференции «Комплексная защита информации» (г. Гомель, Республика Беларусь), проблеме обеспечения качества образования и выпуска специалистов в области ИБ уделялось особое внимание. В докладе директора ЦПК ИБ РТУ МИРЭА представлено описание про-

блемы подготовки кадров в области ИБ и значительное количество актуальных и объективных аналитических данных (рис. 1).



Рис. 1. Базовый показатель потребности в специалистах по ИБ
Fig. 1. Basic indicator of the need for information security specialists

На представленном рис. 1 показана слабая (в пределах 16% – 11%) линейная динамика показателя на интервале 2018 – 2023 гг., не в полной мере отражающая новые риски потребности в значительном увеличении количества специалистов по ИБ. Данные по контрольным цифрам приема (далее – КЦП) по направлению ИБ представлены на рис. 2. Важно, что совокупная возможность технических ВУЗов в Российской Федерации (бакалавры, магистры и специалисты) не превышает 9 тыс. человек по состоянию на 2022 г.

Подготовка по УГСНП 10.00.00 «Информационная безопасность»						
Контрольные цифры приема граждан на 2017 - 2022 г.						
Уровни образования	2017	2018	2019	2020	2021	1 этап 2022
Бакалавриат	2287	2379	2324	2890	3473	3556
Магистратура	953	999	566	608	615	712
Специалитет	3158	3264	3127	3743	4344	4381
Итого	6398	6642	6017	7241	8432	8649

Рис. 2. Контрольные цифры приема по специальностям ИБ
Fig. 2. Target numbers for admission to information security specialties

В рассматриваемом докладе приводится также экспертная оценка потребности в специалистах ИБ в 20 тыс. человек, что превышает представленные выше совокупные возможности системы ВУЗов в РФ минимум вдвое. Более того, дается экспертная оценка собственных возможностей ВУЗов по направлению подготовки кадров высшей квалификации – при ежегодной потребности в 670 чел. объемы подготовки составляют всего 16 чел., что составляет только 2,4%. В докладе ФСТЭК России приведены примеры разработанных видео-лекций для специалистов в области ИБ, которые размещены на собственных ресурсах БДУ ФСТЭК России и результаты анализа уровня квалификации специалистов по защите информации (рис. 3).



Рис. 3. Результаты анализа уровня квалификации специалистов по защите информации
Fig. 3. Results of analysis of the level of qualifications of information security specialists

Этот пример хорошо иллюстрирует особенности рассматриваемой проблемы – доля специалистов, не имеющих никакого образования в области ИБ, составляет в организациях, оказывающих услуги по защите информации всего 4,5%.

В области оборонно-промышленного комплекса доля специалистов, не имеющих образования в области ИБ, составляет 47,9%, что частично может быть уравновешено специалистами, прошедшими переподготовку в области ИБ (37%) и/или имеющих базовое образование в области ИБ (15%).

В сегменте органов исполнительной власти наблюдается, к сожалению минимальная доля специалистов, прошедших переподготовку в области ИБ (около 23%) и максимальная доля специалистов, не имеющих образования в области ИБ (около 62%).

Обсуждение результатов. Рассмотрим примеры исключительных и недостаточно успешных примеров ВКР по специальности 10.04.01 «Информационная безопасность» по итогам работы ГЭК факультета ФБИТ в Университете ИТМО за 2023 г.

Важно принять во внимание, что на полученные результаты негативное влияние оказали последствия дистанционного режима обучения, поскольку были существенно нарушены привычные коммуникации обучающихся и преподавателей ВУЗов. Этот тезис подтверждается достаточным количеством экспертных мнений, например, в аналитической статье [17] по итогам оценки результатов ЕГЭ в 2023 г. отмечено, цитата: «Эксперт уверена: это происходит в том числе потому, что московским школам удалось избежать падения уровня образования во время пандемии». Некоторые данные по дистанционному режиму обучения представлены в работах автора [5 – 7] и других исследователей [8 – 11].

Сначала предлагается рассмотреть некоторые не слишком успешные примеры ВКР, которые были своевременно выявлены при многоэтапной экспертизе на факультете ФБИТ и приведены в соответствие. Персональные данные все примеров скрыты по соображениям конфиденциальности.

Пример 1. В представленной на согласование ВКР по теме защиты станка с ЧПУ были две таблицы (табл.1 и табл.2), в которых были приведены типы активов, распределение ценностей этих активов по известной триаде «КДЦ» (конфиденциальность, доступность и целостность) и оценки степени уязвимостей на основании БДУ ФСТЭК [18], соответственно.

Таблица 1. Шкала ценности активов (фрагмент)
Table 1. Asset value scale (fragment)

Идентификатор актива/ Asset ID	Активы организации Organizational assets	Конфиденциальность Confidentiality (К)	Целостность Integrity (Ц)	Доступность Availability (Д)	Ценность актива Asset value
A	Физические машины/ Physical machines	–	3	4	4
B	Процессы/ Processes	2	4	4	4
C	Интеллектуальная собственность/ Intellectual property	2	2	1	2
D	Информация/ Information	2	3	2	3
E	Персонал / Staff	–	1	1	1
F	Место функционирования организации/ Place of operation of the organization	–	1	1	1
G	Сеть/ Net	–	3	4	4
H	Аппаратно-программный комплекс/ Hardware and software complex	–	3	4	4

Таблица 2. Степень уязвимости актива (фрагмент)
Table 2. Degree of asset vulnerability (fragment)

УБИ	Идентификатор актива Asset ID							
	A	B	C	D	E	F	G	H
6	–	–	–	–	–	–	1	2
7	–	–	–	–	–	–	2	2
8	–	–	–	1	–	–	1	1
30	–	–	–	1	–	–	1	2
31	–	–	–	1	–	–	1	1
34	–	–	–	–	–	–	3	–
63	–	–	–	–	–	–	–	3
69	–	–	–	–	–	–	1	–
107	3	2	2	–	1	1	–	–
112	3	2	2	–	1	–	–	–
122	–	2	–	–	2	–	–	–
183	3	2	2	–	1	–	–	–
204	3	2	–	–	2	–	–	–

При анализе данного примера обратим внимание на 3 обстоятельства:

1) Выбран пример организации, в активе которой есть станки с ЧПУ, соответственно, в состав активов включены и материальные активы («машины», «сеть», «программно-аппаратный комплекс»), так и нематериальные активы («интеллектуальная собственность» (тип С) и «персонал» (тип Е), соответственно);

2) Применена известная методическая база угроз БДУ ФСТЭК, конкретно для примеров активов тип С и тип Е выбраны:

- УБИ 107 – Угроза отключения контрольных датчиков;
- УБИ 112 – Угроза передачи запрещённых команд на оборудование с ЧПУ;
- УБИ 122 – Угроза повышения привилегий;
- УБИ 183 – Угроза перехвата управления АСУТП;
- УБИ 204 – Угроза несанкционированного изменения вредоносной программой значений параметров ПЛК.

3) Выполнена унифицированная оценка степени уязвимости активов по единой базе угроз БДУ ФСТЭК, в том числе для нематериальных активов (С и Е).

При более вдумчивом рассмотрении представленного проекта ВКР было обращено внимание, что для активов С и Е признаны актуальными УБИ 107, УБИ 112 и УБИ 183, а для актива Е (персонал) еще и УБИ 122 и УБИ 204. Сложно представить логику обучающего, которые полагает актуальной угрозой отключения контрольных датчиков или перехвата управления для персонала (человека, а не «железа»), обслуживающего станок с ЧПУ и уж совсем невозможно представить угрозу изменения вредоносной программой такого объекта, как «человек». Вполне вероятно, что подобная ситуация явилась прямым следствием дистанционного режима обучения, бездумного применения методических документов ФСТЭК России и непонимания «физики» процессов обеспечения безопасности для различных типов активов.

Пример 2. В одной ВКР, представленной на согласование, был предложен вариант расчета риска для незащищенной и защищенных систем (рис. 4)

1. Определяются вероятность появления угроз – P_{pi} и вероятность преодоления СЗИ – $P_{пр_i}$ с использованием экспертного метода;
2. Определяются возможные негативные последствия и оценивается их продолжительность по каждой угрозе информационной безопасности – NP_i ;
3. Осуществляется оценка риска для незащищенной и защищенной систем:
$$R_{незащ} = \sum_{i=1}^k P_{pi} * NP_i \quad (1),$$

$$R_{защ} = \sum_{i=1}^k P_{pi} * NP_i * P_{пр_i} \quad (2),$$
где k – количество угроз;
4. Рассчитываются уровни информационной защищенности для каждого бизнес-процесса:
$$Z_i = 1 - \frac{R_{защ_i}}{R_{незащ_i}} \quad (3);$$
5. Рассчитывается итоговый уровень информационной защищенности бизнес-процессов:
$$Z_{ит} = \sum_{i=1}^n p_i * Z_i \quad (4),$$
где n – количество бизнес-процессов, p_i – коэффициент значимости i -го бизнес-процесса.

Рис. 4. Пример расчета риска для незащищенной и защищенных систем
Fig. 4. Example of risk calculation for unprotected and protected systems

При анализе данной работы вызывает удивление размерность рассчитываемого риска. В соответствии с приведенными выше формулами, риск должен бы измеряться во времени (вероятность – величина безразмерная, а негативные последствия предложено измерять по времени продолжительности каждой угрозы). Более того, предложенные в варианте ВКР формулы дают весьма спорные результаты. Далее в табл. 3 показаны примеры расчета по предложенным формулам для нескольких «граничных» значений параметров.

Таблица 3. Пример расчета риска для незащищенной и защищенных систем

Table 3. Example of risk calculation for unprotected and protected systems

P_{n1}	P_{n2}	P_{np1}	P_{np2}	H_{n1}	H_{n2}	$P_{незаш}$	$P_{заш}$	Риск	Сценарий
0,6	0,4	0,1	0,2	10	12	10,8	1,56	0,86	Хорошие СЗИ и средние угрозы (неравные) /Good SZI and average threats (unequal)
0,5	0,5	0,5	0,5	10	12	11	5,5	0,50	Средние СЗИ и средние угрозы (равные)/ Average SZI and average threats (equal)
0,1	0,1	0,1	0,1	10	12	2,2	0,22	0,90	Хорошие СЗИ и низкие угрозы/ Good security information and low threats
0,1	0,1	0,9	0,9	10	12	2,2	1,98	0,10	Плохие СЗИ и низкие угрозы/ Poor security information and low threats
0,9	0,9	0,1	0,1	10	12	19,8	1,98	0,90	Хорошие СЗИ и высокие угрозы/ Good information security and high threats
0,9	0,9	0,9	0,9	10	12	19,8	17,82	0,10	Плохие СЗИ и высокие угрозы/ Poor information security and high threats

На графике (рис. 5) для нескольких простых сценариев объективно следует, что величина риска существенным образом должна бы зависеть только от «качества» работы применяемых мер защиты (варианты 4 и 6, где вероятность преодоления СЗИ принята равной 90%). В иных случаях (варианты 3 и 5), даже при «разбросе» вероятности реализации УБИ от 10% до 90% значение риска будет практически максимальным – 90% при заданных граничных условиях. Первые два варианта дают оценочное суждение при среднем уровне вероятности УБИ и, соответственно, средней и минимальной вероятности преодоления СЗИ.



Рис. 5. Пример оценки рисков при реализации УБИ

Fig. 5. Example of risk assessment when implementing UBI

Пример 3. В проект ВКР была предложена следующая формулировка, цитата: «Объективно, дать единое, точное и универсальное определение понятию «информация» в течение настоящего времени и ближайшего будущего в период, доступный для мысленного анализа, возможным не представляется.

Соответственно, выполнение каких-либо операций, направленных на взаимодействие с информацией как с отдельно взятой во времени и пространстве сущностью, то есть требующих выполнения работ не только с ее содержанием, но также и независимо от него, предполагает раскрытие данного понятия непосредственно в рамках исследуемой области человеческой деятельности». При обсуждении указанного проекта ВКР выяснилось, что помимо вольного изложения ничем не обоснованного предположения и иных весьма «оригинальных» фрагментов текста, практически отсутствуют минимальные знания в области нор-

мативно-методической базы, актуальных стандартов, содержащих необходимые термины и определения в области ИБ, нет основательных знаний в области оценки энтропийных процессов и требуемого навыка выполнения научных исследований.

Далее будут рассмотрены несколько наиболее выдающихся ВКР, которые заслуженно получили высший балл и были отмечены особо по итогам работы ГЭК факультета ФБИТ Университета ИТМО. На рис. 6 представлен пример сопоставления результатов расчета уровня полноты безопасности (далее – УПБ) при обеспечении функциональной безопасности конкретного семейства отечественных ПЛК. Особая ценность данного расчета заключается в простой и объективной форме представления реально достижимого УПБ для разных архитектур ПЛК в составе объектов КИИ.

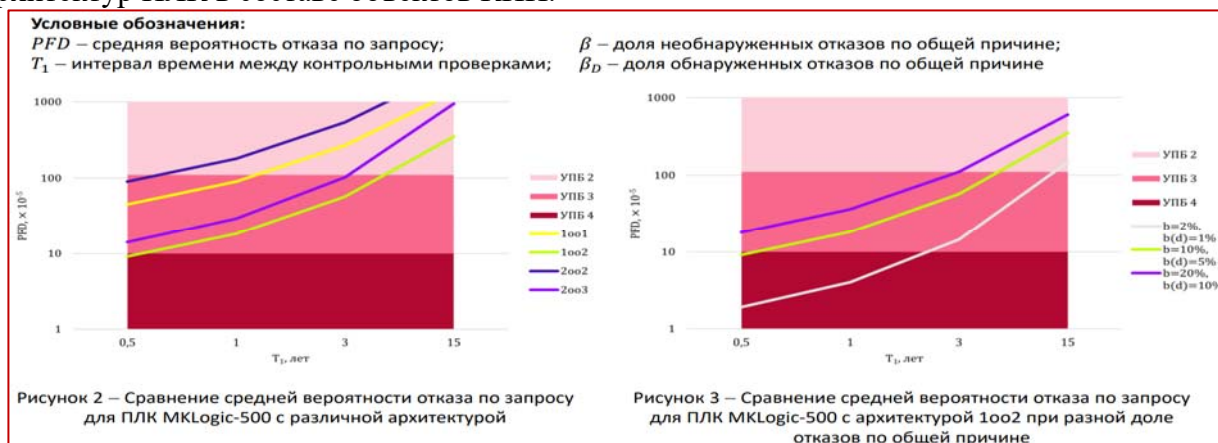


Рис. 6. Пример расчета уровня полноты безопасности
Fig. 6. Example of safety integrity level calculation

На рис. 7 представлен удачный пример эффективного применения математического аппарата для оценки различных методик контроля уровня защищенности.

Таблица 5 – Оценка по Парето различных вариантов для оценки защищенности объектов КИИ

Вектор оценок	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
$y^{(1)}$	2	2	1	1	2	2	3	2
$y^{(2)}$	2	3	2	1	3	4	3	3
$y^{(3)}$	3	4	2	2	4	4	5	4

Рис. 7. Пример математического обоснования методик контроля уровня защищенности
Fig. 7. An example of mathematical substantiation of methods for monitoring the level of security

Выполнено математическое обоснование методики контроля уровня защищенности информации:

- $y^{(1)}$ – оценка (анализ) защищенности (требования: проекты методики ФСТЭК России);
- $y^{(2)}$ – оценка состояния защиты информации (обеспечения безопасности) в органе (организации) (требования: проект методики ФСТЭК России);
- $y^{(3)}$ – методика контроля уровня защищенности информации объектов КИИ (требования: документы ФСТЭК России, дополнительные международные стандарты и методики).

Полученные результаты объективно позволяют оценивать текущие и перспективные методики контроля уровня защищенности информации. Можно отметить, что подобные расчеты известны и в международных публикациях, но их число невелико [12 – 16].

На рис. 8 представлен хороший пример цифровой интерпретации численных показателей оценки уровня ИБ для различных мер защиты в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО/МЭК серии 27001. Представленный пример позволяет оперативно отображать в собственном программном продукте результаты вдумчивого анализа нескольких вариантов реализации мер ИБ (например, по требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК серии 27001 или Приказа

ФСТЭК России №239). В ВКР отмечено, как подобная практика была применена на реальных проектах по оценке степени соответствия «боевых» систем.



Рис. 8. Пример расчета показателей оценки уровня ИБ

Fig. 8. An example of calculating indicators for assessing the level of information security

Вывод. Проблема увеличения качества квалифицированных специалистов по направлению ИБ представляется особенно актуальной с учетом известных инцидентов компрометации ИТ-инфраструктуры крупных компаний. По оценкам экспертов в настоящее время наблюдается дефицит доступных квалифицированных специалистов, и критическая ситуация с возможностью технических ВУЗов Российской Федерации увеличить выпуск специалистов. Проведен анализ ВКР магистров, обучающихся в Университете ИТМО по программе 10.04.01 «Информационная безопасность» в аспекте поставленной проблемы. Представленные результаты могут быть применены для оценки качества подготовки квалифицированных специалистов в области ИБ в ВУЗах Российской Федерации.

Библиографический список:

- Курило А.П. Реализация в МЛГУ новых стандартов обучения по специальности «Информационной безопасности». В книге: Комплексная защита информации. Материалы XXVI научно-практической конференции. Ответственный за выпуск Касанин С. Н. - доцент, канд. техн. наук. 2021. С. 162-164.
- Давудов Д.А., Ханова Т.С. Актуальные вопросы обучения студентов ВУЗов основам информационной безопасности в области защиты прав интеллектуальной собственности // Вестник педагогических наук. 2020. № 3. С. 104-111.
- Влацкая И.В., Джукашев К.Р. Эффективное обучение программированию специалистов информационной безопасности в условиях импортозамещения // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 3. С. 184-188.
- Малюк А.А., Малюк З.П. Актуальные вопросы создания систем массового обучения культуре информационной безопасности//Безопасность информационных технологий. 2021. Т. 28. № 4. С. 6-21.
- Лившиц И.И. Управление качеством в дистанционном режиме обучения на примере практики в Университете ИТМО // Менеджмент качества. 2022. № 1. С. 68-77.
- Лившиц И.И. Результаты применения воронки рисков в полном дистанционном режиме обучения // Энергобезопасность и энергосбережение. 2021. № 2. С. 46-50.
- Лившиц И.И. Дистанционный формат обучения: риски и возможности // Стандарты и качество. 2020. №10. С. 102-107.
- Гавриленко А.В. Дистанционное обучение и информационная безопасность // Вестник РГГУ. Серия: Информатика. Информационная безопасность. Математика. 2021. № 1. С. 51-65.
- Базаргулов Э.Э., Докторов О.П. Обеспечение информационной безопасности при дистанционном обучении // В сборнике: Наука и техника: новые вызовы современности. Сборник статей IV Международной научно-практической конференции. г. Москва, 2022. С. 9-12.
- Стеньшина Т.Д. Разработка модели информационной безопасности для дистанционного обучения в ВУЗе // Студенческий вестник. 2022. № 23-9 (215). С. 46-50.
- Бурховецкая О.В., Кузина Н.Н. Обеспечение информационной безопасности при переходе на дистанционное обучение // Вопросы педагогики. 2020. № 6-2. С. 55-57.

12. Kweon E., Lee H., Chai S., Yoo K. The utility of Information security training and education on cybersecurity incidents: An empirical evidence. *Information Systems Frontiers*. 2021. T. 23. № 2. C. 361-373.
13. Yang G., Dineen S., Lin Z., Liu X. Few-sample named entity recognition for security vulnerability reports by fine-tuning pre-trained language model. *Communications in Computer and Information Science*. 2021. T. 1482. C. 55-78.
14. Weatherford D.R., Roberson D., Erickson W.B. When experience does not promote expertise: Security professionals fail to detect low prevalence fake IDS. *Cognitive Research*. 2021. T. 6. № 1. C. 1-27.
15. Liu P., Xu X., Wang W. Threads, attacks and defenses to federate learning: Issues, taxonomy and perspectives. *Cybersecurity*. 2022. T. 5. № 1. C. 1-19.
16. Qammar A., Ding J., Ning H. Federated learning attack surface: Taxonomy, cyber defenses, challenges and future directions. *Artificial Intelligence Review*. 2022. T. 55. № 5. C. 3569-3606.
17. https://www.kommersant.ru/doc/6111520?from=glavnoe_3
18. <https://bdu.fstec.ru/threat>

References

1. Kurilo A.P. Implementation of new training standards in the specialty "Information Security" at MLSU. In the book: Comprehensive information protection. Materials of the XXVI scientific and practical conference. Responsible for the issue is Kasanin S.N. - Associate Professor, Candidate of Sciences. tech. Sci. 2021; 162-164. (In Russ)
2. Davudov D.A., Khanova T.S. Topical issues of teaching university students the basics of information security in the field of protection of intellectual property rights. *Bulletin of Pedagogical Sciences*. 2020; 3:104-111. (In Russ)
3. Vlatkaya I.V., Dzhukashev K.R. Effective programming training for information security specialists in the conditions of import substitution. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 2023; 3:184-188. (In Russ)
4. Malyuk A.A., Malyuk Z.P. Topical issues of creating systems for mass training in the culture of information security. *Security of information technologies*. 2021; 28(4): 6-21(In Russ)
5. Livshits I.I. Quality management in distance learning based on the example of practice at ITMO University. *Quality Management*. 2022; 1: 68-77. (In Russ)
6. Livshits I.I. Results of using the risk funnel in full distance learning mode. *Energy safety and energy saving*. 2021; 2: 46-50. (In Russ)
7. Livshits I.I. Distance learning format: risks and opportunities. *Standards and quality*. 2020;10: 102-107. (In Russ)
8. Gavrilenko A.V. Distance learning and information security. *Bulletin of the Russian State University for the Humanities. Series: Computer Science. Information Security. Mathematics*. 2021;1:51-65. (In Russ)
9. Bazargulov E.E., Doktorov O.P. Ensuring information security during distance learning. *In the collection: Science and technology: new challenges of modern time*. Collection of articles of the IV International Scientific and Practical Conference. Moscow, 2022: 9-12. (In Russ)
10. Stenshina T.D. Development of an information security model for distance learning at a university. *Student Bulletin*. 2022; 23-9 (215): 46-50. (In Russ)
11. Burkhovetskaya O.V., Kuzina N.N. Ensuring information security during the transition to distance learning. *Questions of pedagogy*. 2020; 6-2.: 55-57.
12. Kweon E., Lee H., Chai S., Yoo K. The utility of Information security training and education on cybersecurity incidents: An empirical evidence. *Information Systems Frontiers*. 2021; 23(2):361-373.
13. Yang G., Dineen S., Lin Z., Liu X. Few-sample named entity recognition for security vulnerability reports by fine-tuning pre-trained language model. *Communications in Computer and Information Science*. 2021; 1482:55-78.
14. Weatherford D.R., Roberson D., Erickson W.B. When experience does not promote expertise: Security professionals fail to detect low prevalence fake IDS. *Cognitive Research*. 2021; 6(1):1-27.
15. Liu P., Xu X., Wang W. Threads, attacks and defenses to federate learning: Issues, taxonomy and perspectives. *Cybersecurity*. 2022; 5(1):1-19.
16. Qammar A., Ding J., Ning H. Federated learning attack surface: Taxonomy, cyber defenses, challenges and future directions. *Artificial Intelligence Review*. 2022.;55(5):3569-3606.
17. https://www.kommersant.ru/doc/6111520?from=glavnoe_3
18. <https://bdu.fstec.ru/threat>

Сведения об авторе:

Лившиц Илья Иосифович, доктор технических наук, профессор практики, Livshitz.i@yandex.ru

Information about author:

Лившиц И. Иосифович, Др. Техн. Наук, Проф. практики; Livshitz.i@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 30.09.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 19.12.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 19.12.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 338.3:621.391:[004.5+004.67]



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-132-141

Оригинальная статья /Original article

**Об оценке групповых аспектов влияния человеческого фактора
на безопасность технических систем**

Д.И. Лобач

Департамент по ядерной и радиационной безопасности
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь,
220030, г. Минск, ул. Берсона, 16, Беларусь

Резюме. Цель. Целью теоретических исследований является необходимость сформулировать и описать дополнительные подходы и актуальную проблематику вопросов и задач при проведении экспертной оценки групповых (коллективных) аспектов влияния человеческого фактора на безопасность технических систем. **Метод.** В работе рассмотрена методология оценки на основании использования распределения Гаусса для статистического описания случаев влияния человеческого фактора на безопасность, показана связь индивидуальных и групповых аспектов. **Результат.** Приведены примеры и даны пояснения для применения количественной оценки влияния человеческого фактора на безопасность технических систем с учётом рассмотрения культуры безопасности, разного уровня профессионализма работников, предпринимаемых организационных мер, сформулированы возможности метода и его потенциальные задачи. **Вывод.** Применение статистических распределений для описания влияния человеческого фактора на безопасность позволяет объединить и описать связь индивидуальных и групповых аспектов явления. Это даёт возможность эксперту проводить количественные оценки, моделирование и делать прогнозы по вопросам уровня культуры безопасности в организации и эффективности управления производством или техническими системами.

Ключевые слова: уровень безопасности, человеческий фактор, сэйфеометрика, прогноз, культура безопасности, распределение Гаусса, профессионализм, управление, моделирование

Для цитирования: Д.И. Лобач. Об оценке групповых аспектов влияния человеческого фактора на безопасность технических систем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024;51(1):132-141. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-132-141

**About the Assessment of Group aspects of the Human factor influence on Safety
of Technical systems**

D.I. Lobach

Department on Nuclear and Radiation Safety
of Ministry on Emergency Situations of the Republic of Belarus,
16 Bersona St., Minsk 220030, Belarus

Abstract. Objective. The purpose of theoretical research is the need to formulate and describe additional approaches and topical issues and tasks when conducting an expert assessment of group (collective) aspects of the human factor's influence on the safety of technical systems. **Method.** The paper considers the methodology of assessment based on the use of the Gauss distribution for the statistical description of cases of the influence of the human factor on safety, shows the relationship between individual and group aspects. **Result.** Examples are given and explanations are given for the application of a quantitative assessment of the influence of the human factor on the safety of technical systems, taking into account the consideration of safety culture, different levels of professionalism of employees, organizational measures taken, the possibilities of the

method and its potential tasks are formulated. **Conclusion.** The use of statistical distributions to describe the impact of the human factor on safety makes it possible to combine and describe the relationship between individual and group aspects of the phenomenon. This allows the expert to carry out quantitative assessments, modeling and make predictions on the level of safety culture in the organization and the effectiveness of production management or technical systems.

Keywords: safety level, human factor, safeometrics, prognosis, safety culture, Gauss distribution, professionalism, management, modeling

For citation: D. I. Lobach. About the assessment of group aspects of the human factor influence on safety of technical systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):132-141. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-132-141

Введение. Для проведения всестороннего анализа и оценки уровня безопасности технической системы (далее – ТС) важно уделять внимание событиям, которые происходят вследствие влияния случайных действий персонала (работников, специалистов организации). Это на практике представляет собой проявление человеческого фактора (далее – ЧФ) и имеет индивидуальный (персональный) и групповой (коллективный) аспекты. ЧФ оказывает совокупное качественное воздействие на состояние безопасности ТС, изменяет качественные и количественные характеристики уровня безопасности (которая, например, достигнута, оценена или является проектной или минимальной для функционирования рассматриваемой технологии) [1].

Комплексное воздействие человека или группы (коллектива) работников на ТС, технологии формируют сущность концепции – культура безопасности (далее – КБ). К настоящему времени это понятие является общепризнанным [2-4]. КБ может быть как персональная, так и организационная, как индивидуальная, так и коллективная и т.п.. В него входит проявление различных особенностей влияния ЧФ, которым уделяется внимание при рассмотрении. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и различные организации атомной промышленности наиболее активно участвуют в изучении и развитии этой проблематики воздействия ЧФ на ТС, формирование на фоне этого в организации КБ с разными свойствами [5-7].

Постановка задачи. Индивидуальное проявление влияния ЧФ у работников трудно контролировать, оно носит случайный характер. Следует использовать любые возможности для того, что провести прогноз этого явления. Накопленные персональные эффекты ЧФ являются следствием определённой сложившейся рабочей атмосферы в организации – организационной КБ [5].

Основная задача работы эксперта при оценке группового (коллективного) проявления ЧФ, его влияния на безопасность ТС – установить, где и как это происходит, по какой причине, выработать компенсационные меры и предложить руководству организации действенные рекомендации по учёту ЧФ для конкретной, рабочей специфики, особенностей, сделать прогноз последствий. В настоящей работе предложен вспомогательный полуэмпирический подход для проведения такой экспертной работы основанной на аналогиях с методологиями хеометрики. Это осуществляется в рамках реализации концепции сэйфеометрики, базирующийся на применении подходящих закономерностей и методов математической статистики и теории вероятности в сфере оценки состояния безопасности ТС [8,9].

Методы исследования. Особенности методологии оценки групповых аспектов влияния ЧФ на безопасность ТС. В проводимых рассмотрениях проблематики полагаем, что возникновение случая влияния ЧФ – это случайное событие, среднее число ЧФ в единицу времени не зависит от него (времени). Можно оценить распределение влияния ЧФ относительно базового уровня безопасности, предусмотренного проектом ТС с использованием закономерностей математической статистики и теории вероятностей [10-12].

Важно отметить, что априорное усложнение рассмотрения не даёт возможности проведения ясного причинно-следственного анализа ситуаций влияния ЧФ на ТС. Поэтому, ис-

пользуя модельные подходы, сугубо индивидуальные особенности работников не учитываются (в статье не обсуждается феноменология ЧФ). Профессионализм всех специалистов необходимо оценивать с одинаковыми критериями (определить по единым методикам), а его проявление рассматривать для одинаковых условий. Влияние ЧФ можно также ожидать от однородных групп (когорт) из работников, которые эксперту надо сформировать для анализа с такими же условиями применения и рассмотрения.

Распределение Гаусса (нормальное распределение) является хорошим приближением для описания широкого круга статистических процессов [10-12]. Оно имеет вид симметричной колоколообразной кривой, распространяющейся до бесконечности в положительном и отрицательном направлениях. Случайному влиянию ЧФ на безопасность ТС можно сопоставить функцию распределения $p(x_i)$ или плотность вероятности $p(x)$. При большом количестве производственных работников или случаев с возможностями проявления ЧФ такое влияние на безопасность может быть описано распределением Гаусса. При ограниченном количестве случаев можно также обратиться к использованию распределения Пуассона или биномиального распределения. Хотя случаи проявления эмпирического влияния ЧФ x являются целочисленными, непрерывное распределение величин удобно использовать для описания явления и понимания сути происходящих случайных явлений.

Следует отметить, что рассмотрение можно проводить с двух диаметральных точек зрения. При количестве событий, операций, действий и т.п. x и полном их количестве N вероятность благоприятного исхода равна Ψ , а неблагоприятного: $\Phi = 1 - \Psi$. Таким образом, статистические закономерности будут однозначно характеризоваться N и Ψ или Φ . Это надо учитывать эксперту при интерпретации результатов анализа количественных данных. На практике удобнее учитывать и рассматривать в ходе исследования фактический профессионализм работников (Ψ , скольким параметрам их требуемых соответствуют работники) и от него переходить к рассмотрению влияния ЧФ на безопасность производства и ТС (Φ). Каждое количество x случаев влияния ЧФ происходит с плотностью вероятности $p(x)$.

Проявление всех этих случаев x осуществляется действиями работников с конкретным уровнем профессиональной подготовки, личной мотивации и внутренними характеристиками, которые в совокупности определяются с позиций анализа профессионализма, ассоциируется с уровнем персональной (индивидуальной) КБ R_{ISC} ($R_{ISC} = \Psi$, дальнейшие рассмотрения осуществляются с этой точки зрения), а не с позиций сознательного стремления работников к осуществлению несанкционированных мероприятий (саботажа, диверсии).

Тут под возникновением явления ЧФ будем понимать недостаток и недоработку в профессиональной области, которые имеют случайный, спонтанный характер и могут быть исправлены (доработаны) при проведении мероприятий по обучению работника. Таким образом, x это количество случаев, возникших при КБ с R_{ISC} и происходящих поэтому с влиянием на безопасность ТС. Поскольку, шкалы для измерений x (в ед.) и R_{ISC} (в отн.ед.) пропорциональные, то по горизонтальной оси (рисунок 1) можно расположить величины генеральной совокупности значений как x , так и R_{ISC} . Это дополнительно помогает прояснить понимание сути происхождения явления влияния ЧФ (от чего зависит, на что влияет, как формируется и т.п.). Если значения $R_{ISC}(x)$ заранее не определены по специальным методикам (для определения соответствия работников установленным профессиональным признакам), то в качестве их оценки можно полагать, что $R_{ISC}(x) = x/N$, где N – полное количество случаев с проявлением или не проявлением ЧФ (для конкретной ситуации). Если вдоль горизонтальной шкалы рассматривать количество случаев x проявления влияния ЧФ, то площадь под пиком Гаусса будет соответствовать полному количеству случаев $N = \sum x_i$.

Под величиной $p(x)$ по вертикальной оси (рис. 1) следует понимать интенсивность явления, возможность, с которой внешняя система предоставляет возможность, позволяет развиваться, создаёт условия, чтобы проявиться x случаям ЧФ от уровня R_{ISC} персональной КБ работников.

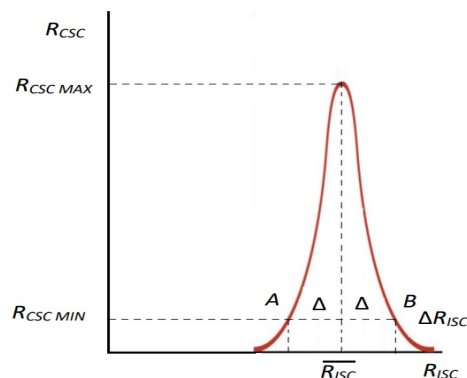


Рис.1. Иллюстрация симметричного распределения случаев влияния ЧФ

Fig.1. Illustration of the symmetrical distribution of cases for the human factor influence

Исходя из этого, $p(x)$ фактически является определяемым показателем организационной (коллективной) КБ R_{CSC} (в отн.ед.). С учётом нормировки можно полагать, что $R_{CSC}(x) = p(x)$, как его фактическое значение для x случаев проявления ЧФ на индивидуальном уровне. Максимальное значение показателя R_{CSC} в организации будет определяться значением $p(x)$ для пика распределения случаев влияния ЧФ.

Это будет соответствовать количеству случаев x с преобладающим значением для них R_{ISC} , как показано на рис. 1. Реальное распределение (с $R_{ISC}(x)$ и N) на рис.1 позволяет оценить минимальное значение организационной КБ ($R_{CSC MIN}$) или установить $R_{CSC MIN}/R_{CSC MAX}$, соответствующее допустимому разбросу случаев с ЧФ ΔR_{ISC} (ширина пика) для конкретной конфигурации ТС относительно $\overline{R_{ISC}}$ (или отклонению от $\overline{R_{ISC}}$). При проведении экспертной оценки можно считать, что значения ниже $R_{CSC MIN}$ не являются достоверными или для их получения нет достоверных данных (определение экспертом границ оценки). Это уточняет диапазон допустимого профессионализма R_{ISC} для конкретного производственного процесса или эксплуатации ТС. Наилучшие значения уровня профессионализма R_{ISC} будут располагаться вблизи пика распределения ($\overline{R_{ISC}}$).

Симметрия или асимметрия распределения показывают, что статистически профессионализм в организации может быть как лучше, так и хуже (относительно $\overline{R_{ISC}}$ для максимума пика). И то, и другое является проявлением особенностей кадровой работы. Относительно оси пика распределения слева будут располагаться случаи ЧФ x или профессионализм R_{ISC} работников (в понимании Ψ), которые делают (или сделают) работу хуже, чем оговорено в инструкции. Область пика справа оси симметрии характеризует состав работников, которые делают (или сделают) лучше, чем предписано. Однако, эти случаи высокого профессионализма (далее – ВП) или высокой компетентности у части работников не всегда компенсируют существующие недостатки работников с низким профессионализмом (далее – НП) или низкой компетентностью.

Для симметричного распределения на рис. 1 видно, что на любой высоте пика отклонения от $\overline{R_{ISC}}$ в область НП и ВП одинаковые ($\Delta_{НП} = \Delta_{ВП} = \Delta$). Обычно распределение Гаусса характеризуют шириной пика на полувывоте $\Delta R_{ISC \frac{1}{2}} = \Delta_{НП} + \Delta_{ВП} = 2\Delta$ (далее $\Delta R_{ISC \frac{1}{2}} = \Delta R_{ISC}$). Проявление ВП может случаться, происходить при пониженном уровне организационной КБ. Такие профессионалы стремятся или могут стремиться «по своему пониманию» осуществлять технологический процесс, действовать вне рамок технических и организационных документов, производственных инструкций, даже сделать (или доделать) работу за специалиста с НП. Из-за неправильного несистемного понимания путей исправления сложившейся в организации ситуации их действия с неадекватной, несистемной оценкой своих возможностей могут носить усугубляющий характер. Важно отметить, что другие работни-

ки могут не знать о таких действиях части персонала, что отразится на отсутствии взаимопонимания, согласованности, системности в работе.

На практике, с учётом падения профессионализма и распространения клипового мышления у работников [13] распределение для влияния ЧФ зачастую оказывается несимметричным, как это показано на рис.2. Наибольшим значениям R_{CSC} будет соответствовать наилучший учёт влияния ЧФ на организационном уровне (присутствуют достоверность, внимание, формирование и рассмотрение рейтинга ЧФ). В ходе оценки безопасности эксперт может зафиксировать максимальный (наилучший) $R_{CSC MAX}$ или достаточный $R_{CSC Д}$ (по его мнению), критический $R_{CSC К}$ и минимальный $R_{CSC MIN}$ уровни организационного реагирования на проявление ЧФ.

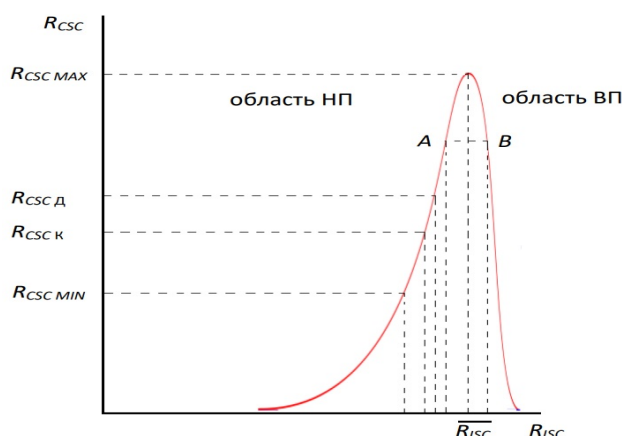


Рис. 2. Иллюстрация асимметричного распределения (схематичная) случаев влияния ЧФ
Fig. 2. Illustration of the asymmetric distribution (schematic) of the cases for the human factor influence

Отметим некоторые особенности такого распределения, которые важно учитывать эксперту при рассмотрении. Относительно $\overline{R_{ISC}}$ существуют области с НП и ВП (рис. 2). По вертикальной оси отметим разные состояния для R_{CSC} ($R_{CSC MAX}$, $R_{CSC Д}$, $R_{CSC К}$, $R_{CSC MIN}$). Установление уровней для R_{CSC} является приблизительным (ориентировочным). Так на асимметричном распределении можно отметить уровень, где $\Delta_{НП} \approx \Delta_{ВП}$ (равновесие – AB), как наиболее приемлемый при управлении ТС. Для $R_{CSC Д}$ можно рассматривать $\Delta_{НП} = 1,5\Delta_{ВП}$, для $R_{CSC К}$ принять соответствие $\Delta_{НП} = 2\Delta_{ВП}$, для $R_{CSC MIN}$ полагать, что $\Delta_{НП} = 3\Delta_{ВП}$. Исходя из конкретных условий состояния ТС эксперт может применять и более критичные сопоставления и рассмотрения.

Можно считать, что в диапазоне от $R_{CSC MAX}$ до $R_{CSC Д}$ технология и ТС функционируют в проектных условиях. Для производственной деятельности в диапазоне от $R_{CSC Д}$ до $R_{CSC К}$ надо принимать экстренные меры организационного реагирования по повышению профессионализма и созданию адекватной рабочей атмосферы, чтобы ТС своим функционированием не нанесла ущерба персоналу и окружающей среде. В диапазоне от $R_{CSC К}$ до $R_{CSC MIN}$ в ТС могут происходить необратимые последствия для оборудования (вплоть до разрушения), обусловленные влиянием ЧФ.

Для случаев с R_{CSC} меньше, чем $R_{CSC MIN}$ можно полагать, что производство является уже опасным для общества. Говоря об интервале от $R_{CSC Д}$ до $R_{CSC MIN}$ следует отметить то, что предпринимаемые тут организационные меры или недостаточны, или будут уже экстренными (восстановительными). Работников с НП, занимающих ключевые позиции в управлении технологией и ТС, на данном этапе целесообразно отстранять от исполнения своих обязанностей (вопросы конкретных рекомендаций экспертам при разрешении ситуаций не являются тематикой данной статьи).

Для асимметричного распределения видно, что доля персонала с меньшим профессионализмом (НП) преобладает над количеством работников с большим профессионализмом (ВП). Эти части коллектива численно и профессионально не уравнивают друг друга.

Теоретически можно полагать распространение кривой влево от пика до нуля. Под достаточным уровнем организационной культуры можно считать те значения R_{CSC} , когда разброс влево и вправо не отличаются больше, чем на 50% (эксперт в ходе анализа может установить свой критерий). Понятно, что ниже достаточного уровня предпринимаемые установленные, традиционные организационные действия не играют существенного значения для эффективной работы производства, ТС и т.п.. Параметр асимметрии будет характеризовать уровень компетентности в коллективе и позволит оценить условное соотношение количества работников с НП и ВП (соответственно $N_{НП}$ и $N_{ВП}$).

С точки зрения аналитики распределение Гаусса:

$$p(x) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) \exp \left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1)$$

включает ряд параметров для экспертного анализа эмпирических данных: x – непрерывная (для удобства рассмотрения) случайная величина (или $R_{ISC}(x)$), распределение которой рассматривается; $p(x)$ – плотность вероятности (или R_{CSC}); μ – среднее значение случайной величины; σ^2 – дисперсия распределения. Если распределение Гаусса симметрично относительно среднего значения, то для него асимметрия $\gamma = 0$.

Широкое применение нормального распределения в теории обработки эмпирических данных основано на доказываемом в теории вероятности утверждении о том, что случайная величина, являющаяся суммой очень большого числа независимых случайных величин с практически произвольным распределением, распределена по нормальному закону. Его использование также возможно при описании данных в тех случаях, когда исследуемую случайную величину можно представить в виде суммы достаточно большого числа независимых элементарных слагаемых, каждое из которых сравнительно мало влияет на сумму. Для такой ситуации используется свёртка распределений [10-12].

Среднее значение или математическое ожидание случайной величины (или функции случайной величины) определяются в соответствии с закономерностями математической статистики [10-12]:

$$\mu \equiv M(x) = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx; \mu = \sum_{i=0}^{\infty} x_i p(x_i) \quad (2)$$

для непрерывного и дискретного распределений соответственно. При проведении экспертного анализа величину μ для R_{ISC} можно называть истинным средним значением $\overline{R_{ISC}}$ (значение в пике).

Если какой-то процесс описывается статистическим распределением, то отдельное значение случайной величины, характеризующей этот процесс, отличается от её среднего значения. Для эксперта в ходе оценки влияния ЧФ на безопасность важное значение играет дисперсия – мера разброса случайной величины относительно её среднего. Под дисперсией случайной величины рассматривается среднее значение квадрата отклонений случайной величины от её среднего σ^2 . Положительное значение $\sqrt{\sigma^2}$ для оценки даёт величину стандартного или среднего квадратического отклонения.

Дисперсия непрерывной случайной величины определяется по:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 p(x) dx = M[x^2] - \mu^2. \quad (3)$$

Для экспертной оценки влияния ЧФ важно иметь ввиду, что при малом стандартном отклонении от среднего вероятность наблюдать значения случайной величины (в разрезе проявления ЧФ), сильно отличающиеся от среднего, мала, тогда как при большом стандартном отклонении вероятны значения, сильно отклоняющиеся от среднего.

В ходе анализа эксперт должен определить в какие интервалы (или диапазон значений) для случайной величины попадают его оценки влияния ЧФ. Это далее формирует его выводы о состоянии КБ работников и в организации в целом.

Стандартное отклонение можно связать с вероятностью случайной величины оказаться при её оценке внутри определенного интервала [10-12]. За границы такого интервала

принимая величину, кратную σ . Поэтому такая вероятность будет определяться следующим образом:

$$P(\mu - g\sigma \leq x \leq \mu + g\sigma) = \int_{\mu - g\sigma}^{\mu + g\sigma} p(x)dx. \quad (4)$$

Здесь $P(\mu - g\sigma \leq x \leq \mu + g\sigma)$ – вероятность для величины x находиться внутри интервала $\mu \pm g\sigma$.

Для распределения Гаусса, например, для $g = 1$ $P(\mu - g\sigma \leq x \leq \mu + g\sigma) = 0,68$ для $g = 2$ значение будет равно 0,95. Это означает, что для очень большого числа измерений случайной величины x в 68% случаев она окажется в интервале с границами $\mu \pm \sigma$ и в 95% случаев – в интервале с границами $\mu \pm 2\sigma$.

Из теории математической статистики известно, что выражение (4) можно использовать не во всех случаях, так как интервал $\mu \pm g\sigma$ может оказаться больше интервала изменения переменной, например, для распределения Пуассона. Отметим, что для несимметричных распределений число значений x в интервалах $\mu + g\sigma$ и $\mu - g\sigma$ различно, тоже касается эмпирических целочисленных значений.

В ходе экспертного анализа можно оценить и величину относительного среднего квадратического отклонения $\delta = \sigma/\mu$, где δ – величина безразмерная. Асимметрия распределения случаев влияния ЧФ характеризуется также безразмерным параметром $\gamma = \frac{M[(x-\mu)^3]}{\sigma^3}$. [10-12]

Обсуждение результатов. О применении методологии оценки групповых аспектов влияния ЧФ на безопасность в ходе проведения экспертных оценок. Более низкий уровень R_{CSC} в организации увеличивает разброс ΔR_{ISC} и поэтому повышается влияние ЧФ на безопасность ТС. Это схематично отражено на рис. 3.

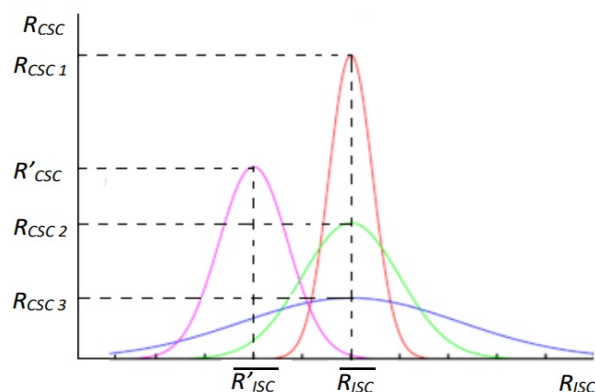


Рис. 3. Симметричные распределения для $R_{ISC} = const$

Fig. 3. Symmetric distributions for $R_{ISC} = const$

На рис. 3 площади под пиками для $R_{CSC1} > R_{CSC2} > R_{CSC3}$ и $R_{ISC} = const$ одинаковы ($N_1 = N_2 = N_3$). Чем больше разброс у персональной КБ ΔR_{ISC} (больше её σ), тем хуже организационная КБ (меньше показатель R_{CSC}). Величина разброса ΔR_{ISC} для каждого случая зависит от персональной КБ, образовательного и психофизиологического аспектов, подбора кадров и профессиональной подготовки, а также от возможности включения работников в решение производственного вопроса или вовлечения персонала в принятие существенного для ТС решения, наличия в коллективе профессиональных авторитетов. Различные факторы в совокупности повышают личную ответственность работника и $\overline{R_{ISC}}$.

Для одного и того же количества случаев $N' = N_1$ при уменьшении R_{ISC} будет уменьшаться значение R_{CSC} . Для эксперта N' будет случаем с худшей оценкой R_{CSC} , поскольку имеется бóльший разброс ΔR_{ISC} при определении $\overline{R'_{ISC}}$. В этой ситуации, когда $\overline{R'_{ISC}} < \overline{R_{ISC}}$, организационные меры $R'_{CSC} < R_{CSC1}$ не достигают планируемых руководством организации результатов.

Для бóльшего количества случаев ЧФ (например, людей или технологических операций) количество N повышается и значит должно повышаться значение $\overline{R_{ISC}}$. Тогда уровень безопасности будет приближаться к проектному (т.е. без влияния или существенного влияния ЧФ) $Q \rightarrow \overline{Q}$, а неопределённость уровня безопасности уменьшается $\Delta Q \rightarrow 0$.

Для опасных ТС с усилением организационной КБ (ростом R_{CSC}) будет повышаться уровень безопасности $Q = Q(R_{ISC}, R_{CSC})$ при повышении в пике значения $\overline{R_{ISC}}$. В этом случае количество работников с бóльшим отклонением от $\overline{R_{ISC}}$ будет уменьшаться. Это схематично показано на рис. 4.

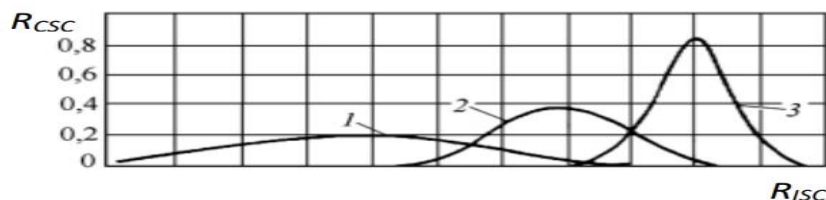


Рис. 4. Симметричные распределения Гаусса (схематичные) для разных значений $R_{ISC}(x)$ при разных значениях параметров $\mu(x)$ и σ (1: $\mu=1, \sigma=2$; 2: $\mu=4, \sigma=1$; 3: $\mu=6, \sigma=0,5$)

Fig. 4. Symmetric Gaussian distributions (schematic) for different values of $R_{ISC}(x)$ at different values of the parameters $\mu(x)$ and σ (1: $\mu=1, \sigma=2$; 2: $\mu=4, \sigma=1$; 3: $\mu=6, \sigma=0,5$)

Если понижается величина R_{CSC} , то отклонение ΔR_{ISC} увеличивается для любого значения $\overline{R_{ISC}}$ ($R_{ISC1} < R_{ISC2} < R_{ISC3}$; $R_{CSC1} < R_{CSC2} < R_{CSC3} \Rightarrow \Delta R_{ISC1} > \Delta R_{ISC2} > \Delta R_{ISC3}$). Бóльший уровень организационной КБ позволяет лучше контролировать персональную КБ, формировать и определить её в ходе системных мероприятий.

С ростом в пике значения R_{CSC} асимметрия уменьшается ($\gamma \rightarrow 0$), пик становится более «тонким» (σ^2 уменьшается). Асимметричные распределения Гаусса демонстрируют, как это показано на рис. 5, значение и влияние на организационные действия групп работников с разным профессионализмом (с $\Delta_{НП}$ при $R_{ISC} < \overline{R_{ISC}}$ и с $\Delta_{ВП}$ для $R_{ISC} > \overline{R_{ISC}}$, где $\Delta_{НП} + \Delta_{ВП} = \Delta R_{ISC}$).

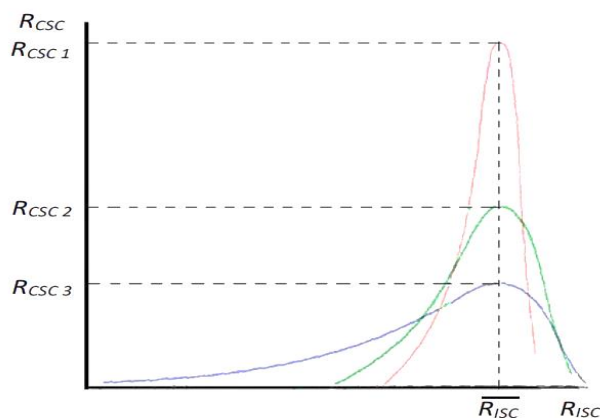


Рис. 5. Асимметричные распределения для $R_{ISC} = \text{const}$

Fig. 5. Asymmetric distributions for $R_{ISC} = \text{const}$

Для низкой организационной КБ площадь под пиком в области НП больше, чем площадь в области ВП для разных $\overline{R_{ISC}}$. При уменьшении R_{CSC} ($R_{CSC1} \rightarrow R_{CSC2} \rightarrow R_{CSC3}$) растёт число специалистов $N_{НП}$ с низкими значениями у них R_{ISC} (их $R_{ISC} \rightarrow 0$), уменьшается количество $N_{ВП}$ компетентных работников. Чем больше R_{CSC} ($R_{CSC3} \rightarrow R_{CSC2} \rightarrow R_{CSC1}$), тем больше в организации уделяется внимание безопасности ТС. Чем выше уровень безопасности, тем меньше отклонение ΔR_{ISC} . Величина R_{CSC} показывает интенсивность коллективных действий, усилий по обеспечению безопасности.

При уменьшении уровня R_{CSC} в отдельных случаях организации производственной деятельности следует увеличить число персонала с более высоким значением R_{ISC} . В ходе оценки эксперт выясняет какая преобладает организационная деятельность и проводится

работа с персоналом, кадровая политика, профессиональная деятельность работников, обусловленная уровнем организационной КБ R_{CSC} . С математической точки зрения, целью корректировочных мер, предлагаемых экспертом, является уменьшение асимметрии распределения ($\gamma \rightarrow 0$).

Перспективной для организации, в разрезе наращивания её интеллектуального потенциала, оценки утечки практического профессионализма в структуре, будет рассмотрение экспертом соотношения количества специалистов с НП и ВП или вычисление параметра асимметрии распределения. Эта информация играет значение для обучения и поддержки требуемых для производства знаний, периодичности проведения соответствующих мероприятий.

При завершении проведения оценки влияния ЧФ на уровень безопасности ТС, важно указать установленное экспертом состояние КБ, профессионализма и потенциал предпринимаемых организационно-технических мер, мероприятий, проводимых в организации. Эксперту для тщательного рассмотрения групповых аспектов влияния ЧФ важно структурировать организационные процедуры (мероприятия) по степени влияния их на управление ТС. Необходимо также учитывать работу в малых группах, например, применение в ходе процедур по обеспечению безопасности правила «двух ключей» или двух лиц, как одного из наиболее важных и ответственных, наравне с коллективным принятием управленческих решений.

По результатам анализа следует выработать рекомендации с учётом определённых границ и диапазона изменения влияния ЧФ. Такой подход даёт возможность продумать и предусмотреть «противовесы» и компенсации недостаткам, провести поиск «слабых» звеньев в профессиональной системе и организационной структуре, принять требуемые решения и меры для повышения эффективности кадровой работы.

Вывод. Проведение оценки и всестороннего анализа влияния различных внешних и внутренних факторов на функционирование техники позволяет получать актуальную информацию как о состоянии системы, так и о её возможностях или остаточном рабочем потенциале. Это способствует тому, чтобы реализовывать проактивные управленческие решения, направленные на предупреждение ухудшения состояния безопасности, иметь для этого прогноз ситуации. Ориентация экспертов на применение математического аппарата при количественных оценках предоставляет возможность внедрять модели в организацию управления (проводить модерацию, оценивать возможные последствия управленческих решений и т.п.).

Использование вспомогательных экспертных подходов, например, концепции сэйфеометрики [8,9], и выработка экспертом таргетированных рекомендаций формируют систему для управленческих действий с более экономически обоснованными производственными мерами и способствуют применению рациональных схем принятия решений в разрезе повышения уровня безопасности ТС, выбора перспективных и выгодных эксплуатационных стратегий. Количественные оценки и выявленные распределения параметров, как минимум, позволяют демонстрировать эффект действий, повышают наглядность ситуации для руководителей организации и его подразделений.

Рассмотрение связи между уровнем индивидуальной (персональной) и организационной КБ, построение математического распределения для оценки соотношения работников разной компетентности (НП и ВП) позволяют улучшить, повысить эффективность управления ТС, разрабатывать модели управления для получения индикаторов состояния коллектива и планирования организационных мероприятий [3-7].

В большинстве случаев эмпирическая проверка и оценка влияния ЧФ и уровня КБ невозможны из-за высокой степени реагирования на такие действия субъектов исследования. Однако при невысокой степени автоматизации технологического процесса нельзя пренебрегать анализом и прогнозом действий людей (персонала, работников, специалистов, руководителей и т.п.) на технику. Оценка влияния ЧФ непосредственно определяет организационные меры по поддержке компетентности работников, повышению профессионализма, проведению мероприятий для обучения персонала.

Библиографический список:

1. Человеческий фактор и безопасность ядерных установок. Материалы Международной конференции МК-2000 / Москва, Обнинск : ОНИЦ «Прогноз», 2001.
2. Safety culture, Safety series, No.75-INSAG-4, a report by the International Nuclear Safety Advisory Group. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1991.
3. Key practical issues in strengthening safety culture, Safety series, No.INSAG-15, a report by the International Nuclear Safety Advisory Group. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2002.
4. Examples of safety culture practices, Safety reports series, No.1. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1997.
5. Абрамова, В.Н. Организационная психология, организационная культура и культура безопасности в атомной энергетике / В.Н. Абрамова. – Москва, Обнинск : ИГ – СОЦИН, 2009.
6. Self-assessment of safety culture in nuclear installations. Highlights and good practices, IAEA-TECDOC-1321. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2002.
7. Performing safety culture self-assessments, Safety reports series, No.83. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2016.
8. Лобач, Д. И. Новые проблемы, методология и возможности сэйфеометрики / Д. И. Лобач // Промышленная безопасность. – 2023. – № 01. – С. 34-36. ISSN 2958-4523.
9. Лобач, Д.И. О развитии экспертных возможностей для рассмотрения проектов оборудования и технологических решений / Д. И. Лобач // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 2. – С. 38-41. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-2-38-41>
10. Hudson, D.J. Statistics. Lectures on Elementary Statistics and Probability, Geneva, 1964, Худсон, Д. Статистика для физиков. Лекции по теории вероятностей и элементарной статистике – М:Мир, 1970.
11. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок.- М., 1985.
12. Колде, Я.К. Практикум по теории вероятности и математической статистике. – М., 1991.
13. Ковалев, М. М. Образование для цифровой экономики / М. М. Ковалев // Цифровая трансформация. – 2018. – № 1 (2). – С. 37–42.

References

1. The human factor and the safety of nuclear installations. Materials of the International conference MK-2000 . Moscow, Obninsk : ONITS "Forecast"; 2001. (In Russ.).
2. Safety culture, Safety series, No.75-INSAG-4, a report by the International Nuclear Safety Advisory Group. Vienna: International Atomic Energy Agency; 1991.
3. Key practical issues in strengthening safety culture, Safety series, No.INSAG-15, a report by the International Nuclear Safety Advisory Group. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2002.
4. Examples of safety culture practices, Safety reports series, No.1. Vienna: International Atomic Energy Agency; 1997.
5. Abramova V.N. Organizational psychology, organizational culture and safety culture in atomic energy . Moscow, Obninsk : IG – SOCIN; 2009. (In Russ.)
6. Self-assessment of safety culture in nuclear installations. Highlights and good practices, IAEA-TECDOC-1321. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2002.
7. Performing safety culture self-assessments, Safety reports series,. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2016; 83.
8. Lobach D.J. New problems, methodology and possibilities of Safeometrics. *Promyšlennâ bezopasnost'*. 2023; 01: 34-36. ISSN 2958-4523. (In Russ.)
9. Lobach D.J. About development of expert possibilities for consideration of equipment projects and technological decisions. *System analysis and applied information science*. 2023; 02: 38-41. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-2-38-41> (In Russ.)
10. Hudson D.J. Statistics. Lectures on Elementary Statistics and Probability, Geneva, 1964, D. Hudson, Statistics for physicists. *Lectures on Probability Theory and Elementary Statistics*. Moscow:Mir. 1970.
11. Taylor J. Introduction to the theory of errors. M.; 1985. (In Russ.)
12. Kolde Ya.K. Practicum on probability theory and mathematical statistics. M.; 1991. (In Russ.)
13. Kovalev, M. M. Education for the Digital Economy. *Digital transformation*. 2018; 01(2): 37–42. (In Russ.)

Сведения об авторе:

Лобач Дмитрий Иосифович, кандидат технических наук, гражданский государственный служащий в отставке; lobachd@yandex.ru ORCID: 0000-0001-5512-0032 ResearcherID: HKN-7220-2023

Information about author:

Dmitry I. Lobach, Cand. Sci. (Eng), Retired civil servant; lobachd@yandex.ru ORCID: 0000-0001-5512-0032 ResearcherID: HKN-7220-2023

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 12.12.2023г

Одобрена после рецензирования/ Revised 11. 01.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 11.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS



УДК 621.31

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-142-152

Оригинальная статья /Original article

**Структурная организация многоуровневой интеллектуальной системы
учёта коммунальных услуг с повышенной живучестью**

А.И. Магомедов¹, И.А. Магомедов¹, М.Н. Хидивов¹, М.Ш. Усманов²

¹Дагестанский государственный технический университет,

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

²ООО «Газпромтрансгаз Грозный»,

²366011, Чеченская Республика, с. Знаменское, ул. А.Кадырова, д.21, Россия

Резюме. Цель. Разработка принципов построения многоуровневой интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг (МИСУКУ) с повышенной живучестью на базе современных приборов учёта коммунальных услуг (КУ) с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями, а также определение принципиальной возможности построения МИСУКУ на базе самонастраиваемой ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг. **Метод.** Исследование построено на анализе функциональных и коммуникационных возможностях современных приборов учёта коммунальных услуг и достижений в области информационных технологий и средств вычислительной техники, а также наличии аппаратных средств организации недорогих беспроводных линий связи передачи данных. В работе сформированы основные принципы построения самонастраивающихся ячеистые сети цифровых приборов учёта, при этом в качестве базового устройства системы первого уровня является абонентский счётчик электрической энергии (АСЭЭ), который имеет хорошие энергетические, коммуникационные и функциональные параметры. **Результат.** Разработаны основные принципы создания СЯС приборов учёта коммунальных услуг и структуры многоуровневой системы: первый уровень состоит из АСЭЭ с подключёнными к нему по радиоканалу абонентских приборов учёта расхода газа и воды со встроенными электронными приставками; второй уровень представляет собой СЯС микрорайона с координатором сети, установленный на трансформаторной подстанции микрорайона или на крыше многоквартирного высотного дома. Третий уровень состоит из объединённых в систему СЯС микрорайонов в центре, которого расположен диспетчерский пункт сбора и обработки учётной и служебной информации, а также центр платежей. **Вывод.** Применение АСЭЭ с подключёнными к нему по радиоканалу механическими счётчиками газа и воды встроенными электронными приставками, позволит строить узел самоорганизующейся ячеистой сети (СЯС) первого уровня, а на основе этой сети создавать МИСУКУ с высокими коммуникационными характеристиками. Приведённые в работе структуры МИСУКУ с повышенной живучестью на базе интеллектуальных ячеистых сетей приборов учёта коммунальных услуг позволят повысить достоверность учётной информации и надёжность средств связи.

Ключевые слова: интеллектуальный счётчик, ячеистая сеть, многоканальный счётчик, интерфейс связи, радиомодем, радиоканал, МИСУКУ, единая система учёта, коммунальные услуги, принципы построения

Для цитирования: А.И. Магомедов, И.А. Магомедов, М.Н. Хидивов, М.Ш. Усманов. Структурная организация многоуровневой интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг с повышенной живучестью. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):142-152. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-142-152

Structural organization of a multi-level intelligent utility metering system with increased survivability

A.I. Magomedov¹, I.A. Magomedov¹, M. N. Khidirov¹, M. Sh. Usmanov²

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Gazprom Transgaz Grozny,

²21 A.Kadyrov St., Chechen Republic, Znamenskoye village 366011, Russia

Abstract. Objective. Development of principles for constructing a multi-level intelligent utility metering system (MISUKU) with increased survivability based on modern utility metering devices (CU) with expanded communication and functionality, as well as determining the fundamental possibility of constructing MISUKU based on a self-configuring mesh network of utility metering devices. **Method.** The study is based on an analysis of the functional and communication capabilities of modern utility metering devices and advances in the field of information technology and computer technology, as well as the availability of hardware for organizing inexpensive wireless data transmission lines. The work outlines the basic principles for constructing self-adjusting mesh networks of digital metering devices, while the basic device of the first-level system is a subscriber electric energy meter (ASEM), which has good energy, communication and functional parameters. **Result.** The basic principles for the creation of SNF utility metering devices and the structure of a multi-level system have been developed: the first level consists of ASEM with subscriber gas and water metering devices with built-in electronic devices connected to it via a radio channel; the second level is the district's strategic nuclear forces with a network coordinator installed at the district's transformer substation or on the roof of a high-rise apartment building. The third level consists of microdistricts united in the strategic nuclear forces system in the center, of which there is a control center for collecting and processing accounting and service information, as well as a payment center. **Conclusion.** The use of ASEM with mechanical gas and water meters and built-in electronic set-top boxes connected to it via a radio channel will make it possible to build a node of a self-organizing mesh network (SNF) of the first level, and on the basis of this network to create a MISUKU with high communication characteristics. The MISUKU structures presented in the work with increased survivability based on intelligent mesh networks of utility metering devices make it possible to increase the reliability of accounting information and the reliability of communications.

Keywords: intelligent meter, mesh network, multichannel meter, communication interface, radio modem, radio channel, MISUKU, unified accounting system, utilities, principles of construction

For citation: A.I. Magomedov, I.A. Magomedov, M.N. Khidirov, M.Sh. Usmanov. Structural organization of a multi-level intelligent utility metering system with increased survivability. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51 (1): 142-152. DOI: 10.21822 /2073-6185-2024-51-1-142-152

Введение. Интенсивное развитие энергоёмких технологий и производство требует создание современных автоматизированных систем по учёту коммунальных услуг, так как отношение между потребителями услуг и поставщиками этих услуг на контрактной основе, а это требует поставки качественных и количественных услуг строго по графику и, эти услуги должны быть оплачены по условиям контракта. Решить проблему взаимных отношений можно только посредством многоуровневых интеллектуальных систем автоматизации на всех этапах съёма, передачи, обработки, хранения учётной и служебной информации.

По определению [18-21] «Интеллектуальные счётчики - это разновидность усовершенствованных счётчиков, определяющих показатели потребления более детально, нежели традиционные средства измерения, снабжённых (дополнительно) коммуникационными средствами для передачи накопленной информации посредством сетевых технологий с це-

лью мониторинга и осуществления расчётов за коммунальные услуги». К данному определению можно смело добавить, что «интеллектуальные счётчики КУ-это счётчики, на базе которых можно построить самонастраивающихся и самоорганизующихся ячеистые сети для формирования маршрутов обмена данными между абонентскими приборами учёта и координаторами ячеистой сети». Из определения следует, что интеллектуальная система учёта КУ должна быть построена на базе ячеистой сети интеллектуальных приборов первичного учёта со встроенным набором коммуникационных средств связи и, функционирующих по принципам самоорганизации и самонастройки. Такими счётчиками могут быть абонентские счётчики электрической (однофазных, трёхфазных и многоабонентских) энергии [2-4] с подключёнными к ним по радиомодему электронных приставок к механическим счётчикам газа и воды ЭП [5] и расширенными коммуникационными и функциональными возможностями. Все функции интеллектуального узла ячеистой сети возложены на счётчики электрической энергии, в том числе и функции маршрутизатора и координатора сети, так как у указанных счётчиков нет жёстких ограничений на энергопотребление.

Постановка задачи. Задачей данной работы является разработка принципов построения СЯС и многоуровневой интеллектуальной системы коммерческого учёта коммунальных услуг (МИСУКУ) на их основе с повышенной живучестью, предназначенная для автоматизированного многотарифного учёта КУ в бытовом секторе с целью снижения коммерческих потерь и защиты учётной и служебной информации от несанкционированного доступа на всех этапах ее обработки и хранения. Основой построения МИСУКУ является самонастраиваемая интеллектуальная сеть (ячеистая сеть) приборов первичного учёта КУ авторских разработок [1-7]. Использование интеллектуальной ячеистой сети при построении системы учёта позволит существенно повысить живучесть всей системы в целом и снизит коммерческие потери на 40-45 % за счёт полноты охвата абонентов и исключения влияния человеческого фактора из процесса учёта.

Методы исследования. Анализ существующих автоматизированных систем учёта коммунальных услуг. В последнее время наблюдается большое оживление в области создания автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии [18-20].

Так, в работе [18] приведён обзор современных технологий построения систем, где отмечают проблемы их построения и делают вывод, что беспроводные технологии, такие как протокол радиосвязи LPWAN, позволяют за разумный бюджет добиться высоких результатов в отношении устойчивости передачи данных и надёжности использования системы в целом. Однако, в [18] не приведены системы учёта на базе СЯС приборов учёта, где в качестве узлов сети первого уровня используются АСЭЭ с подключёнными к нему по радиомодему механических приборов учёта расхода газа и воды с ЭП, а в качестве координатора сети второго уровня- трёхфазные балансовые счётчики электроэнергии (устанавливаются на подстанциях) со встроенными радиомодемом для связи с абонентскими счётчиками и GSM – модемом для связи с подсистемой верхнего уровня. Кроме того, все известные приборы учёта КУ не предназначены для построения единой системы учёта коммунальных услуг, ведётся учёт по каждой услуге в отдельности, что приводит к неоправданно большим затратам.

Существенным недостатком приборов учёта [8-11] и систем учёта [12-18] на их основе, является то, что при их проектировании не были учтены все факторы, влияющих на функционирование приборов и системы учёта в целом, и как следствие, многочисленные сбои в системе из-за невысокой надёжности средств связи, а также отсутствие возможности учёта расхода газа и воды. Из анализа существующих средств построения систем учёта КУ можно сделать вывод, что в настоящее время отсутствуют хорошо продуманных принципов построения СЯС, которые могут быть использованы для построения многоуровневых интеллектуальной системы учёта, отсутствуют первичные приборы учёта с соответствующим программным обеспечением для совместной работы с элементами искусственного интеллекта и расширенными коммуникационными средствами. Отметим, что ни в одной работе не рас-

смотрен вопрос автоматизации учёта энергопотребления, учёта расхода газа и воды в многоквартирных домах с использованием многоабонентского счётчика электрической энергии [2,17] к которому могут быть подключены и другие датчики учёта КУ. Этим и объясняется исследования [1, 2, 17], проводимые в рамках данной работы, посвящённая вопросам построения интеллектуальных самонастраивающихся сетей первичных приборов учёта КУ и создания МИСУКУ с расширенными функциональными возможностями.

Интеллектуальные самоорганизующиеся и самонастраиваемые сети первичных приборов учёта – эта совокупность приборов, объединённых с помощью встроенных средств коммуникаций (СК) с целью формирования маршрута обмена данными между узлами сети. Сеть должна реализовать автоматически три функции:

- сбор информации с приборов учёта и предварительная ее обработка посредством координатора сети;
- самоорганизация канала передачи данных, т.е. формирование наиболее эффективный маршрута передачи данных по заданному критерию;
- поиск новых сетевых участников и интеграция их в сеть, а также поиск не участвующих в процесс формирования маршрутов и удаления их из сети.

Беспроводные СЯС приборов учёта – новый шаг в создании динамически настраиваемых сетей передачи данных с высокой пропускной способностью с открытой архитектурой. Современные приборы учёта [1-5], по сути, являются маршрутизаторами, на базе которых строится СЯС по беспроводной (радиомодем) и/или проводной (PLC-модем) технологии обмена данными между узлами сети на достаточно большие расстояния, для этого расстояние разбивается на короткие участки между узлами — хопов/hops. Промежуточные узлы выполняют не только основные свои функции обмена данными, но и функции усилителя сигналов при передаче их от узла до доступного узла, а также переадресацию сообщений, основываясь на их знании о топологии сети в целом.

Такая СЯС имеет хорошую пропускную способность и живучесть канала связи в радиусе покрытия. С учётом того, что топология СЯС имеет практически постоянную топологию (меняется только в случаях добавления новых узлов и/или внезапного отключения не работающих узлов), то СЯС может быть построена и на основе телекоммуникационной технологии PLC (power line communications) с использованием силовых электросетей (до 0.4 кВ) для обмена данными, при этом можно задействовать существующую инфраструктуру электросетей и минимизировать затраты на прокладку сетей передачи данных. Для практического использования ячеистых сетей при создании МИСУКУ необходимо разработать общие принципы построения как самоорганизующихся и самонастраивающихся ячеистых сетей приборов первичного учёта КУ, так и структуры самих МИСУКУ на их основе.

Самоорганизующиеся и самонастраивающиеся интеллектуальные ячеистые сети приборов учёта должны быть построены:

- использованием современных беспроводных технологий ZigBee и/или LoRaWAN, а также известных проводных интерфейсов связи;
- на базе абонентских счётчиков электрической (однофазных, трёхфазных и многоабонентских) энергии с подключёнными к ним по радиомодему ЭП с соответствующим программным обеспечением. Использование указанных счётчиков в качестве устройств сбора, предварительной обработки и хранения учётной информации с ЭП позволит продлить срок службы автономного источника питания ЭП и проблему обмена данными с системой учёта;
- по открытой архитектуре с целью адаптации СЯС к требованиям потребителя, т.е. допускать увеличения участников сети и их уменьшения без потери работоспособности;
- по модульному принципу, как в части аппаратных средств, так и программных средств. Такой подход позволит существенно сократить время разработки, отладки и эксплуатации системы;

- с возможностью автоматического реконфигурирования маршрутов обмена данными при сбое в сети и производить тестирования сетей;
- со встроенным набором интерфейсов связи различной природы для повышения достоверности информации при обмене данными по маршрутам обмена между узлами;
- по общему упрощённому протоколу обмена между узлами сети;
- по принципу многоуровневой структуры, где на уровне ячеистой сети имеется координатор, устанавливаемый на трансформаторной подстанции микрорайона и предназначенный для сбора учётной информации с ячеистой сети приборов учёта, обмена учётной информацией с МИСУКУ, обнаружения канала хищения электрической энергии. В качестве координатора сети используется трёхфазный-балансовый счётчик электрической энергии (ТБСЭЭ), так как он имеет широкие энергетические, коммуникационные, функциональные возможности и соответствующее программное обеспечение для выполнения функций координатора интеллектуальной ячеистой сети;
- учётом требований защиты учётной и служебной информации на всех этапах ее обработки и хранения, а также защиты аппаратно-программных средств от несанкционированного доступа (НСД) и программные средства оповещения координатора сети о наличии признака НСД в сетях. Наличие указанных средств позволить исключить человеческий фактор из процесса сбора, обработки и хранения данных в системе;
- использованием альтернативных средств связи, что обеспечивает связь с базовыми и/или абонентскими счётчиками электрической энергии по различным видам интерфейсов связи с целью повышения достоверности учётной и служебной информации;
- по принципу помехоустойчивости, т.е. обеспечивать устойчивую работу в условиях наличия помех и наводок различной природы, что повысить живучесть системы и повысить достоверность информации.

Все перечисленные принципы построения ячеистых сетей приборов учёта предполагают наличие элементов искусственного интеллекта и их аппаратной и программной поддержки.

Обсуждение результатов. В процессе построения интеллектуальной системы по учёту КУ возникает проблема, связанная с практической реализацией СЯС из первичных приборов учёта. Анализ существующих систем показывает, что около 50% счётчиков электрической энергии не подключены к существующим системам автоматизации, что связано с отсутствием в них широкого набора встроенных интерфейсов связи способных работать без сбоя в различных условиях функционирования, а также отсутствием в них соответствующего программного обеспечения формирования ячеистой сети. Низкую надёжность средств связи можно объяснить наличием в приборах учёта только одного интерфейса связи, что не гарантирует надёжную связь в системе и, как следствие, существенное снижение живучести всей системы и дополнительные эксплуатационные и финансовые расходы, связанные с этим.

Ещё одной является, проблема по автоматизации учёта расхода газа, воды и тепла, где в качестве измерительных приборов в основном используются механические счётчики, у которых отсутствуют средства связи для обмена учётными данными в системах автоматизации. Последнее время некоторые фирмы начали выпуск цифровых приборов учёта КУ, однако, отсутствие в них набора интерфейсов связи и повышенное энергопотребление делает их не пригодными для построения многоуровневых интеллектуальных систем автоматизации. Решения указанной проблемы видится в использовании АСЭЭ для съёма данных с механических счётчиков газа и воды, снабжённых электронными приставками [5] по радиоканалу. Такой подход к построению системы учёта первого уровня даёт возможность использовать энергетические, коммуникационные, программные и функциональные возможности АСЭЭ [1-4], для сбора, предварительной обработки и передачи учётной и служебной информации и создавать узел СЯС приборов учёта коммунальных услуг. Кроме того, в совре-

менных механических счётчиках УК предусмотрено специальное гнездо для установки ЭП со встроенным радиоканалом и соответствующим программным обеспечением [7], что позволит интегрировать уже установленные счётчики в существующие автоматизированные системы без их демонтажа.

На рис. 1 приведена схема узла интеллектуальной ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг в частном доме, где к однофазным и/или трёхфазным счётчикам электрической энергии по радиомодему подключены электронные приставки к механическим счётчикам газа и воды со встроенными радиомодемами и с автономными источниками питания, а на рис. 2 аналогичная схема, но с использованием многоабонентского счётчика электрической энергии (до 6 абонентов), устанавливаемый на лестничной площадке многоквартирных высотных домах со встроенным радиомодемом для связи с ЭП и координатором сети.

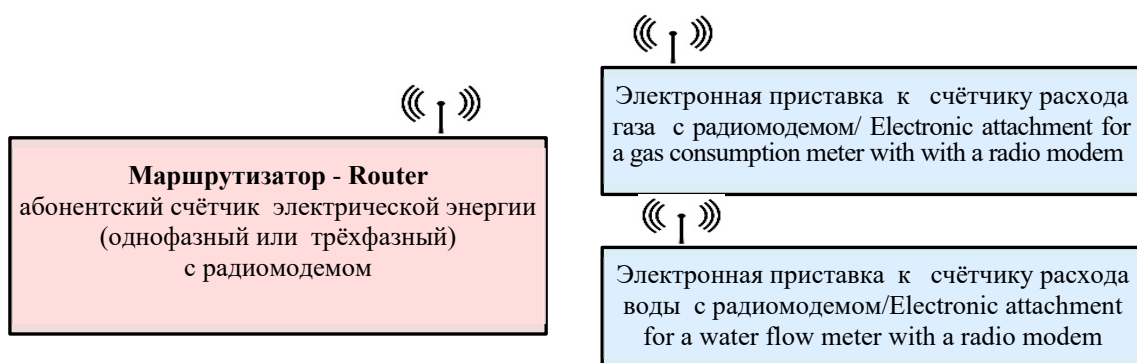


Рис.1. Схема узла первого уровня ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг в частном доме
Fig.1. Diagram of the first level node of a mesh network of utility metering devices in a private house



Рис. 2. Схема узла первого уровня ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг в многоквартирных высотных домах
Fig. 2. Diagram of the first level node of a mesh network of devices accounting of utilities in multi-apartment high-rise buildings

Идея СЯС заключается в передаче пакетов данных от одного узла сети к другому узлу, до тех пор, пока пакет данных не достигнет конечного адресата, это связано с тем, что каждый прибор учёта (узел сети) снабжён программой для динамического формирования маршрута, т.е. каждый прибор учёта в сети выполняет функции сетевого маршрутизатора.

С этой целью, все приборы сети должны постоянно обмениваться информацией о маршруте, на основе которой определяют дальнейшие действия: передавать пакет далее на следующий узел или сохранять его в соответствии с указаниями протокола.

Алгоритмы формирования маршрутов должны учитывать требования к маршрутам в соответствии с критерием выбора маршрута, формировать альтернативные варианты и соответствовать требованиям о кратчайшем маршруте. При необходимости получения учётной и/или служебной информации от некоторого узла, который находится вне зоны радиуса действия радиоканала (нет прямого доступа к узлу от МИСУКУ), сеть автоматически должна сформировать маршрут от МИСУКУ до конечного адресата. Причём, количество маршрутов и критериев выбора (по уровню помех, по длине, по метрике и т.д.) наиболее эффективного маршрута может быть несколько. При появлении в СЯС новых узлов, они обнаруживаются автоматически, как только возникает необходимость организовать связь до этих узлов, топология сети самонастраивается для работы и с новыми узлами. Удаление узла из СЯС происходит, если от узла нет ответа на запрос от координатора сети своего уровня и/или от оператора МИСУКУ. И в этом случае топология сети заново пересчитывается.

Применение общего алгоритма [21-24]. самоорганизации и самонастройки топологий ЯС приборов учёта всех уровней существенно упрощает процессы развёртывания, модернизации, а также их обслуживания. Возложение функций маршрутизаторов на абонентские счётчики электрической энергии (однофазные одноканальные и многоканальные однофазные), с подключёнными к ним по радиомодемам абонентских механических приборов учёта газа и воды, позволяет создавать ЯС без дополнительного сетевого оборудования, где каждый АСЭЭ может связываться с любым другим счётчиком напрямую или через промежуточные счётчики сети, что повышает живучесть как уровня СЯС, так и всей системы в целом.

Для решения наиболее важной и сложной проблемы построения МИСУКУ в ходе исследования разработаны структурные схемы узлов ячеистой сети приборов учёта коммунальных услуг в частном доме (рис. 1), многоквартирных высотных домах (рис. 2) и интеллектуальной системы коммерческого учёта коммунальных услуг микрорайона (рис. 3), где для сбора и предварительной обработки учётной информации используются абонентские счётчики электрической (они же и маршрутизаторы сети) с подключёнными к ним по радиоканалу электронными приставками (ЭП) к механическим счётчикам газа и воды. Недостатком ЭП является ограничение на энергопотребление, связанное с использованием аккумуляторного блока питания, поэтому сами ЭП в ячеистой сети выполняют роль датчиков учётной информации, что позволит снизить мощность потребления и увеличить срок службы источника питания ЭП.

Как видно из рис. 3, в качестве координатора ячеистой сети микрорайона используется трёхфазный балансовый счётчик электроэнергии, устанавливаемый на трансформаторной подстанции, со встроенными интерфейсами связи с абонентскими счётчиками (RF/PLC/RS) и GSM – модемом для связи с МИСУКУ первого уровня, позволит производить опрос счётчиков без дополнительного сетевого оборудования и существенно снизить расходы на построения МИСУКУ. Кроме того, данный счётчик может быть использован и для ведения учёта электроэнергии по фазам в отдельности и суммарного учёта с целью обнаружения канала хищения электроэнергии в микрорайоне с точностью до группы счётчиков, подключённых к фазе.

На рис. 4 приведён пример построения многоуровневой интеллектуальной системы коммерческого учёта коммунальных услуг с повышенной живучестью для двух микрорайонов с использованием ячеистых структур приборов учёта КУ.

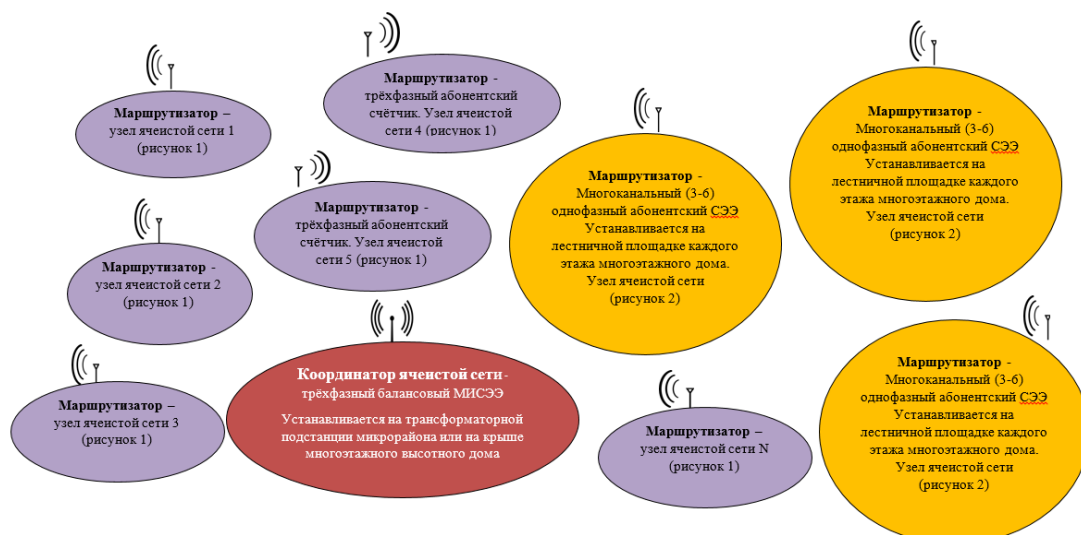


Рис. 3. Структура интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг микрорайона (второй уровень)
Fig. 3. Structure of the intelligent accounting system community services of the microdistrict (second level)

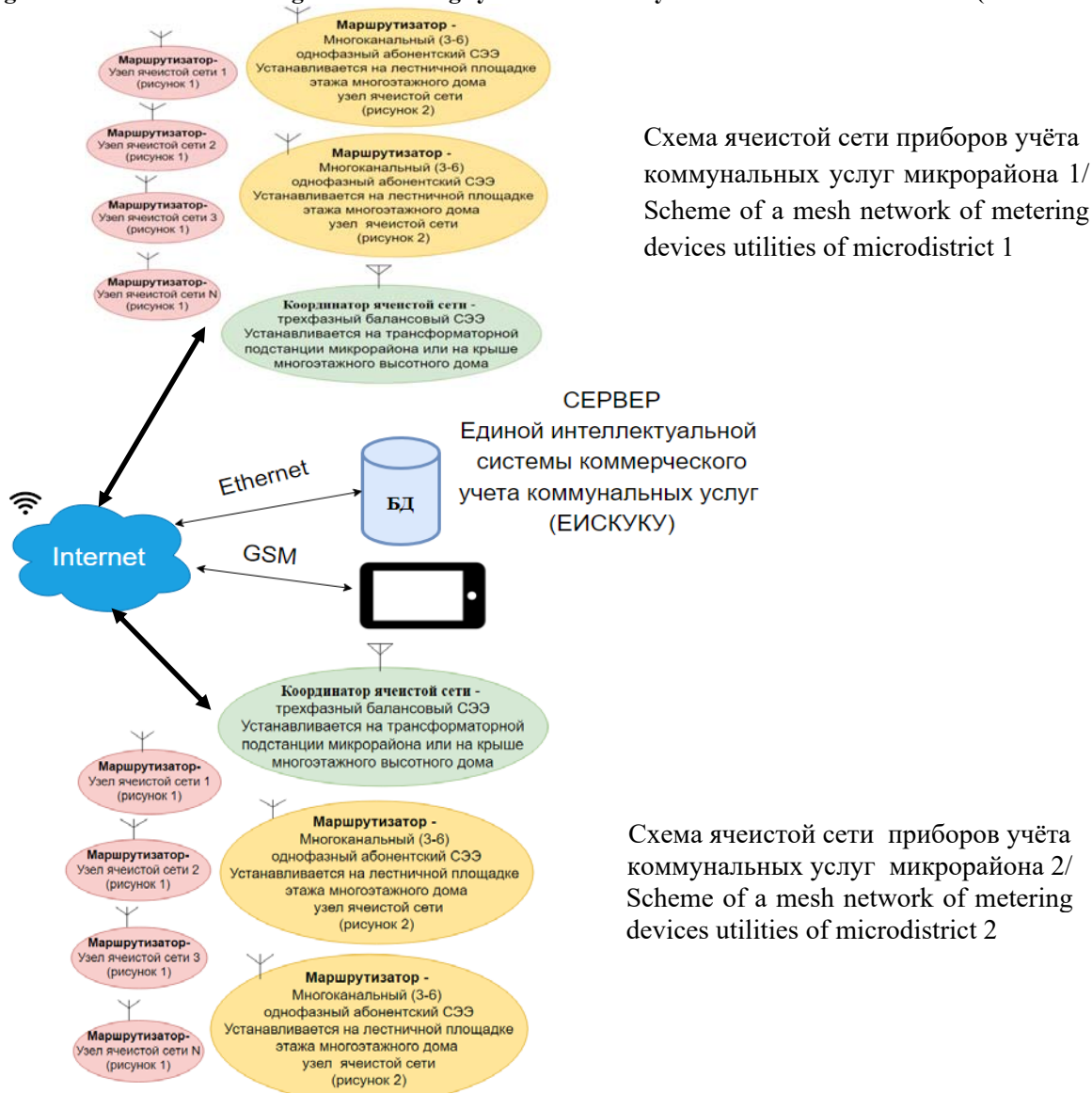


Рис. 4. Структура третьего уровня интеллектуальной системы учёта коммунальных услуг на базе ячеистых сетей двух микрорайонов
Fig. 4. Structure of the third level of the intelligent system accounting of utilities based on mesh networks of two microdistricts

По своей структуре МИСУКУ представляет собой многоуровневую автоматизированную систему учёта КУ с открытой архитектурой, топология которой имеет многосвязную конфигурацию и определяется местом расположения объектов съёма учётной информации. Такая структура характеризуется высокой скоростью обмена данными, повышенной живучестью и отказоустойчивостью.

Отметим, что повышение живучести СЯС основывается на интеллектуальных свойствах, предусмотренных в АСЭЭ. Эти свойства - возможность организации альтернативных маршрутов по обмену данными между узлами сети по заданному критерию, что позволит при отказе некоторого узла маршрута переназначать прописанные ему задачи на другие узлы.

Построение СЯС на счётчиках электрической энергии имеют и свои проблемы. Они связаны в основном с организацией эффективного взаимодействия между участниками сетей различных уровней как самоорганизующихся и самонастраиваемых сетей первичных приборов электрической энергии, на базе которых и строится многоуровневая система автоматизированного учёта КУ.

Вывод. Исследование в статье построено на анализе функциональных и коммуникационных возможностей современных приборов учёта коммунальных услуг и достижений в области информационных технологий и средств вычислительной техники, а также наличии аппаратных средств организации недорогих беспроводных линий связи передачи данных.

С использованием указанных средств в работе сформулированы основные принципы построения самонастраивающихся ячеистых сетей цифровых приборов учёта, при этом в качестве базового устройства системы первого уровня принимается абонентский счётчик электрической энергии (АСЭЭ), который имеет хорошие энергетические, коммуникационные и функциональные параметры.

Применение АСЭЭ с подключёнными к нему по радиоканалу механическими счётчиками газа и воды встроенными электронными приставками, позволит строить узел самоорганизующейся ячеистой сети (СЯС) первого уровня, а на основе этой сети создавать МИСУКУ с высокими коммуникационными характеристиками.

Приведённые в работе структуры МИСУКУ с повышенной живучестью на базе интеллектуальных ячеистых сетей приборов учёта коммунальных услуг позволяют повысить достоверность учётной информации и надёжность средств связи; увеличить суммарные годовые доходы поставщиков услуг за счёт: снижения коммерческих потерь и эффективности использования коммунальных услуг; повышения точности учёта и уменьшения эксплуатационных расходов представления услуг; сокращения штата контроллеров.

Следует отметить, что ячеистые сети могут быть построены не только на приборах учета, но и на базе исполнительных устройств, где локальные системы управления исполнительными устройствами реализованы на микроконтроллерах.

Например, ячеистая сеть, построенная с применением приборов учета расхода газа и локальных систем управления, может быть использована при создании по модульному принципу интеллектуальной системы по учету расхода и распределения потоков газа потребителем на газораспределительных станциях, что повысит надёжность системы, уменьшит расходы на проектирование и эксплуатацию.

Библиографический список:

1. Магомедов И.А., Курбанов Д.С., Курбанмагомедов К. Д., Аппаратное обеспечение и принципы построения АСКУЭ в бытовом секторе со свойствами встроенного контроля и самодиагностирования /Энергосбережение и водоподготовка, 2010, №2 (64), с.32-35
2. Магомедов И.А., Магомедов А.И., Курбанов Д.С. и др. Многоабонентский цифровой счётчик электрической энергии с дистанционным управлением/Патент РФ на полезную модель №152097 Оpubл. 10.05.2015 Бюл. № 13
3. Магомедов И.А., Магомедов А.И., Курбанов Д.С. Трёхфазный балансировочный счетчик электрической энергии с дистанционным управлением/Патент РФ на полезную модель 186740, Оpubл. 31.01.2019, Бюл. № 4

4. Магомедов А.И., Магомедов И.А. Интеллектуальный счётчик электрической энергии/Матер. докл. VIII междунар. молодежной науч. конф. «Тирчуринские чтения»/ в 4 т., Т. 1.-Казань: Казан. Энерг. Ун-т, 2013.-с. 224.
5. Магомедов А.И., Шихалиев Ш. Х., И. А. Магомедов, Саидов С. А. Электронная приставка к механическим счётчикам газа и воды для автоматизированных систем/ Патент на полезную модель № 213086 U1 Российская Федерация. Оpubл. 24.08.2022 Бюл. № 24
6. <https://sovet-ingenera.com/gaz/equip/umnye-schetchiki-gaza.html>
7. Саидов С. А., Магомедов И.А. Программа распознавания внешнего магнитного воздействия на механический счётчик учёта расхода газа с электронной приставкой.//Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2021611064, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 21.01.2021
8. https://spravochnik.ru/informatika/elektronnyy_schetchik_elektroenergii_principy_postroeniya_i_raboty/
9. <https://habr.com/ru/post/421653/>
10. <https://isup.ru/articles/18/1214/>
11. <https://dzen.ru/a/Ys8ZGcRGngbcLW0v>
12. Данилин А. В. Принципы построения и работы АСКУЭ/Энергетика и промышленность России. № 5 (45) май 2004 г.
13. http://www.energomera.ru/documentations/catalog/energomera_catalog_askue_8225.pdf
14. Мякочина, М. Архитектура АСКУЭ на базе решений компании «Миландр» / М. Мякочина // Компоненты и технологии. – 2015. – № 5(166). – С. 108111. – EDN TRLHSH.
15. <http://www.ackye.ru/activities/sozдание-askue/>
16. <https://tokzamer.ru/novosti/askue-princip-raboty>
17. Магомедов А.И., Хидивов М. Н., Магомедов И.А. Многофункциональный интеллектуальный счётчик электрической энергии с расширенными коммуникационными и функциональными возможностями и принципы его построения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023;50(1): 89-98.
18. <https://uchet-jkh.ru/publikacii/sravnenie-tehnologiy-askue.html>
19. Киреева, Е. В. "АСКУЭ "Энергомера" на базе технологии ZigBeer - надёжность и уверенность / Е. В. Киреева, С. А. Жижикин // Энергетик. – 2011. – № 8. – С. 56. – EDN OBGBJD.
20. Писарчук, А. С. Анализ применения беспроводных самоорганизующихся сетей / А. С. Писарчук, Д. Д. Мельникова // The World of Science Without Borders, 11 февраля 2022 года, 2022. – Р. 314-316. – EDN LZWQRY.
21. <https://wireless-e.ru/standarty/tehnologiya-lora-v-voprosah-i-otvetah/>
22. <https://ru.wikipedia.org/wiki/AODV>
23. Игнатов, Р. А. Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях / Р. А. Игнатов, В. В. Лосев // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. – 2018. – № 2. – С. 10. – EDN YVMXQH.
24. Ключников, В. О. Выбор оптимального протокола маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях передачи данных / В. О. Ключников // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 2(29). – DOI 10.26102/2310-6018/2020.29.2.038. – EDN ZAAZHN.

References

1. Magomedov I.A., Kurbanov D.S., Kurbanmagomedov K.D., Hardware and principles of building ASKUE in the domestic sector with the properties of built-in control and self-diagnosis/Energy saving and water treatment, 2010;2 (64):32-35 (In Russ)
2. Magomedov I.A., Magomedov A.I., Kurbanov D.S. and others. Multi-subscriber digital electric energy meter with remote control / Patent of the Russian Federation for a useful model No. 152097 Publ. 05/10/2015 Bull. No. 13 (In Russ)
3. Magomedov I.A., Magomedov A.I., Kurbanov D.S. Three-phase balance electric energy meter with remote control / Patent of the Russian Federation for utility model 186740, Publ. 31.01.2019; 4 (In Russ)
4. Magomedov A.I., Magomedov I.A. Intelligent electric energy meter / Mater. report VIII International youth scientific conf. "Tirchurin Readings" / in 4 vols., Vol. 1.-Kazan: Kazan. Energy University, 2013: 224. (In Russ)
5. Magomedov A.I., Shikhaliev Sh.Kh., A.I. Magomedov, Saidov S.A. Electronic attachment to mechanical gas and water meters for automated systems / Patent for utility model No.213086 U1 Russian Federation. Published 08/24/2022 Bull. No. 24(In Russ)
6. <https://sovet-ingenera.com/gaz/equip/umnye-schetchiki-gaza.html>
7. Saidov S.A., Magomedov I.A. Program for recognition of external magnetic impact on a mechanical gas flow meter with an electronic attachment.//Certificate of registration of computer programs No. 2021611064, date of state registration in the Register of computer programs 21.01. (In Russ)
8. https://spravochnik.ru/informatika/elektronnyy_schetchik_elektroenergii_principy_postroeniya_i_raboty/
9. <https://habr.com/en/post/421653/>

10. <https://isup.ru/articles/18/1214/>
11. <https://dzen.ru/a/Ys8ZGcRGngbcLW0v>
12. Danilin A. V. Principles of construction and operation of ASKUE/Energy and industry of Russia. May 2004; 5 (45) (In Russ)
13. http://www.energomera.ru/documentations/catalog/energomera_catalog_askue_8225.pdf
14. Myakochina, M. ASKUE architecture based on the solutions of the company "Milandr" / M. Myakochina. *Components and Technologies*. 2015;5 (166):108111. - EDN TRLHSH. (In Russ)
15. <http://www.ackye.ru/activities/creation-askue/>
16. <https://tokzamer.ru/novosti/askue-princip-work>
17. Magomedov A.I., Khidivov M.N., Magomedov I.A. Multifunctional smart electric energy meter with extended communication and functionality and principles of its construction. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023;50(1): 89-98. (In Russ)
18. <https://uchet-jkh.ru/publikacii/sravnenie-tehnologiy-askue.html>
19. Kireeva, E. V. "ASKUE "Energomera" based on ZigBeer technology - reliability and confidence / E. V. Kireeva, S. A. Zhizhikin. *Energetik*. 2011; 8: 56. - EDN OGBJD. (In Russ)
20. Pisarchuk, A. S. Analysis of the use of wireless self-organizing networks / A. S. Pisarchuk, D. D. Melnikova. *The World of Science Without Borders*, February 11, 2022, 2022; 314-316. – EDN LZWQRY. (In Russ)
21. <https://wireless-e.ru/standard/tehnologiya-lora-v-voprosah-i-otvetah/>
22. <https://ru.wikipedia.org/wiki/AODV>
23. Ignatov, R. A. Routing protocols in wireless sensor networks / R. A. Ignatov, V. V. Losev. *APRIORI. Series: Natural and technical sciences*. 2018; 2:10. - EDN YVMXQH. (In Russ)
24. Klyuchnikov, V. O. The choice of the optimal routing protocol in wireless sensor data transmission networks / V. O. Klyuchnikov. *Modeling, optimization and information technologies*. 2020; 8. 2 (29). – DOI 10.26102/2310-6018/2020.29.2.038. – EDN ZAAZHN. (In Russ)

Сведения об авторах:

Магомедов Иса Алигаджиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; misa1949@mail.ru

Хидивов Мурад Нурюпашев, аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем; mhidivov@gmail.com

Магомедов Алигаджи Исаевич, аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем; AG_Magomedov94@mail.ru

Усманов Майрбек Ширванович, начальник производственного отдела метрологического обеспечения; adm@grozny-tr.gazprom.ru

Information about authors:

Isa A. Magomedov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.; Department of Control and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; misa1949@mail.ru

Murad N. Khidivov, Post-graduate Student, Department of Computer Science and Automated Systems Software; mhidivov@gmail.com

Aligadzhi I. Magomedov, Post-graduate Student, Department of Software Engineering and Automated Systems; AG_Magomedov94@mail.ru

Mayrbek Sh. Usmanov, Head of the Production Department of Metrological Support; adm@grozny-tr.gazprom.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 18.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 20.01.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 20.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 519.711.3



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-153-165

Оригинальная статья /Original article

**Анализ основных подходов к моделированию процессов управления
организационно-техническими системами специального назначения**

А.В. Мельников¹, А.А. Караваев², А.О. Железняков³

¹Центральный филиал Российского государственного университета правосудия,

¹394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 95, Россия,

²Воронежский институт МВД России,

²394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия,

³Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,

³394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 а, Россия

Резюме. Цель. В настоящей работе рассмотрены и проанализированы основные подходы к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения, проведен их детальный сравнительный анализ. Данное обстоятельство позволит в дальнейшем разработать методические рекомендации по повышению эффективности и обоснованности управленческих решений. **Метод.** В данной работе применены: формальные модели, структурные модели объектов, модели в условиях полной определенности, модели в условиях риска с использованием дерева решений, модели в условиях неопределенности, модели математического программирования, модели качества, модели эффективности. **Результат.** В ходе рассмотрения и анализа основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения были решены следующие задачи: проведена предварительная систематизация имеющихся данных об особенностях разработки моделей принятия управленческих решений; произведен сравнительный анализ данных моделей, в ходе которого установлено, что большинство из разработанных моделей могут быть применимы только в определенных предметных областях, что существенно ограничивает их универсальность; имеют трудоемкую процедуру обработки исходных данных; оказываются недостаточно адаптивными к быстро меняющимся условиям. **Вывод.** Рассмотренные подходы к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения являются мощным инструментом для принятия обоснованных и эффективных решений в управлении, они позволяют учесть множество факторов, провести сценарный анализ и оптимизировать решения, а также использовать ЭВМ для более точных и сложных расчетов.

Ключевые слова: основные подходы, моделирование, принятие решений, управление, процесс, анализ

Для цитирования: А.В. Мельников, А.А. Караваев, А.О. Железняков. Анализ основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1): 153-165. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-153-165

**Analysis of the main approaches to modeling management processes
for special-purpose organizational and technical systems**

A.V. Melnikov¹, A.A. Karavaev², A.O. Zheleznyakov³

¹Central branch of the Russian State University of Justice,

¹95 20th Anniversary of October St., Voronezh 394006, Russia,

²Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,

²53 Patriotov Ave., Voronezh 394065, Russia,

³Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»,
³ 54 a Old Bolsheviks St., Voronezh 394064, Russia

Abstract. Objective. In this paper, the main approaches to modeling the management processes of organizational and technical systems for special purposes are reviewed and analyzed, and their detailed comparative analysis is carried out. This circumstance will allow us to further develop methodological recommendations to improve the efficiency and validity of management decisions. **Method.** This work uses: formal models, structural models of objects, models under conditions of complete certainty, models under conditions of risk using a decision tree, models under conditions of uncertainty, mathematical programming models, quality models, efficiency models. **Result.** In the course of reviewing and analyzing the main approaches to modeling management processes for special-purpose organizational and technical systems, the following tasks were solved: a preliminary systematization of the available data on the features of the development of management decision-making models was carried out; a comparative analysis of these models was carried out, during which it was established that most of the developed models can only be applicable in certain subject areas, which significantly limits their universality; have a labor-intensive procedure for processing source data; turn out to be insufficiently adaptive to rapidly changing conditions. **Conclusion.** The considered approaches to modeling management processes for special-purpose organizational and technical systems are a powerful tool for making informed and effective management decisions; they allow you to take into account many factors, conduct scenario analysis and optimize solutions, as well as use computers for more accurate and complex calculations.

Keywords: basic approaches, modeling, decision making, management, process, analysis.

For citation: A.V. Melnikov, A.A. Karavaev, A.O. Zheleznyakov. Analysis of the main approaches to modeling management processes for special-purpose organizational and technical systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1): 153-165. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-153-165

Введение. Принятие решений является неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. От выбора профессии до планирования отдыха или управления финансами - все эти решения определяют нашу жизнь и влияют на наше будущее. В личной жизни мы обычно полагаемся на наше логическое мышление и интуицию, чтобы сделать правильный выбор. Однако, когда дело касается принятия решений в рамках служебной деятельности, особенно для руководителей, подход должен быть более системным и основан на разработке новых научных моделей. Ошибки в управленческих решениях могут иметь серьезные последствия, поэтому важно применять научные подходы для повышения эффективности и обоснованности принимаемых управленческих решений.

Разработка и совершенствование процессов управления открывает огромные перспективы для создания более эффективных стратегий, улучшения процессов принятия управленческих решений и, следовательно, достижения устойчивого функционирования в условиях быстро развивающихся информационных технологий.

Постановка задачи. В настоящей работе будут рассмотрены и проанализированы основные подходы к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения, проведен их детальный сравнительный анализ. Данное обстоятельство позволит в дальнейшем разработать методические рекомендации по повышению эффективности и обоснованности управленческих решений.

Представленный авторами перечень основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения не является исчерпывающим, именно поэтому лицу, принимающему решение необходимо выбрать наиболее подходящий. Большая часть из разработанных моделей принятия управленческих

решений может быть применима только в определенных предметных областях, что существенно ограничивает их универсальность.

Методы исследования. В научной литературе [1-4] разработано большое количество различных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения. В данной работе будут проанализированы самые основные. Произведем их детальное рассмотрение.

1. Формальные модели процесса принятия управленческих решений. Использование данных моделей делает процесс принятия управленческих решений более прозрачным и объективным. В качестве примера рассмотрим формулы в общем виде, которые представлены следующим образом [1, 2]:

$$\langle S_o, T, Q | S, A, B, Y, f, K, Y_{opt} \rangle \quad (1)$$

для индивидуального ЛПР,

$$\langle S_o, T, Q | S, A, B, Y, F(f), L, Y_{opt} \rangle \quad (2)$$

для группового ЛПР, где: справа от вертикальной черты располагаются неизвестные элементы, а слева известные; Y_{opt} – оптимальное управленческое решение; L – принцип согласования индивидуальных предпочтений для формирования группового предпочтения; K – критерий выбора наилучшего управленческого решения; f – функция предпочтения ЛПР; $F(f)$ – функция группового предпочтения; $Y = (Y_1, \dots, Y_m)$ – множество альтернативных вариантов управленческого решения; $A = (A_1, \dots, A_k)$ – множество целей, преследуемых при принятии управленческого решения; $B = (B_1, \dots, B_L)$ – множество ограничений при принятии управленческого решения; S_o – проблемная ситуация; Q – имеющиеся для принятия управленческого решения ресурсы; T – время для принятия управленческого решения; $S = (S_1, \dots, S_n)$ – множество альтернативных ситуаций, уточняющих проблемную ситуацию S_o .

Тогда, сущность принятия управленческого решения будет сформулирована следующим образом: в условиях проблемной ситуации S_o с заданным временем T , а также доступными ресурсами Q требуется проанализировать проблемную ситуацию S_o с помощью гипотетических сценариев S , выделить множество целей A , установить ограничения B , рассмотреть альтернативные варианты решения Y ; далее необходимо оценить индивидуальные предпочтения f и определить оптимальное решение Y_{opt} , руководствуясь выбранным критерием K – для индивидуального руководителя, либо учитывая групповые предпочтения $F(f)$, основанные на принципе согласования L – для коллективного принятия решений.

При анализе проблемной управленческой ситуации необходимо учитывать ее содержательный аспект и, по возможности, представить ее количественные характеристики. В особенности, требуется указать суть проблемы, условия ее возникновения, а также причины и ход ее развития. Время, необходимое для принятия решения T , может различаться в зависимости от типа задачи. Срочные задачи требуют принятия решения в течение секунд или часов, в то время как долгосрочные задачи могут растягиваться на месяцы или годы. Доступное время T существенно влияет на возможность получить полную и достоверную информацию о проблематичной ситуации S_o и аргументировать последствия принятых решений. Для нахождения оптимального управленческого решения Y_{opt} могут быть использованы различные ресурсы Q (среди них знания и опыт руководителей, научно-технический

потенциал исследовательских организаций, автоматизированные системы управления, а также финансовые и материальные ресурсы).

Основные недостатки формальных моделей в принятии управленческих решений [1, 2]:

1. Такие модели часто оперируют упрощенными представлениями реальности, игнорируя сложные взаимодействия и нелинейные зависимости, что может искажать результаты анализа и прогнозирования.

2. Результаты формальных моделей могут сильно зависеть от точности и полноты исходных данных, что создает уязвимость в случае наличия ошибок или неполных данных.

2. Структурные модели объектов управления. Представляют собой абстракции реальных процессов, предназначенные для анализа и понимания их внутренней структуры и взаимосвязей.

Схема, представленная на рис. 1, иллюстрирует обобщенную структурную модель объекта управления [1, 5]:

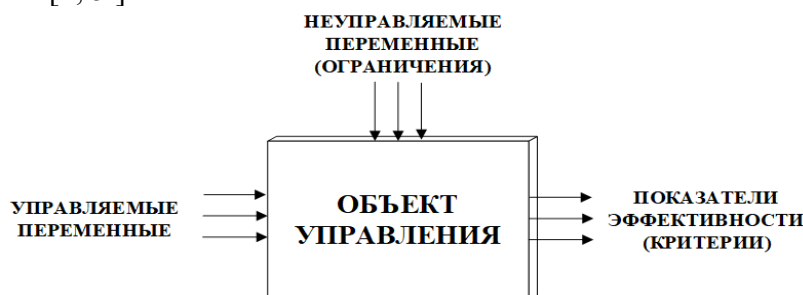


Рис. 1. Обобщенная структурная модель объекта управления

Fig. 1. Generalized structural model of the control object

Количественно измеренные значения и характеристики, которыми могут управлять ЛПР (лица, принимающие решение), называются управляемыми переменными.

Факторы, которые лицо, принимающее управленческое решение не в состоянии изменить называют неуправляемыми переменными.

При помощи соотношений представленная выше модель связывает «Входы» (характеристики и параметры внешней среды) с «Выходами» (критериями). Если критерий обозначить через Z , а переменные решения через $\{y_1, \dots, y_n\}$, то взаимосвязь между критерием и управляемыми переменными можно представить, как функцию:

$$Z = f(y_1, \dots, y_n) \quad (3)$$

При формировании таких моделей обычно учитывают [1, 5]:

- 1) список всех компонентов, которые будут влиять эффективность;
- 2) влияние каждого компонента списка на функционирование при различных вариантах решений;
- 3) исключение из списка факторов, которые не влияют на выбор вариантов решений или имеют незначительное влияние при построении модели;
- 4) предварительную группировку некоторых взаимосвязанных компонентов для упрощения модели.

В условиях быстро развивающихся информационных технологий, где каждое принятое управленческое решение может иметь далеко идущие последствия, структурные модели становятся неотъемлемым инструментом управления.

Вот лишь некоторые недостатки данных моделей [1, 5]:

1. Структурные модели упрощают реальные управленческие процессы, что затрудняет адекватное принятие управленческих решений в динамичной среде.

2. Управленческие решения, основанные на данных моделях, игнорируют любую неопределенность.

В теории принятия управленческих решений ряд авторов [2, 3, 4] рассматривают классификацию, представленную на рис. 2.

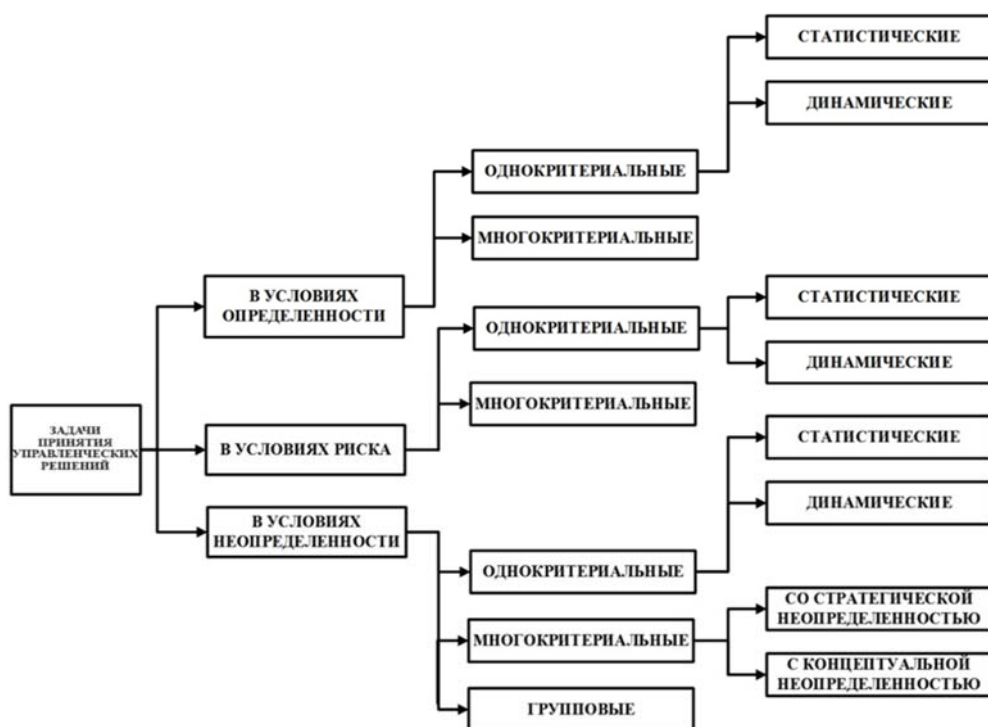


Рис. 2. Классификация задач принятия управленческих решений

Fig. 2. Classification of management decision making problems

Каждый тип задачи принятия управленческих решений (рис. 2) определяет выбор модели (метода) и технологии разработки решений.

Далее перейдем к рассмотрению моделей принятия управленческих решений в условиях определенности, неопределенности и риска.

3. Модели принятия управленческих решений в условиях полной определенности. Принятие оптимального управленческого решения – это важный процесс, который может быть основан на анализе оценок альтернатив и весов критериев. Когда решается задача на максимизацию, мы стремимся выбрать наиболее предпочтительную альтернативу, то есть ту, которая имеет самую высокую оценку. Однако, чтобы принять идеальное управленческое решение, нам необходимо вычислить функции полезности для каждой альтернативы по следующей формуле [6, 7]:

$$G_i = \sum_{j=1}^k X_{ij}W_j, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Как правило, имеется n альтернатив и k критериев, где: G_i – функция полезности для каждой альтернативы; X_{ij} – оценка i альтернативы по j критерию; W_j – весовой коэффициент (степень важности) j критерия.

Функция полезности является инструментом, который позволяет оценить степень удовлетворения или пользы, которую принесет каждая альтернатива. Для вычисления функций полезности, как правило используют различные численные методы, такие как метод анализа иерархий, метод взвешенных экспертных оценок или метод предпочтений.

Каждый из приведенных выше численных методов предлагает свой подход к определению важности критериев и оценке альтернатив.

Применение метода анализа иерархий позволяет разбить сложную задачу на более простые подзадачи, определить важность каждого критерия и сравнить альтернативы по каждому критерию. Метод взвешенных экспертных оценок основан на сборе мнений экспертов и их последующей взвешенной оценке. Метод предпочтений позволяет ранжировать альтернативы на основе предпочтений, выраженных лицом, принимающим решение.

Кроме того, существуют и другие подходы к вычислению функций полезности, такие как методы математического программирования, программного анализа и теории игр. Каж-

дый из них предлагает свои преимущества и недостатки, и выбор метода зависит от конкретной управленческой задачи и доступных сил, и средств.

Важно отметить, что вычисление функций полезности является лишь одной из стадий принятия управленческого решения. После этого необходимо проанализировать полученные результаты, учесть возможные ограничения и риски. Таким образом, применение функций полезности является важным инструментом в процессе принятия оптимального управленческого решения. Они позволяют учесть различные критерии и веса, а также оценить привлекательность каждой альтернативы. Выбор метода для вычисления таких функций зависит от конкретной задачи и доступности сил и средств, а результаты анализа помогут принять наиболее обоснованное и эффективное управленческое решение.

При использовании данной модели необходимо учитывать следующие недостатки [6, 7]: ограниченность в обработке новой информации; реализация приводит к игнорированию важных переменных.

4. Модели принятия управленческих решений в условиях риска с использованием дерева решений. Данный вид модели является эффективным инструментом для ЛПР, которому необходимо принять важные управленческие решения, основываясь на вероятностях различных сценариев развития ситуации.

Дерево решений представляет собой графическую схему, где каждая дуга соответствует возможному варианту развития ситуации, а вершины обозначают «Развилки» – моменты выбора между разными сценариями [8, 9]. Дерево решений позволяет визуализировать все возможные сценарии развития событий и помогает ЛПР проследить последствия для каждого варианта. Это в свою очередь позволяет принять более обоснованные управленческие решения, основанные на объективных вероятностях. Однако, для эффективного использования данной модели, необходимо иметь достаточно точные данные о вероятностях развития событий. Также важно учитывать, что данная модель лишь предоставляет инструмент для анализа и оценки вероятностей различных сценариев.

Таким образом, использование данной модели поможет структурировать информацию, учитывать вероятности и принимать наиболее обоснованные управленческие решения. Недостатки моделей данного вида [8, 9]:

1. Малейшие изменения в данных могут привести к большим изменениям в структуре и результатах дерева решений.

2. Данные модели обладают низкой устойчивостью в условиях риска.

3. Деревья решений не всегда эффективно справляются с неопределенностью; предполагается, что будущие события могут быть точно спрогнозированы на основе имеющихся данных.

4. Итоговая модель, как правило, становится чрезмерно сложной и адаптированной к конкретным данным.

5. Недостаточный учет взаимосвязей между переменными. В условиях риска, где факторы могут взаимодействовать и влиять друг на друга, отсутствие учета взаимосвязей может привести к неверным выводам и решениям.

6. Неспособность управления многокритериальностью. В реальных сценариях риска часто существует множество критериев, которые необходимо учесть при принятии управленческих решений. Деревья решений, как правило, ориентированы на оптимизацию одного критерия, что может быть недостаточным для адекватного управления многокритериальностью в условиях риска.

5. Модели принятия управленческих решений в условиях неопределенности.

Как правило, на практике любое принятие управленческого решения является многокритериальным, а подавляющее большинство подобных определяются, как выделение наиболее предпочтительной альтернативы. Обоснованность выбора альтернативы как наилучшей определяется тем, насколько точно модель многокритериального выбора отвеча-

ет характеру решаемой задачи. В общем виде многокритериальная модель в условиях неопределенности записывается следующим образом.

Пусть $k = (k_1, k_2, k_3, k_m)$ - вектор наименований свойств, которые характеризуют качество альтернатив из X и учитываются при их анализе и выборе предпочтительных из них. Иными словами, пусть именно в смысле требований к указанным свойствам определяется ЛПР и формулируется принцип оптимальности решений.

Будем рассматривать случай, когда $m \geq 1$ и все $k_i, i = 1, 2, 3, \dots, m$ являются критериями, то есть могут быть выражены количественно. Количественное выражение свойств конкурирующих альтернатив реализуется отображениями (целевыми функциями) $f_i : X \cdot S \cdot E_1, i = 1, \dots, m$.

Значение $f_i(x | s)$ называют оценкой (последствием реализации) альтернативы $x \in X$ по i -ому критерию при условии $s \in S$ ее реализации.

Через $f_i(x | s)$ будем обозначать в общем случае (при $|s| > 1$) многозначную оценку альтернативы $x \in X$ по i -ому критерию, которая (оценка) описывает все возможные последствия (в смысле свойства $k_i, i = 1, 2, 3, \dots, m$) реализации альтернативы.

Вектор $f_i(x | s) = (f_1(x | s), f_2(x | s), \dots, f_m(x | s)) \in E_m$ называют оценкой альтернативы $x \in X$ по векторному критерию условиях $s \in S$ ее реализации или многокритериальной оценкой (последствием).

Через $f_i(x | s) = (f_1(x | s), f_2(x | s), \dots, f_m(x | s)) \in E_m$ обозначим в общем случае многозначную оценку альтернативы $x \in X$ по векторному критерию.

Таким образом, введено предположение существования и известности отображения $f_i : X \cdot S \cdot F_x \in E_m$. Пространство E_m называют критериальным, а F_x - образом множества X в критериальном пространстве (пространстве последствий). При сформулированных предположениях относительно компонент модели $\{X, S, R\}$ требование выделения из X альтернатив, предпочтительных смысле априори неизвестной ЛПР, определяет задачу многокритериального выбора в условиях неопределенности.

Общая характеристика проблем принятия управленческих решений в условиях неопределенности [10, 11]:

- 1) получение оценок альтернатив осуществляется на основе субъективных предпочтений ЛПР или группы экспертов;
- 2) эксперты, участвующие в оценке альтернатив осуществляют аналитическую работу по уменьшению неопределенности информации;
- 3) на момент решения проблемы неопределенность обусловлена нехваткой информации.

6. Модели принятия управленческих решений на основе математического программирования. Задача о назначениях является типичным примером данной модели.

Сформулируем ее в общем виде. Пусть для принятия некоторого управленческого решения необходимы ограничения, тогда исходными параметрами модели задачи о назначениях будут: n – количество сотрудников; m – количество маршрутов; $a_i = 1$ – один сотрудник $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$; $b_j = 1$ – один маршрут $B_j (j = 1, 2, \dots, m)$; c_{ij} – характеристика качества работы сотрудником на соответствующем маршруте. В качестве исходных данных введем переменную x_{ij} – факт выхода или не выхода сотрудника A_i на маршрут B_j , которая будет определяться по следующему правилу [12, 13]:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{факт не выхода сотрудника на маршрут;} \\ 1, & \text{факт выхода сотрудника на маршрут.} \end{cases} \quad (5)$$

Имеется целевая функция L_x равная общей (суммарной) характеристики качества, такая, что зависит от некоторых параметров c_{ij} , которые образуют матрицу, представленную в табл. 1.

Таблица 1. Матрица эффективности (затрат)
Table 1. Efficiency (cost) matrix

A_i	B_j			Количество сотрудников Quantity employees
	B_1	B_2	B_m	
A_1	c_{11}	c_{12}	c_{1m}	1
A_2	c_{21}	c_{22}	c_{2m}	1
A_n	c_{n1}	c_{n2}	c_{nm}	1
Количество маршрутов Quantity routes	1	1	1	$\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{j=1}^m b_j$

При максимизации целевой функции данная матрица называется матрицей эффективности, а при минимизации матрицей затрат. Общий вид математической модели задачи о назначениях имеет следующий вид [12, 13]:

$$\begin{cases} L(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max (\min); \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, (i = 1, 2, \dots, n); \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, (j = 1, 2, \dots, m); \\ 0 \leq x_{ij} \leq 1. \end{cases} \quad (6)$$

Данная модель является частным случаем общего класса задач оптимизации, именно поэтому существует большое разнообразие методов ее решения.

Для данных моделей характерны следующие недостатки [12, 13]:

1. Формирование данных моделей может быть сложным процессом, особенно в случае больших и сложных систем. Данное обстоятельство может потребовать значительных временных затрат.

2. Многие модели математического программирования предполагают статичность и не учитывают динамические изменения во времени. Данное обстоятельство может быть недостаточным для эффективного управления в условиях быстро меняющейся среды.

3. Ограниченность учета неопределенности. Многие управленческие решения подвержены неопределенности, которую математическим моделям достаточно трудно учесть.

4. Для построения и интерпретации математических моделей требуется определенное экспертное понимание предметной области, что может ограничивать их применимость в некоторых ситуациях.

Далее, перейдем к рассмотрению моделей качества и эффективности принятия управленческих решений.

7. Модели качества принятия управленческого решения. Данные модели позволяют оценивать и анализировать качество принимаемых управленческих решений; помогают выявить сильные и слабые стороны принятых управленческих решений для реализации возможных мер по их улучшению.

Коэффициент качества принятия управленческого решения может быть рассчитан по следующей формуле [14, 15]:

$$K_k = \frac{R_v - R_n}{R_p} \times 100\% \quad (7)$$

где: R_p – количество выполненных некачественных управленческих решений; K_k – коэффициент качества управленческого решения; R_n – количество принятых управленческих решений; R_v – количество выполненных управленческих решений.

В случаях получения нескольких результатов в ходе принятия управленческого решения, иногда требуется вычислить математическое ожидание [15, 16]:

$$M_o = \sum_{i=1}^n p_i \times r_i \quad (8)$$

где: r_i – i возможный результат принятого управленческого решения; p_i – вероятность i результата; n – число возможных результатов принятого управленческого решения.

Некоторые недостатки моделей качества [14, 15]:

1. Многие из существующих моделей не в полной мере учитывают сложные взаимосвязи между различными параметрами, что приводит к упрощению реальности.

2. Данные модели являются менее приспособленными к быстро меняющейся среде.

3. Модели качества управленческого решения недостаточно учитывают риски, что может привести к неудачным решениям в условиях неопределенности.

4. Многие модели качества управленческого решения включают субъективные оценки, которые могут быть подвержены влиянию личных предпочтений.

5. Некоторые из данных моделей могут быть применимы только в определенных предметных областях, что существенно ограничивает их универсальность.

8. **Модели эффективности принятия управленческого решения.** В последнее время основными параметрами при оценке эффективности управленческих решений являются силы и средства (временные, ресурсные, финансовые и т.д.), в таком случае величину оценки эффективности управленческого решения можно определить [16, 17]:

$$F_r = \frac{C_i}{P_i} \times 100\% \quad (9)$$

где: P_i – реальное использование сил и средств (i) для реализации управленческого решения; F_r – величина оценки эффективности управленческого решения; C_i – стандарт на использование сил и средств (i) для реализации управленческого решения.

Для данной модели целесообразно осуществить расчет оценки эффективности по нескольким показателям (p) и затем по приоритетности показателей H_i найти их среднее значение [16, 17]:

$$F_r = \frac{\sum_{i=1}^p F_r \times i \times H_i}{p} \quad (10)$$

Для получения высоких показателей эффективности за счет принимаемых и реализуемых управленческих решений важно задействовать как можно больше параметров повышения эффективности. Общие недостатки данных моделей, следующие [16, 17]:

1. Модели эффективности управленческих решений часто ограничиваются количественными показателями.

2. Многие модели эффективности сталкиваются с проблемами в обработке больших данных (сложность анализа и интерпретации массивных объемов информации может привести к искаженным выводам).

3. Существующие модели эффективности управленческих решений оказываются недостаточно адаптивными к быстро меняющимся условиям.

Обсуждение результатов. Безусловно, рассмотренный авторами перечень основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения не является исчерпывающим, именно поэтому лицу, принима-

ющему решение необходимо выбрать наиболее подходящий. При выборе оптимальной модели необходимо учесть следующие факторы:

1. Необходимо определить цель управленческого решения (некоторые из рассмотренных моделей могут быть более подходящими для определенных целей, чем другие). Так, например, одна может быть более эффективна для решения сложных проблем, в то время как другая будет более подходящей для простых ситуаций.

2. Несмотря на существование большого количества моделей принятия управленческих решений, некоторые из них не применимы на практике. Выбор хотя бы одной не дает гарантии, что принятое управленческое решение будет обоснованным и эффективным.

3. Возможность использования нескольких моделей одновременно, так, например, одна из рассмотренных может использоваться для предварительного управленческого решения с последующим применением более строгой модели.

Рассмотрим характеристики представленных выше основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения

Table 2. Characteristics of the main approaches to modeling management processes for special-purpose organizational and technical systems

№	Наименование Name	Особенности Features	Недостатки Disadvantages
1	Формальные модели Formal models	1. Процесс принятия управленческих решений более прозрачный и объективный/ The management decision-making process is more transparent and objective.	1. Упрощенное представление реальности, игнорируя сложные взаимодействия и нелинейные зависимости, что может искажать результаты анализа и прогнозирования. 2. Результаты могут сильно зависеть от точности и полноты исходных данных, что создает уязвимость в случае наличия ошибок или неполных данных/ The results depend on the accuracy and completeness of the source data
2	Структурные модели объектов Structural models	1. Абстракции реальных процессов, предназначенные для анализа и понимания внутренней структуры и взаимосвязей/ Abstractions	1. Упрощение реальных управленческих процессов затрудняет адекватное принятие решений в динамичной среде. 2. Игнорирование любой неопределенности/ Ignoring uncertainty
3	Модели в условиях полной определенности Models under conditions of complete certainty	1. Выбор альтернативы, которая имеет самую высокую оценку на основе вычисления функции полезности для каждой альтернативы/ Selecting an Alternative 2. Возможность получения однозначного решения/ unambiguous solution.	1. Ограниченность в обработке новой информации/ Limitation in processing new information. 2. Реализация приводит к игнорированию важных переменных/ The implementation results in important variables being ignored.
4	Модели в условиях риска с использованием дерева решений Models under risk using decision trees	1. Основаны на вероятностях различных сценариев развития ситуации/ Probabilistic scenarios for the development of the situation. 2. Структура иерархична/ The structure is hierarchical	1. Малейшие изменения в данных могут привести к большим изменениям в структуре и результатах дерева решений. 2. Низкая устойчивость в условиях риска. 3. Итоговая модель чрезмерно сложная и адаптирована к конкретным данным. 4. Отсутствие учета взаимосвязей, которое может привести к неверным выводам. 5. Неспособность управления многокритериальностью/ Inability to manage multi-criteria.
5	Модели в условиях неопределенности Models under Uncertainty	1. Неопределенность обусловлена нехваткой информации/ Not enough information 2. Эксперты, участвующие в оценке альтернатив осуществляют аналитическую работу по уменьшению неопределенности информации/ Uncertainty reduction	1. Получение оценок альтернатив осуществляется на основе субъективных предпочтений ЛПР или группы экспертов/ Evaluations of alternatives are obtained based on subjective preferences 2. Отсутствие четкой структуры/ Lack of clear structure

6	Модели математического программирования Mathematical programming models	1. Основной целью является нахождение оптимального решения с учетом заданных ограничений и целевых функций/ Finding the optimal solution taking into account given constraints and objective functions. 2. Позволяют решать задачи оптимизации в различных предметных областях/ Optimization	1. В случае больших и сложных систем сформировать модель достаточно сложно. 2. Большая вычислительная сложность/. High computational complexity. 3. Отсутствие учета динамических изменений во времени. 4. Ограниченность учета неопределенности. 5. Требуется экспертное понимание предметной области, что может ограничивать применимость в некоторых ситуациях.
7	Модели качества Quality Models	1. Оценка и анализ качества принимаемых решений/ Assessment and analysis of the quality of solutions. 2. Выявление сильных и слабых сторон для реализации мер по улучшению/ Identifying strengths and weaknesses	1. Отсутствие учета сложных взаимосвязей между различными параметрами, что приводит к упрощению реальности. 2. Недостаточный учет рисков/ Insufficient risk consideration. 3. Субъективные оценки, которые могут быть подвержены влиянию личных предпочтений.
8	Модели эффективности Performance Models	1. Возможность учета нескольких критериев/ Several criteria. 2. Учет качественных показателей/ Accounting for quality indicators.	1. Получение исключительно количественных показателей. 2. Сложность анализа и интерпретации массивных объемов информации. 3. Отсутствие адаптации к быстро меняющимся условиям/ Lack of adaptation to rapidly changing conditions.

Для оценки их обоснованности и эффективности необходимо проводить многочисленные вычислительные эксперименты. В ходе рассмотрения и анализа основных подходов к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения были решены следующие задачи:

1. Проведена предварительная систематизация имеющихся данных об особенностях разработки моделей принятия управленческих решений.

2. Произведен сравнительный анализ данных моделей, в ходе которого установлено, что большинство из разработанных моделей:

1) могут быть применимы только в определенных предметных областях, что существенно ограничивает их универсальность;

2) имеют трудоемкую процедуру обработки исходных данных;

3) оказываются недостаточно адаптивными к быстро меняющимся условиям.

Все вышеперечисленные обстоятельства позволят в дальнейшем разработать методические рекомендации по повышению эффективности и обоснованности управленческих решений.

Вывод. Моделирование играет важную роль в современном управлении, позволяя оценить различные варианты управленческих решений с учетом прогнозных значений и ресурсных затрат. Однако, помимо этих преимуществ, существуют и другие аспекты, которые делают разрабатываемые модели незаменимыми инструментами в анализе информации и принятии управленческих решений.

Во-первых, моделирование позволяет учесть сложные взаимосвязи и зависимости между различными факторами. Например, при анализе экономической ситуации, модель может учесть взаимодействие множества факторов, и тем самым предоставить более точные результаты и прогнозы.

Во-вторых, модели позволяют проводить сценарный анализ и оптимизировать решения. С помощью моделирования можно оценить различные варианты решений и выбрать наилучший с учетом заданных критериев эффективности. Это позволяет экономить время и ресурсы, принять обоснованные управленческие решения, основанные на количественных данных. Кроме того, использование ЭВМ при моделировании значительно облегчает процесс анализа и позволяет проводить более сложные и детальные расчеты. Современные программы и алгоритмы позволяют эффективно решать задачи оптимизации, симуляции и прогнозирования. Это дает возможность исследовать различные модели более подробно и точно, а также проводить анализ для оценки влияния изменений входных данных на результаты

модели. Таким образом, рассмотренные подходы к моделированию процессов управления организационно-техническими системами специального назначения являются мощным инструментом для принятия обоснованных и эффективных решений в управлении, они позволяют учесть множество факторов, провести сценарный анализ и оптимизировать решения, а также использовать ЭВМ для более точных и сложных расчетов.

Библиографический список:

1. Бурков, В. Н. Модели, методы и механизмы управления и принятия решений в организационных системах : учебное пособие / В. Н. Бурков, Н. А. Коргин. – Москва : Академия ИБС, 2009. – 222 с.
2. Орлов, А.И. Теория принятия решений / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2005. – 656 с.
3. Васильев, Д.К. Типовые решения в управлении проектами / Д.К. Васильев, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков. – Москва : ИПУ РАН, 2003. – 75 с.
4. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 176 с.
5. Жилин, Р.А. Моделирование оценки эффективности функционирования систем безопасности объектов органов внутренних дел / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, С. Б. Ахлюстин, В. В. Горлов. – Воронеж : Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2023. – 104 с.
6. Данилова, О.Ю. Моделирование процессов принятия решения в правоохранительной деятельности / О. Ю. Данилова, А. В. Меньших, В. В. Меньших [и др.]. – Воронеж : Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2021. – 103 с.
7. Жилин, Р. А. Численный метод предварительной экспертизы альтернатив нарушителей охраны объектов общекриминальной направленности / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, И. В. Щербакова // Вестник Воронежского института МВД России. – 2019. – № 3. – С. 46-54.
8. Баркалов, С. А. Моделирование процесса принятия решений на основе марковских случайных процессов / С. А. Баркалов, В. П. Морозов, С. И. Моисеев // Математические методы и информационные технологии в моделировании систем : Материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Воронеж, 29 апреля 2021 года. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2021. – С. 52 - 59.
9. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
10. Ананьев, А. В. Методика принятия решений в условиях неопределенности с использованием теории латентных переменных / А. В. Ананьев, К. С. Иванников, С. И. Моисеев // Системы управления и информационные технологии. – 2022. – № 2(88). – С. 31-36.
11. Мельников, А. В. Метод формирования коалиций экспертов в рамках решения задачи экспертизы альтернатив со слабоформализуемыми критериями / А. В. Мельников, И. В. Щербакова, Р. А. Жилин // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 11–13 ноября 2019 года / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». – Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2020. – С. 968-975.
12. Баркалов, С. А. Динамическая модель процесса принятия решений / С. А. Баркалов, С. И. Моисеев, Н. Ю. Калинина // Междисциплинарные исследования экономических систем : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Тверь, 27 мая 2021 года / Под редакцией А.Н. Бородулина. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2022. – С. 21-29.
13. Жилин, Р. А. Численный метод кластеризации однородных альтернатив, характеризующих качество антитеррористической защищенности объектов органов внутренних дел, на основе суммы различий взвешенных признаков / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, Г. В. Перминов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8, № 4(31).
14. Ларичев, О. И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович – Москва : Наука. Физматлит, 1996. – 208 с.
15. Меньших, В. В. Оценки качества действий в процессе принятия управленческих решений / В. В. Меньших, Е. А. Пастушкова // Математические методы и информационно-технические средства : Труды VII Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 24 июня 2011 года / Министерство внутренних дел Российской Федерации, Краснодарский университет; редакционная коллегия: Н.Н. Фролов, Е.В. Михайленко, И.Н. Старостенко. – Краснодар: Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации», 2012. – С. 76-79.
16. Воронин, А.А. Математические модели организаций / А.А. Воронин, М.В. Губко, С.П. Мишин, Д.А. Новиков. – М.: Ленанд, 2008. – 360 с.
17. Бурков, В. Н. Цифровые технологии в принятии управленческих решений / В. Н. Бурков, И. В. Буркова, С. А. Баркалов // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2018. – Т. 15. – № 4. – С. 5-10.

References

1. Burkov V. N. Models, methods and mechanisms of management and decision-making in organizational systems : a textbook. Moscow : Academy of IBS, 2009. (In Russ)
2. Orlov A.I. Theory of decision-making M.: Exam, 2005. (In Russ)
3. Vasiliev D.K. Typical solutions in project management. Moscow : IPU RAS, 2003. (In Russ)
4. Nogin V. D. Decision-making in a multicriteria environment: a quantitative approach. Moscow: FIZMATLIT, 2005. (In Russ)
5. Zhilin R.A. Modeling of the assessment of the effectiveness of the functioning of security systems of objects of internal affairs bodies. Voronezh : Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 2023. (In Russ)
6. Danilova O.Y., Menshikh A.V., Menshikh V. V. [et al.] Modeling of decision-making processes in law enforcement. Voronezh : Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 2021. (In Russ)
7. Zhilin R. A., Melnikov A.V., Shcherbakova I. V. Numerical method of preliminary examination of alternatives for violators of the protection of objects of general criminal orientation. Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, (2019); (3): 46-54. (In Russ)
8. Barkalov S. A., Morozov V. P., Moiseev S. I. Modeling of the decision-making process based on Markov random processes. Mathematical methods and information technologies in system modeling. Voronezh: Publishing house "Scientific Book", 2021. (In Russ)
9. Novikov D.A. Theory of management of organizational systems. M.: Fizmatlit, 2007. (In Russ)
10. Ananyev A.V., Ivannikov K. S., Moiseev S. I. Methodology of decision-making in conditions of uncertainty using the theory of latent variables. Management systems and information technologies, 2022; (2(88)): 31-36. (In Russ)
11. Melnikov A.V., Shcherbakova I. V., Zhilin R. A. The method of forming expert coalitions within the framework of solving the problem of examining alternatives with weakly formalized criteria. Actual problems of applied Mathematics, Computer Science and Mechanics. Voronezh: Scientific Research Publications, 2020. (In Russ)
12. Barkalov S. A., Moiseev S. I., Kalinina N. Y. Dynamic model of the decision-making process/ S. A. Barkalov. *Interdisciplinary Studies of economic systems*. Tver State Technical University, 2022. (In Russ)
13. Zhilin R. A., Melnikov A.V., Perminov G. V. Numerical method of clustering homogeneous alternatives characterizing the quality of anti-terrorist protection of objects of internal affairs bodies, based on the sum of differences in weighted signs. Modeling, optimization and information technologies, (2020); (4(31)). (In Russ)
14. Larichev, O. I., Moshkovich E. M. Qualitative methods of decision-making. *Verbal analysis of solutions*. Moscow : Nauka. Fizmatlit, 1996. (In Russ)
15. Menshikh V. V., Pastushkova Assessment of the quality of actions in the process of making managerial decisions. *Mathematical methods and information technology tools*. Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Krasnodar University, 2012. (In Russ)
16. Voronin A.A., Gubko M.V., Mishin S.P., Novikov D.A. Mathematical models of organizations. M.: Lenand, 2008. (In Russ)
17. Burkov V. N., Burkova I. V., Barkalov S. A. Digital technologies in managerial decision-making. FES: Finance. Economy. Strategy, 2018; 15 (4): 5-10. (In Russ)

Сведения об авторах:

Мельников Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой правовой информатики, информационного права и естественнонаучных дисциплин; meln78@mail.ru

Караваев Александр Александрович, кандидат юридических наук, доцент кафедры административной деятельности органов внутренних дел; ferrari49@yandex.ru

Железняков Артем Олегович, преподаватель кафедры военного учебно-научного центра; artem.artemov48@mail.ru

Information about authors:

Alexander V. Melnikov, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Legal Informatics, Information Law and Natural Sciences; meln78@mail.ru

Alexander A. Karavaev, Cand. Sci. (Law), Assoc. Prof., Department of Administrative Activities of Internal Affairs Bodies; ferrari49@yandex.ru

Artem O. Zheleznyakov, Lecturer, Department of Military Training and Research Center; artem.artemov48@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 10.01.2024.

Одобрена после рецензирования/ Revised 30.01.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 30.01.2024.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.056



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-166-172

Обзорная статья/Review article

**Применение миварных экспертных систем
в борьбе с телефонным мошенничеством**

У.А. Михалёва

Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58, Россия

Резюме. Цель. В настоящее время не существует комплексного подхода к решению проблем телефонного мошенничества. Несмотря на повсеместное информирование граждан о телефонном мошенничестве через средства массовой информации, количество пострадавших от этого вида мошенничества изо дня в день растет. Целью исследования является обоснование целесообразности использования миварных технологий в составе экспертной системы для борьбы с телефонным мошенничеством. **Метод.** В данной статье используются следующие методы: описание, анализ, дедукция. **Результат.** Проведенный анализ использования миварных экспертных систем в различных областях жизни позволил сделать вывод о целесообразности их применения в борьбе с телефонным мошенничеством. **Вывод.** Выводы, сделанные в данной работе, могут послужить основанием для дальнейших исследований по направлению, а также основанием для разработки и внедрения миварных экспертных систем в борьбе с телефонным мошенничеством.

Ключевые слова: мошенничество, телефонное мошенничество, социальная инженерия, претекстинг, миварная технология, экспертная система, миварная экспертная система

Для цитирования: У.А. Михалёва. Применение миварных экспертных систем в борьбе с телефонным мошенничеством. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):166-172. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-166-172

**Application of mivar expert systems
in the fight against telephone fraud**

U.A. Mikhaleva

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
58 Belinsky St., Yakutsk 677000, Russia

Abstract. Objective. Currently, there is no comprehensive approach to solving the problems of telephone fraud. Despite the widespread awareness of citizens about telephone fraud through the media, the number of victims of this type of fraud is growing day by day. The purpose of the study is to substantiate the possibility of using mivar technologies as part of an expert system to combat telephone fraud. **Method.** This article uses the following methods: description, analysis, deduction. **Result.** The analysis of the use of mivar expert systems in various areas of life allowed us to conclude that their use in the fight against telephone fraud is appropriate. **Conclusion.** The conclusions drawn in this work can serve as the basis for further research in this area, as well as the basis for the development and implementation of mivar expert systems in the fight against telephone fraud.

Keywords: fraud, telephone fraud, social engineering, pretexting, mivar technology, expert system, mivar expert system

For citation: U.A. Mikhaleva. Application of mivar expert systems in the fight against telephone fraud. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1): 166-172. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-166-172

Введение. Мошенничество, как отдельный вид преступления, существует еще со времен Римской империи. С развитием информационно-телекоммуникационных средств, телефонное мошенничество приобрело свою «популярность».

В настоящее время сложно найти человека, которому ни разу не звонили неизвестные абоненты с целью уточнения персональных данных, информирования о новой индивидуальной акции при приобретении каких-то товаров или услуг и т.п., которые в итоге ведут к хищению денег с банковских счетов. Правоохранительные органы и кредитно-финансовые организации с помощью постоянного информирования населения через средства массовой информации и двухфакторного уточнения данных через консультационные центры при сьеме денег, пытаются уменьшить количество пострадавших от этого вида мошенничества, но тем не менее их количество изо дня в день растет.

В настоящее время телефонное мошенничество привлекает внимание не только сотрудников правоохранительных органов, но и научное сообщество. Есть много научных трудов на эту тему в области криминалистики, психологии, социологии, компьютерной сфере, телекоммуникации и информационной безопасности.

С учетом того, что телефонное мошенничество совершается дистанционно, используя телекоммуникационные технологии, существует множество программных продуктов, которые позволяют мошенникам реализовывать различные преступные схемы, например, подмену телефонного номера. Вслед за ними были разработаны программные продукты, обнаруживающие подмену телефонных номеров и автоматического их блокирования в зоне ответственности телекоммуникационных компаний. Но тем не менее проблема телефонного мошенничества не исчезла, а приобрела новые схемы нападения – психологическое воздействие на человека такое, как страх, в следствии чего, появляется спешка, потерянности. Человеком управляет чувство страха, беспокойства, волнения, а разум блокируется. Учитывая возможности применения искусственного интеллекта в различных сферах нашей жизни, есть попытки применения его в решении задач социальной инженерии и в лингвистике. Для таких систем самым сложным является вопрос принятия решения в условиях неопределенности на основе неполной или нечеткой информации. Как раз для таких ситуаций для повышения качества принятия решений можно воспользоваться возможностями экспертной системы. [1]

Постановка задачи. Так как телефонное мошенничество ориентируется на правильное ведение диалога, жертве чаще всего сложно избежать плохого последствия. Данный факт говорит о том, что речь может быть разнообразна и богата в зависимости от тематики беседы, что простые программные продукты, использующиеся методы математической лингвистики бессильны в силу простоты математического аппарата. Для принятия решения после анализа диалога, необходимо максимально правильно понимать семантику естественного языка речи говорящих.

Цель работы – обоснование возможности применения миварных технологий в составе экспертной системы для борьбы с телефонным мошенничеством. Основными задачами тследования являлись:

1. Исследовать возможности применения экспертных систем в распознавании телефонных мошенников.
2. Доказать целесообразность использования миварных технологий для распознавания семантики диалоговой речи.

Методы исследования. Согласно теории К. Нейлора, экспертная система – это «система, объединяющая возможности компьютера со знаниями и опытом эксперта в такой форме, что система может предложить разумный совет или осуществить разумное решение поставленной задачи». [2]

В крупном электронном портале выбора технологий и поставщиков приведено следующее определение «экспертная система – система искусственного интеллекта, включающая знания об определенной слабо структурированной и трудно формализуемой узкой

предметной области и способная предлагать и объяснять пользователю разумные решения» [3]. В электронной аналитической платформе, которая позволяет проводить анализ данных любого уровня сложности без программирования, было сделано следующее заключение «экспертные системы предназначены для решения сложных задач на основе рассуждений с использованием знаний, представленных, главным образом, в виде правил «если, то», а не с помощью обычного процедурного кода» [4].

Типовая структура экспертной системы приведена на рис.1.

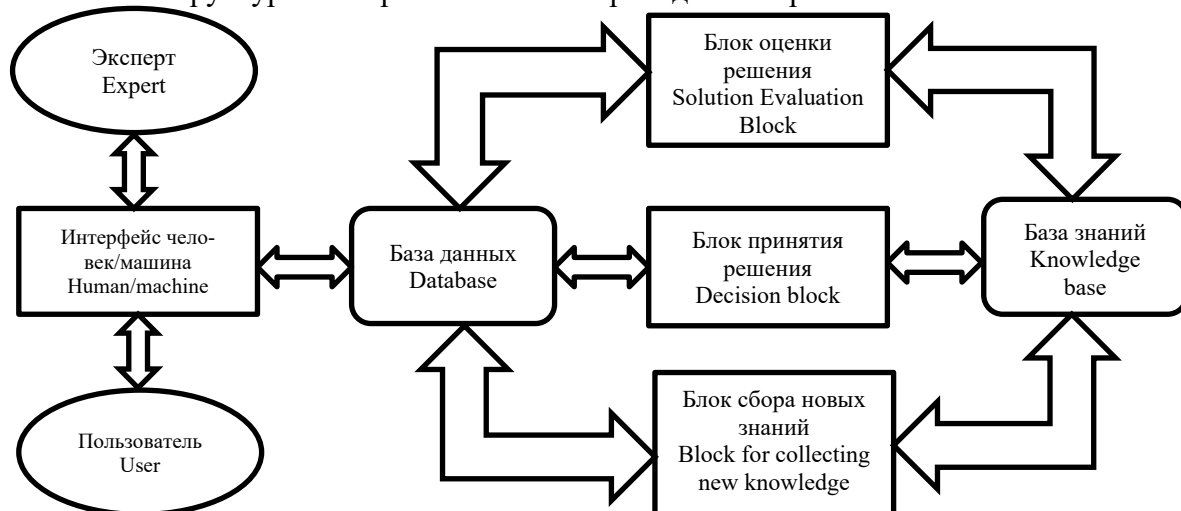


Рис. 1. Типовая структура экспертной системы
Fig. 1. Typical structure of an expert system

База знаний о предметной области является ключевым элементом любой экспертной системы. Учитывая, что мы работаем с задачами по борьбе с телефонным мошенничеством, база знаний должна содержать массив данных всевозможных реплик телефонных мошенников. Поскольку система будет работать с репликами на естественном языке, то целесообразно построить семантическую сеть на основе миварных технологий.

База данных любой экспертной системы содержит информацию о текущем состоянии системы. В данной базе временно будут находиться исходные и промежуточные данные решаемой в текущий момент задачи.

Блок принятия решения является важной частью экспертной системы. Он производит поиск подходящих данных в базе знаний, сравнивает и согласовывает их с данными, которые поступили. Данный блок формирует выводы по решаемой задаче. Другими словами, он осуществляет проверку гипотезы о телефонном мошенничестве.

Блок сбора новой информации и блок оценки решения обеспечивают доступ разработчика экспертной системы к базам знаний и данных для наполнения системы новой информацией. Данные блоки очень важны для правильного функционирования экспертной системы, так как важно иметь открытый доступ для внесения изменений и/или корректировки существующих знаний при анализе диалога телефонных мошенников.

Основные ограничения для создания экспертных систем в системе противодействия телефонному мошенничеству составляют:

1. Богатство и разнообразие естественного языка в зависимости от тематики и стиля общения;
2. Возможность наличия у слова нескольких лексических значений.

Вышеприведенные ограничения создают серьезную проблему для распознавания смысла диалога, понимания мотива в репликах мошенника.

В исследованиях Л.Е. Адамовой, О.О. Варламова, С.А. Тонояна приведено: «Миварный подход к формальному представлению термина «понимание смысла текста» состоит в следующем. Выделены пять уровней работы с текстом: наборы символов, неправильные словоформы, словоформы, слова и концепты. Отметим, что связи между элементами уровней могут быть как четкими (однозначными), так и нечеткими или вероятностными.». [5] В

статье Д.А. Павловой «Миварный подход состоит из миварной технологии накопления информации, предназначенной для хранения информации с изменением ее структуры, и миварной технологии обработки информации, предназначенной для обработки информации и ее логического вывода» [6]. Основоположителем применения миварного подхода в решении различных практических задач является д.т.н. Варламов Олег Олегович. В своих научных трудах, на которые ссылаются другие научные исследователи, О.О. Варламов дает определение мивара, как «Мивар (Многомерная информационная варьирующаяся адаптивная реальность) – представление данных на основе гносеологических понятий Вещь, Свойство, Отношение». [7] Д.т.н. О.О. Варламов разработал три основные технологии в миварном подходе «технология накопления данных, технология обработки информации, технология системного анализа» [8].

В работах [9-12] описана существующая проблема неточности понимания смыслов текстов из-за простоты математического аппарата, используемого для математической лингвистики. В задачах выявления телефонных мошенников важную роль играет именно понимание речи говорящих и распознавание мотива мошенника во избежание последствий жертвы. Как отмечают лингвисты, речь является не только средством коммуникации, но и средством мышления и образа жизни. В статье [6] д.т.н. Варламова О.О. отмечено, что «В основе миварного подхода была положена модель трехуровневого представления текстов: словоформы, слова, концепты (понятия, для которых «однозначно» зафиксирован смысл). Фактически, концепты – это аналоги конкретных описаний значений слов из толковых словарей. Каждый концепт является уникальным, и для него фиксируется контекст и виртуальная личность. При миварном подходе надо определять не только контекст текста, но и персонажа (виртуальную личность), который употребляет эти слова». В работе [9] показана структура подсистемы «Обучение» на миварных сетях (рис.2).

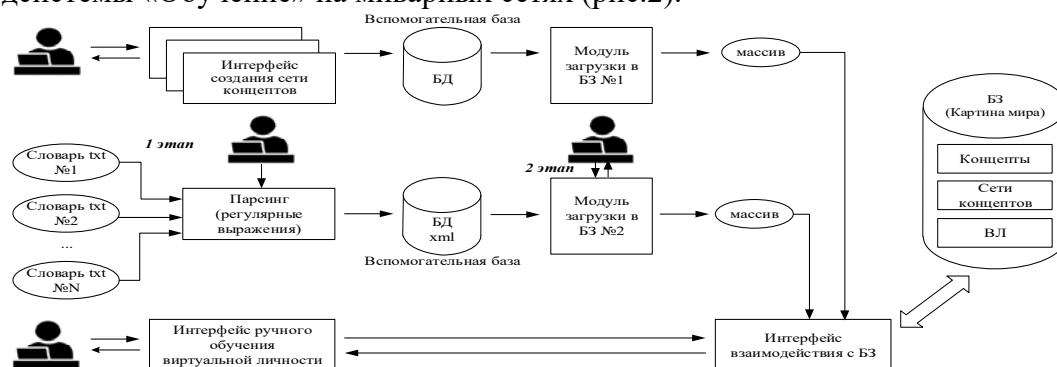


Рис. 2. Структура подсистемы «Обучение» на миварных сетях [9]

Fig. 2. Structure of the “Training” subsystem on mivar networks [9]

Полученная миварная сеть может работать с множеством правил в реальном времени, что делает ее возможной для использования в экспертных системах в обнаружении телефонных мошенников в режиме реального времени.

Обсуждение результатов. В связи с тем, что телефонное мошенничество не теряет свою «популярность», а существующие методы защиты не устраняют проблему, использование современных интеллектуальных систем в этой области очень актуально. Создание экспертной системы с использованием миварных технологий позволит удаленно блокировать или прерывать «подозрительные» звонки, носящие мошеннический характер.

Использование миварных экспертных сетей в решении практических задач не ново. Данные системы используются в различных системах принятия решений, в робототехнике, научных исследованиях, медицине. В работе [13] приведен обзор использования миварных экспертных систем в решении 18 практических задач в разных областях жизнедеятельности. Все эти системы, описанные в работе [13] обрабатывают большое количество правил «Если..., то...» в режиме реального времени. В работе [14] авторами предлагается использование миварных экспертных сетей в кинематографе и образовании. В статье [15] приведено одно из успешных применений миварных экспертных систем в составе программного про-

дукта МИПРА для ускорения времени построения алгоритма для решения задач планирования действий робота по перестановке кубиков. Применение миварных экспертных систем рассматривается в том числе и в психодиагностике [16]. В работе [17] авторами показано целесообразность объединения возможностей экспертных систем и методов распознавания образов для решения некоторых задач информационной безопасности. В статье [18] предложена модель использования миварных экспертных систем в выборе средств технической защиты информации.

В решениях проблем понимания естественного языка миварные технологии начали применяться с 2012 года [11]. Основой телефонного мошенничества является умение использовать нужные речевые формы для дестабилизации человека-жертвы. Телефонное мошенничество как вид социальной инженерии ориентирован на введение в заблуждение человека. Для этого у телефонного мошенника есть заранее подготовленные сценарии введения диалога. В зависимости от реакции собеседника-жертвы, он использует нужный вариант шаблона. К таким шаблонам можно отнести: выигрыш в лотерии, наследство от покойного родственника, попадание в беду знакомых и/или родственников, которым необходима срочная денежная помощь, информация о попытках похищения денежных средств из счета и т.п. Так как получаемая в данный момент информация от мошенника является неожиданной, человек теряется и становится уязвимым. Если в этот момент был бы эксперт, который тут же оценил ситуацию, узнал мотив мошенника, то можно было бы избежать денежных потерь.

В борьбе с телефонным мошенничеством основную роль играет понимание естественного языка говорящих и определение мотива говорящих на основе высказанных реплик. Есть много научных трудов в распознавании и понимании естественного языка в реальном времени. Разработаны чат-боты и виртуальные помощники, которые могут дать полноценные ответы на простые запросы. С более сложными запросами справляются виртуальные консультанты, в основе которых есть миварная технология. В работах [19, 20] написано использование экспертной системы в банковской сфере, в составе которой имеется миварная технология для понимания естественного языка. В работах [9, 20-22] были приведены возможности миварных технологий такие, как проводить обработку слов в тексте такие, как морфологическая, синтаксическая и семантическая. Данная возможность миварных технологий увеличила понимание естественного русского языка в чат-ботах и виртуальных помощниках.

Вывод. Из проведенного выше исследования видно, что в данное время миварные экспертные системы могут применяться в различных системах для решения непростых задач. В данное время они не применяются в решении проблем по борьбе с телефонным мошенничеством. Но в то же время проведенный анализ показывает целесообразность использования миварных экспертных систем в данной области, так как избежать денежных потерь от телефонного мошенничества можем только при вмешательстве в диалог в режиме реального времени.

В борьбе с телефонным мошенничеством помимо повышения уровня финансовой и цифровой грамотности населения, необходимо внедрять миварные экспертные системы для анализа телефонных звонков с незнакомых номеров. Потому что данные системы позволяют обрабатывать большое количество правил «если..., то...», понимать и обрабатывать семантику естественного языка в режиме реального времени, накапливать и обновлять знания, принимать правильные решения на основе сопоставления большого количества правил.

Библиографический список:

1. Н.Б. Культин. Экспертная система как инструмент поддержки принятия управленческих решений. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2011. – №3(121). – С. 139 – 141.
2. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему: Пер, с англ. М.: Энергоатомиздат, 1991. 286 с.
3. https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B Экспертные системы [Эл. рес.]. (дата обращения 10.10.2023).

4. Экспертная система (Expert system) [Электронный ресурс]. – URL: <https://wiki.loginom.ru/articles/expert-system.html> (дата обращения 10.10.2023).
5. Адамова Л.Е., Варламов О.О., Тоноян С.А. Результаты применения миварного подхода к пониманию смысла русских текстов. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. –2017. –№ 6-2 (80). – С. 13-20.
6. Павлова Д.А. Миварные технологии. Применение миварных экспертных систем для решения практических задач. // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5 (часть 1) – С. 62-65.
7. Варламов О.О. Практическая реализация линейной вычислительной сложности логического вывода на правилах «если-то» в миварных сетях и обработка более трех миллионов правил // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1. – С. 60–97.
8. Варламов О.О. Миварные технологии как некоторые направления искусственного интеллекта. // Проблемы искусственного интеллекта. – 2015. – № 1 (1). – С. 23-37.
9. Варламов О.О., Адамова Л.Е., Елисеев Д.В., Майборода Ю.И., Антонов П.Д., Сергушин Г.С., Чибирова М.О. Комплексное моделирование процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов на основе миварных технологий. // Искусственный интеллект. – 2013. – № 4. – С. 15-27.
10. Адамова Л.Е., Петерсон А.О., Протопопова Д.А., Скакунова Е.А., Варламов О.О. Исследование подходов и основных проблем понимания естественного русского языка. // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2(10). – С. 107-122.
11. Варламов О.О., Адамова Л.Е., Елисеев Д.В., Майборода Ю.И., Антонов П.Д., Сергушин Г.С., Чибирова М.О. О миварном подходе к моделированию процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов//Автоматизация и управление в технических системах. 2013. № 2(4). – С. 38-51.
12. Нагоева О.В., Макоева Д.Г., Гошокова Ф.М. Анализ состояния исследований и разработок в области систем понимания речи.// Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. –2016. –№6 (74). – С. 66-74.
13. Варламов О.О. Обзор 18 миварных экспертных систем, созданных на основе MOGAN. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. –2021. –№ 3 (101). –С. 5-20.
14. Варламов О.О., Адамова Л.Е. Применение миварных технологий логического искусственного интеллекта для создания новых технологий в кинематографе и образовании. // Инновационные технологии в кинематографе и образовании. V Международная научно-практическая конференция. Материалы и доклады. Под общей редакцией О.Н. Раева. –2019. – С. 11-26.
15. Варламов О.О., Аладин Д.В. Успешное применение миварных экспертных систем для MIPRA – решения задач планирования действий робототехнических комплексов в реальном времени. // Радиопромышленность. –2019. –№ 3. –С.15–25.
16. Калашникова А.В., Коценко А.А., Сергеев И.В., Варламов О.О., Адамова Л.Е. Миварная экспертная система «Психодиагностика»// Естественные и технические науки. 2022. – № 6 (169). –С. 282-290.
17. Максимова А.Ю., Варламов О.О. Миварная экспертная система для распознавания образов на основе нечеткой классификации и моделирования различных предметных областей с автоматизированным расширением контекста.// Известия ЮФУ. Технические науки. –2011. –№ 12 (125). –С. 77-87.
18. Волков А.С., Королев С.В., Сальников В.В., Варламов О.О. О разработке миварной экспертной системы для выбора средств технической защиты информации. // Информация и образование: границы коммуникаций. –2023. –№ 15 (23). –С. 215-218.
19. Адамова Л.Е., Варламов О.О., Осипов В.Г., Чувилов Д.А. Реализация миварного виртуального текстового консультанта для внутреннего консалтинга в банковской сфере. // В сборнике: Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем (ММИИУС-2018). Материалы второй Международной научной конференции, посвящённой 25-летию юбилею Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. –2018. – С. 95-100.
20. Чувилов Дмитрий Алексеевич. Роль экспертной системы с текстовым естественно-языковым интерфейсом общения в повышении эффективности банковского сектора.// I-methods. –2019. –Т. 11. –№ 1. – С. 29-38.
21. Варламов О.О. Формализация термина «понимание смысла текста» на основе миварных технологий и концепции «Вещь-Свойство-Отношение». // Радиопромышленность. –2015. –№3. – С. 144-159.
22. Varlamov O.O., Adamova L.E., Eliseev D.V., Mayboroda Yu.I., Antonov P.D., Sergushin G.S., Chibirova M.O. Mivar thechnologies in mathematical modeling of natural language, images and human speech understanding // International Journal of Advanced Studies. –2013. –Т. 3. –№ 3. –P. 17-23.

References

1. N.B. Kultin. Expert system as a tool to support management decision making. *Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University*. 2011; 3(121): 139 – 141. (In Rus)
2. Naylor C. How to build your own expert system: Translation from English. M.: Energoatomizdat. 1991; 286. (In Rus)
3. https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B Expert systems. – (acces.10.10.2023). (In Rus)

4. Expert system. – URL: <https://wiki.loginom.ru/articles/expert-system.html> (accessed 10.10.2023). (In Rus)
5. Adamova L.E., Varlamov O.O., Tonoyan S.A. Results of applying the mivar approach to understanding the meaning of Russian texts. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017; 6-2 (80): 13-20. (In Rus)
6. Pavlova D.V.A. Mivar technologies. Application of mivar expert systems to solve practical problems. *Modern high technology*. 2016; 5 (Part 1): 62-65. (In Rus)
7. Varlamov O.O. Practical implementation of linear computational complexity of logical inference based on “if-then” rules in mivar networks and processing of more than three million rules. *Automation and control in technical systems*. 2013; 1: 60–97. (In Rus)
8. Varlamov O.O. Mivar technologies as some areas of artificial intelligence. *Artificial Intelligence Problems*. 2015; 1(1): 3-37. (In Rus)
9. Varlamov O.O., Adamova L.E., Eliseec D.V., Mayboroda Yu.I., Antonov P.D., Sergushin G.S., Chibirova M.O. Complex modeling of the processes of computer understanding of the meaning of texts, speech and images based on mivar technologies. *Artificial intelligence*. 2013; 4: 15-27. (In Rus)
10. Adamova L.E., Peterson A.O., Protopopova D.A., Skakunova E.A., Varlamov O.O. Research of approaches and main problems of understanding the natural Russian language. *Automation and control in technical systems*. 2014; 2(10): 107-122. (In Rus)
11. Varlamov O.O., Adamova L.E., Eliseec D.V., Mayboroda Yu.I., Antonov P.D., Sergushin G.S., Chibirova M.O. On the mivar approach to modeling the processes of computers understanding the meaning of texts, speech and images. *Automation and control in technical systems*. 2013; 2(4): 38-51. (In Rus)
12. Nagoeva O.V., Maloeva D.G., Goshokova F.M. Analysis of the state of research and development in the field of speech understanding systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016; 6 (74): 66-74. (In Rus)
13. Varlamov O.O. Review of 18 mivar expert systems based on MOGAN. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2021; 3 (101): 5-20. (In Rus)
14. Varlamov O.O., Adamova L.E. Application of mivar technologies of logical artificial intelligence to create new technologies in cinema and education. *Innovative technologies in cinema and education. V International scientific and practical conference. Materials and reports*. Under the general editorship of O.N. Raeva. 2019: 11-26. (In Rus)
15. Varlamov O.O., Aladin D.V. Successful application of mivar expert systems for MIPRA - solving problems of planning the actions of robotic systems in real time. *Radio industry*. 2019; 3: 15–25. (In Rus)
16. Kalashnikova A.V., Kotsenko A.A., Sergeev I.V., Varlamov O.O., Adamova L.E. Mivar expert system “Psychodiagnosics”. *Natural and technical sciences*. 2022; 6 (169): 282-290. (In Rus)
17. Maximova A.Yu., Varlamov O.O. Mivar expert system for pattern recognition based on fuzzy classification and modeling of various subject areas with automated context expansion. *News of the Southern Federal University. Technical science*. 2011; 12 (125): 77-87. (In Rus)
18. Volkov A.S., Korolev S.V., Salnikov V.V., Varlamov O.O. On the development of a mivar expert system for selecting means of technical information security. *Information and education: boundaries of communications*. 2023; 15 (23): 215-218. (In Rus)
19. Adamova L.E., Varlamov O.O., Osipov V.G., Chuvikov D.A. Implementation of a mivar virtual text consultant for internal consulting in the banking sector. In the collection: Models of thinking and integration of information management systems (MMIUS-2018). Materials of the Second International Scientific Conference dedicated to the 25th anniversary of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018: 95-100. (In Rus)
20. Chuvikov Dmitriy Alexeevich. The role of an expert system with a text-based natural language communication interface in increasing the efficiency of the banking sector. *I-methods*. 2019; 11(1): 29-38. (In Rus)
21. Varlamov O.O. Formalization of the term “understanding the meaning of the text” based on mivar technologies and the concept of “Thing-Property-Relationship”. *Radio industry*. 2015; 3: 144-159. (In Rus)
22. Varlamov O.O., Adamova L.E., Eliseev D.V., Mayboroda Yu.I., Antonov P.D., Sergushin G.S., Chibirova M.O. Mivar technologies in mathematical modeling of natural language, images and human speech understanding. *International Journal of Advanced Studies*. 2013;3(3): 17-23.

Сведения об авторе:

Ульяна Анатольевна Михалёва, кандидат технических наук, доцент кафедры многоканальных телекоммуникационных систем института математики и информатики; uamikhaleva@mail.ru

Information about author:

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.

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

Поступила в редакцию/ Received 25.11.2023.

Одобрена после рецензирования / Revised 29.12.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 29.12.2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.056



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-173-179 Оригинальная статья /Original article

**Принципы сбора данных для построения защищенной инфраструктуры
предприятия на базе SIEM систем**

А.Д. Попов, А.Н. Никитенко

Воронежский институт МВД России,
394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. Целью статьи является представление основных возможностей и преимуществ внедрения и использования SIEM-систем. **Метод.** Для реализации поставленной цели использован метод системного анализа. **Результат.** Описаны основные системы класса SIEM, перечислены их основные возможности, преимущества и недостатки, а также рассмотрены различные варианты построения таких систем и принципы сбора данных. **Вывод.** Изучение функционирования SIEM-систем позволяет оценить возможность их использования в построении систем безопасности различных масштабов и архитектур. Для максимального использования возможностей SIEM-систем необходимо провести её адаптацию и настройку под конкретные требования информационной безопасности. Перспективой дальнейших исследований будет применение гибридных подходов, основанных на промежуточных хранилищах с использованием потоковой передачи данных.

Ключевые слова: SIEM система, сбор данных, хранение данных, интеграция, информационная безопасность

Для цитирования: А.Д. Попов, А.Н. Никитенко. Принципы сбора данных для построения защищенной инфраструктуры предприятия на базе SIEM систем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):173-179. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-173-179

**Principles of data collection for building a secure enterprise infrastructure
based on SIEM systems**

A.D. Popov, A.N. Nikitenko

Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
53 Patriotov Ave., Voronezh 394065, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the article is to present the main capabilities and advantages of implementing and using SIEM systems. **Method.** System analysis method was used. **Result.** The main systems of the SIEM class are described, their main capabilities, advantages and disadvantages are listed, and various options for constructing such systems and principles of data collection are considered. **Conclusion.** Studying the functioning of systems of this type allows us to assess the possibility of their use in the construction of security systems of various scales and architectures. To make maximum use of the capabilities of SIEM systems, it is necessary to adapt and configure it to specific information security requirements. The prospect for further research will be the use of hybrid approaches based on intermediate storage using data streaming.

Keywords: SIEM system, data collection, data storage, integration, information security

For citation: A.D. Popov, A.N. Nikitenko. Principles of data collection for building a secure enterprise infrastructure based on SIEM systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):173-179. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-173-179

Введение. В современном мире информация является ключевым ресурсом. Перво-степенная задача всех организаций, будь то коммерческих, государственных или силовых структур, заключается в обеспечении надлежащего хранения, получения, обработки и пере-

дачи информации. Для решения подобных задач может внедряться целый парк программного обеспечения (файловые, почтовые, веб сервера и т.д.), который требует контроля со стороны средств информационной безопасности. Данная задача может усложняться тем, что структурные подразделения организации могут находиться в различных географических точках и выполнять разные задачи с точки зрения специфики использования программного обеспечения.

Постановка задачи. Выработка политики информационной безопасности и внедрение новых технологий (инструментов), способных улучшить защиту информации, становится актуальной задачей. Одним из таких инструментов являются SIEM (Security Information and Event Management) системы.

SIEM - системы (Security Information and Event Management) представляют собой решения для управления информацией и событиями безопасности, которые собирают данные из различных источников, анализируют их и предоставляют общую картину состояния информационной безопасности.

SIEM (Security Information and Event Management) системы включают в себя следующие основные подсистемы (рис. 1):

- Сбора данных: SIEM системы собирают данные об инцидентах безопасности из различных источников, включая сетевые устройства, СУБД, антивирусные системы и др.
- Хранения данных: собранные данные хранятся в специализированной базе данных.
- Анализа данных: SIEM система проводит анализ данных об инцидентах безопасности, выявляя аномалии и подозрительную активность.
- Визуализации данных: результаты анализа отображаются в виде графиков, диаграмм и других наглядных представлений.
- Создания отчетов: SIEM система может создавать отчеты о состоянии безопасности в организации.
- Интеграции: SIEM системы могут интегрироваться с другими системами безопасности, такими как системы предотвращения вторжений, межсетевые экраны и системы обнаружения вредоносного программного обеспечения.
- Управления инцидентами: SIEM система помогает управлять инцидентами безопасности, предоставляя рекомендации по их устранению и предотвращению.

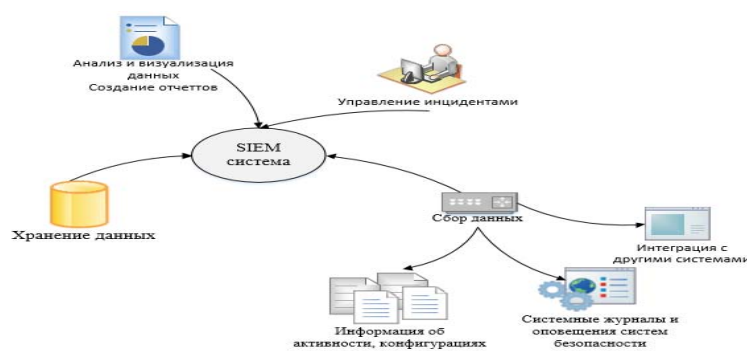


Рис.1. Состав SIEM системы

Fig.1. Composition of the SIEM system

Методы исследования. Существует множество современных SIEM-систем, которые популярны как в России, так и за рубежом. Приведем некоторые из них:

– Splunk Security – SIEM-система, которая предлагает широкие возможности для анализа и визуализации данных, а также имеет открытый API для интеграции с другими системами;

– Kaspersky Unified Monitoring and Analysis Platform (KUMA) – это центральный элемент единой платформы безопасности от «Лаборатории Касперского». Решение имеет встроенные сценарии автореагирования на выявленные события по безопасности и благодаря модулю ГосСОПКА полностью интегрировано с технической инфраструктурой Национального координационного центра по компьютерным инцидентам (НКЦКИ);

– MaxPatrol SIEM – это система мониторинга и анализа событий информационной безопасности (SIEM), разработанная компанией Positive Technologies;

– KOMRAD Enterprise SIEM (SIEM) – программное решение, которое помогает организациям отслеживать, анализировать угрозы безопасности и реагировать на них в режиме реального времени.

Проведенный анализ показал, что SIEM системы имеют следующие преимущества:

– выявляют угрозы и уязвимости в системе безопасности;

– собирают и анализируют данные с различных источников в режиме реального времени;

– автоматизируют процесс управления инцидентами;

– позволяют получить полную картину о состоянии безопасности.

Помимо преимуществ подобные системы имеют недостатки:

– высокая стоимость;

– сложность настройки;

– низкая скорость обработки данных при большом объеме;

– Некоторые SIEM-системы имеют ограниченные возможности интеграции с другими системами и приложениями;

– при увеличении объема данных или количества источников информации, системы имеют высокую ресурсопотребляемость, что может потребовать масштабируемости.

SIEM могут собирать журналы и события из различных источников и устройств. Каждое устройство или программное обеспечение генерирует события каждый раз, когда происходит обращение к нему или изменение в его настройках. В дальнейшем происходит обобщение, обработка и хранение всех событий.

Выделим основные четыре метода сбора информации SIEM системами:

1. Через агента, установленного на устройстве (рис.2). Является наиболее распространенным методом сбора.

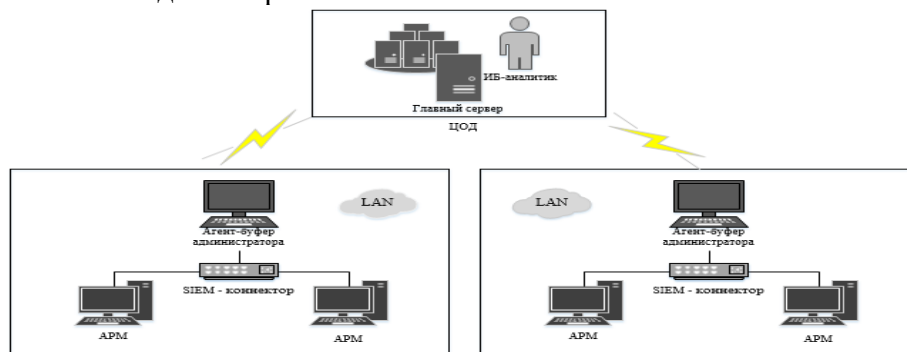


Рис. 2. Сбор информации через установку агента

Fig. 2. Collecting information through agent installation

Преимущества:

– Улучшение безопасности за счет сбора информации в режиме реального времени;

– Централизованный сбор данных;

– Гибкость настройки для различных устройств;

– Поддержка различных операционных систем и платформ;

– Непрерывный мониторинг;

– Устранение «слепых зон»: установка агентов на устройствах позволяет собирать данные, которые могут быть пропущены другими методами мониторинга, такими как сбор событий с сервера или сети.

Недостатки:

– Потребность в настройке;

– Установка агента на устройство может снизить его производительность, так как часть ресурсов будет использоваться для сбора и передачи данных;

- Установка агента может создать новые уязвимости в системе безопасности, так как это дополнительное программное обеспечение с возможными ошибками;

- Разработка, поддержка и обновление агентов требует дополнительных ресурсов и может стать сложной задачей для организаций с большим количеством устройств.

- Нестабильность сетевого подключения может вызвать связанные со сбором данных с конечных узлов.

2. Путем прямого подключения к устройству с помощью сетевого протокола или вызова API (рис. 3).

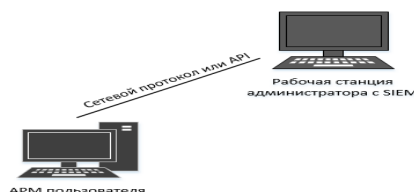


Рис. 3. Схема прямого подключения к устройству с помощью сетевого протокола или вызова API

Fig. 3. Diagram of direct connection to a device using a network protocol or API call

Основными преимуществами являются:

- Простота установки и настройки;
- Отсутствие агента на устройстве снижает его нагрузку, что улучшает производительность;

- SIEM-системы с таким подходом к сбору данных обычно более совместимы с различными устройствами и операционными системами;

- Отсутствие агента снижает вероятность уязвимостей в системе безопасности;

- SIEM-систему с таким подходом можно легко масштабировать для обработки большого количества устройств или данных;

- Прямой сбор данных позволяет получить более широкий спектр информации и использовать более продвинутые методы анализа.

К недостаткам можно отнести:

- Обновление устройств или изменение конфигурации может быть сложным без использования агента, который обеспечивает автоматическую синхронизацию;

- Интеграция по некоторым протоколам и с устройствами специального назначения может быть сложной и требовать более глубокой проработки;

- Некоторые данные могут быть недоступны или менее детализированы без использования агента;

- Сбор данных напрямую зависит от стабильности подключения устройства к сети.

3. Путем доступа к файлам журналов из промежуточного хранилища, сбор данных в котором, может быть организован в различных форматах (например, в виде системного журнала) (рис. 4).

Преимущества:

- Автоматическое обновление;

- Журналы доступны через стандартные протоколы, что облегчает интеграцию с SIEM системой;

- Журналы содержат большое количество разрозненной информации, что позволяет централизованно отправлять в аналитический сегмент SIEM систем;

- Уменьшенная нагрузка на АРМ пользователя, в отличие от агентов и уменьшенная нагрузка на каналы связи в отличие от прямого подключения;

- Поскольку SIEM система не имеет прямого доступа к устройствам, она менее уязвима для атак, но в тоже время для задач промежуточного хранения данных устанавливается узконаправленного программное обеспечение, которое требует дополнительного контроля с точки зрения информационной безопасности.

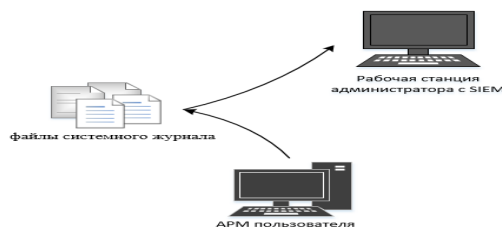


Рис. 4. Схема доступа к файлам журналов из промежуточного хранилища
Fig. 4. Scheme for accessing log files from staging storage

Недостатки:

- Данные из журналов могут быть сложными для анализа и требуют специализированных инструментов или навыков;
 - Данные в журналах могут быть устаревшими, особенно если устройства не обновляются или не перезаписывают журналы;
 - SIEM системе может потребоваться адаптация для работы с различными форматами журналов.
4. С помощью протокола потоковой передачи событий, такого как SNMP, Netflow или IPFIX (рис. 5).

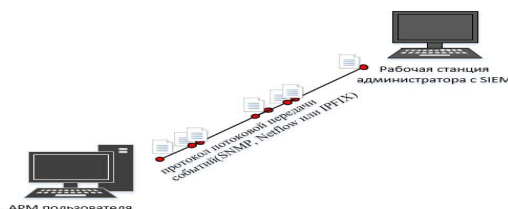


Рис. 5. Схема SIEM системы со сбором информации с помощью протокола потоковой передачи событий
Fig. 5. Diagram of a SIEM system with information collection using the event streaming protocol

Преимущества:

- Протоколы потоковой передачи событий обеспечивают быстрый и непрерывный сбор данных в режиме реального времени;
- Широко распространённые протоколы;
- Поточковые протоколы обычно предоставляют более детализированные данные, чем другие методы сбора, что может быть полезно для анализа;
- Системы, построенные по этому принципу, хорошо масштабируются и могут обрабатывать большие объёмы данных;
- Изменение конфигурации или обновление устройств обычно не влияет на SIEM систему с потоковой передачей данных.

Недостатки SIEM систем, использующих протоколы потоковой передачи событий:

- Настройка потоковой передачи данных более сложная;
- Сбор потоковых данных зависит от наличия и стабильности сетевого подключения;
- Менее исследованная предметная область, в отличие от предыдущих способов сбора данных.

Обсуждение результатов. Значимость рассмотренных преимуществ и недостатков различных подходов к сбору данных SIEM-системами может варьироваться в зависимости от стратегии информационной безопасности в организации. Выбор того или иного подхода для использования в SIEM-системах может быть основан на следующих выводах:

- Использование агентов для сбора информации является одним из наиболее распространенных способов в SIEM системах. Агенты устанавливаются на конечных устройствах (сервера, рабочие станции и т.д.) и собирают данные о событиях и активности в

режиме реального времени. Этот способ обеспечивает высокую гибкость и контроль над сбором данных, позволяя настраивать агентов для сбора только необходимой информации. Однако, использование агентов требует дополнительных ресурсов для установки и обслуживания на каждом устройстве.

– Интеграция с помощью API позволяет взаимодействовать с различными приложениями и системами для получения данных. Этот способ позволяет автоматизировать процесс сбора информации и получать данные в режиме реального времени. API также обеспечивает гибкость в выборе источников данных и позволяет настраивать параметры сбора. Однако, для использования API необходимо иметь доступ к соответствующим интерфейсам и настроить правильные аутентификационные механизмы для безопасной передачи данных.

– Использование промежуточного хранилища (например, базы данных или хранилища файлов) позволяет сохранять данные в промежуточном хранилище перед их передачей в SIEM систему. Это может быть полезно в случаях, когда требуется обработка большого объема данных или когда сетевая пропускная способность ограничена. Промежуточное хранилище также может использоваться для сохранения данных в случае временной недоступности SIEM системы. Однако, использование промежуточного хранилища требует дополнительных ресурсов для его установки и обслуживания.

– Использование протоколов быстрой передачи событий, таких как Syslog или SNMP, позволяет передавать данные о событиях в режиме реального времени. Эти протоколы обеспечивают высокую скорость передачи данных и широкую поддержку в различных устройствах и системах. Однако, протоколы быстрой передачи событий могут быть ограничены в возможностях настройки и выборе источников данных.

Основной особенностью архитектуры современной информационной системы является то, что она имеет большой масштаб и территориально распределена по регионам страны от центра. Помимо территориального расположения, система может функционировать в выделенной сети, что также стоит учесть при формировании архитектуры SIEM. Поэтому для успешного внедрения SIEM необходимо провести предварительное исследование информационных систем, входящих в структуру и определить требования к архитектуре SIEM. Внедрение SIEM-системы поспособствует оптимизации управления политикой информационной безопасности в структуре информационного обеспечения организации. Использование SIEM позволит эффективно контролировать, анализировать и коррелировать события безопасности, происходящие в информационных системах, что обеспечит своевременное выявление возможных угроз и инцидентов безопасности.

Вывод. В статье рассмотрены способы доставки данных о событиях информационной безопасности в SIEM системах. Описаны структура, ключевые функции, преимущества и недостатки этой системы, а также проанализированы возможные варианты архитектур и способы их реализации.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что SIEM-системы являются эффективными инструментами для управления событиями информационной безопасности и информацией в современной инфраструктуре. Однако, для использования SIEM-систем требуется определенный уровень знаний и навыков, затраты на внедрение, поддержку и обучение. Для максимального использования возможностей SIEM необходимо провести её адаптацию и настройку под конкретные требования информационной безопасности. В целом, технологии SIEM являются важным компонентом современной системы информационной безопасности. Дальнейшее их изучение позволит совершенствовать технологии такого типа и разрабатывать новые системы обеспечения безопасности информации. Считаем, что перспективой дальнейших исследований будет применение гибридных подходов, основанных на промежуточных хранилищах с использованием потоковой передачи данных.

Библиографический список:

1. David R. Miller, Shon Harris, Allen Harper, Stephen VanDyke, Chris Blask Security Information and Event Management (SIEM) Implementation. - McGraw Hill Professional, 2010. - 496 с.
2. Mark Talabis, Robert McPherson, I. Miyamoto, and Jason Martin Information Security Analytics: Finding Security Insights, Patterns, and Anomalies in Big Data. - Syngress, 2014. - 182 с.
3. Jay Jacobs, Bob Rudis Data-Driven Security Analysis, Visualization and Dashboards. Wiley, 2014. - 352 с.
4. SIEM Architecture: Technology, Process and Data // exabeam URL: <https://www.exabeam.com/> (дата обращения: 06.10.2023).
5. Different types of logs in SIEM and their log formats // ManageEngine Log360 URL: <https://www.manageengine.com/> (дата обращения: 06.10.2023).
6. Ворона В. А., Тихонов В. А. Комплексные (интегрированные) системы обеспечения безопасности. - Москва: Горячая линия-Телеком, 2013. - 160 с.
7. Оценка относительного ущерба безопасности информационной системы: монография / Дубинин Е.А., Тебueva Ф.Б., Копытов В.В. - Москва: РИОР, 2013. - 288 с.
8. Защита информации. Компьютерная безопасность: монография / Дубинин Е.А., Тебueva Ф.Б., Копытов В.В. - Москва: РИОР, 2022. - 192 с.
9. Evan Wheeler Security Risk Management: Building an Information Security Risk Management Program from the Ground Up. - 1 изд. - Kindle, 2011. - 582 с.
10. Королев И. Д., Попов В.И., Ларионов В.А. Анализ проблематики системы управления информацией и событиями безопасности в информационных системах // Инновации в науке. - 2018. - №12. - С. 19-25.

References

1. David R. Miller, Shon Harris, Allen Harper, Stephen VanDyke, Chris Blask Security Information and Event Management (SIEM) Implementation. McGraw Hill Professional, 2010: 496.
2. Mark Talabis, Robert McPherson, I. Miyamoto, and Jason Martin Information Security Analytics: Finding Security Insights, Patterns, and Anomalies in Big Data. Syngress, 2014: 182.
3. Jay Jacobs, Bob Rudis Data-Driven Security Analysis, Visualization and Dashboards. Wiley, 2014: 352.
4. SIEM Architecture: Technology, Process and Data // exabeam URL: <https://www.exabeam.com/> (access date: 10/06/2023).
5. Different types of logs in SIEM and their log formats. ManageEngine Log360 URL: <https://www.manageengine.com/> (access date: 10/06/2023).
6. V. A. Vorona, V. A. Tikhonov. Complex (integrated) security systems. Moscow: Hotline-Telecom, 2013: 160. (In Russ)
7. Assessing the relative damage to the security of an information system: monograph / Dubinin E.A., Tebueva F.B., Kopytov V.V. Moscow: RIOR, 2013: 288. (In Russ)
8. Information protection. Computer security: monograph / Dubinin E.A., Tebueva F.B., Kopytov V.V. Moscow: RIOR, 2022: 192 (In Russ)
9. Evan Wheeler Security Risk Management: Building an Information Security Risk Management Program from the Ground Up. - 1st ed. - Kindle, 2011: 582.
10. Korolev I. D., Popov V. I., Larionov V. A. Analysis of the problems of information management systems and security events in information systems. *Innovations in Science*. 2018;12: 19-25. (In Russ)

Сведения об авторах:

Попов Антон Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; anton.holmes@mail.ru

Никитенко Анастасия Николаевна, слушатель, радиотехнический факультет; nastena.yefimova0001@mail.ru

Information about authors:

Anton D. Popov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of automated information systems of internal organs; anton.holmes@mail.ru.

Anastasia N. Nikitenko, Student of the Radio Engineering faculty; nastena.yefimova0001@mail.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 25.11.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 17.12.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 17.12.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.04



DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-180-186 Оригинальная статья /Original article

**Влияние конструктивных решений при динамическом расчете
каркаса здания сложной формы**

**Э.К. Агаханов¹, М.К. Агаханов³, Е.В. Труфанова²,
Д.А. Высоковский², А.З. Джабраилов²**

¹ Дагестанский государственный технический университет,

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

² Донской государственный технический университет,

²344002, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия,

³ Московский государственный строительный университет,

³129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия

Резюме. Цель. Исследование влияния конструктивной схемы на динамические характеристики каркаса здания сложной в плане формы. **Метод.** Разработано четыре варианта конструктивных решений каркаса здания сложной формы и построено четыре пространственных конечно-элементных моделей в программном комплексе Лира-САПР. Конечным элементам назначены проектные материалы и сечения. В моделях учтены нагрузки и воздействия в соответствии с действующей нормативной документацией для выбранного района строительства. Грунтовое основание учтено по однопараметрической модели Винклера. **Результат.** Выполнен динамический расчет разработанных моделей каркаса здания, получены частоты, формы собственных колебаний, ускорение верхнего этажа. Полученные результаты сравнивались с нормативными требованиями, рассматривалось их влияние на экономичность проектных решений исследуемого здания. **Вывод.** Анализ результатов динамического расчета показал, что применение нескольких вариантов проектирования дают возможность выбрать наиболее экономичный вариант каркаса здания. Так же в результате исследования получено, что разрезка каркаса здания сложной формы в плане на простые блоки не всегда эффективна с точки зрения оптимизации динамических характеристик.

Ключевые слова: метод конечных элементов, конечно-элементная модель, динамическое воздействие, формы колебаний, спектр частот колебаний, каркас здания

Для цитирования: Э.К. Агаханов, М.К. Агаханов, Е.В. Труфанова, Д.А. Высоковский, А.З. Джабраилов. Влияние конструктивных решений при динамическом расчете каркаса здания сложной формы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1): 180-186. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-180-186

**Influence of design solutions during dynamic calculations
building frame of complex shape**

**Agakhanov E.K.¹, Agakhanov M.K.³, Trufanova E.V.²,
Vysokovsky D.A.², Dzhabrailov A.Z.¹**

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Don State Technical University,

²1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russia,

³Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);

³26 Yaroslavl'skoe highway, Moscow 3129337, Russia

Abstract. Objective. Investigation of the influence of the design scheme on the dynamic characteristics of the frame of a building of complex shape in plan. **Method.** Four variants of structural solutions for the frame of a complex-shaped building have been developed and four spatial

finite element models have been built in the Lira-SAPR software package. The final elements are assigned design materials and sections. The models take into account loads and impacts in accordance with the current regulatory documentation for the selected construction area. The ground base is taken into account according to the one-parameter Winkler model. **Results.** Dynamic calculation of the developed models of the building frame was performed, frequencies, forms of natural oscillations, acceleration of the upper floor were obtained. The results obtained were compared with the regulatory requirements, their impact on the cost-effectiveness of the design solutions of the building under study was considered. **Conclusion.** The analysis of the dynamic calculation results showed that the use of several design options makes it possible to choose the most economical version of the building frame. Also, as a result of the study, it was found that cutting the frame of a complex shape in terms of simple blocks is not always effective from the point of view of optimizing dynamic characteristics.

Keywords: finite element method, finite element model, dynamic impact, waveforms, oscillation frequency spectrum, building frame

For citation: E.K. Agakhanov, M.K. Agakhanov, E.V. Trufanova, D.A. Vysokovsky, A.Z. Dzhabrailov. Influence of design solutions during dynamic calculations building frame of complex shape. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1): 180-186. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-180-186

Введение. Актуальные нормы и правила проектирования зданий и сооружений требуют выполнения расчетов с учетом динамических воздействий. Для большинства зданий и сооружений основным таким воздействием является пульсационная составляющая ветровой нагрузки. Это связано с тем, что снижение постоянных нагрузок и создание больших, более гибких пространственных решений, приводит к значительному снижению жесткости здания [1]. Для контроля динамических характеристик проектируемого каркаса здания в современных программных комплексах выполняется модальный анализ. По результатам полученных параметров даются рекомендации по оптимальной компоновке конструктивных схем здания. Расчет на собственные колебания дает возможность не только повысить надежность инженерных решений, но и выбрать наиболее экономичное проектное решение объекта. При анализе результатов динамического расчета рассматривают формы с низкими частотами колебаний, считающиеся наиболее опасными. Наиболее экономичным считается конструктивная схема, в которой эффект закручивания в первых двух формах колебаний минимален [2-3].

Требования динамической комфортности в соответствии с действующей нормативной документацией являются обязательными к соблюдению. Оптимальной компоновкой считается конструктивная схема, в которой ускорение последнего этажа и отклонения здания от вертикали минимальны. Результаты модального анализа так же необходимы для дальнейшего моделирования пульсационной составляющей ветровой нагрузки. Разрабатываемые в современных программных комплексах пространственные динамические расчетные модели зданий повышают точность полученных результатов расчета.

Постановка задачи. Исследуемый объект - 20-тиэтажное здание, в плане имеет сложную форму (рис. 1). Конструктивная схема объекта – монолитный железобетонный каркас. Снеговой район местности проектируемого жилого дома - II-й, расчетное значение веса снегового покрова 140 кгс/м^2 . Ветровой район местности III-й, нормативное значение ветрового давления – 38 кгс/м^2 . Здание относится к нормальному уровню ответственности. Коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n=1,0$.

Задача приближения работы элементов каркаса к состоянию, возникающему в реальных условиях, состоит в построении расчетной модели каркаса здания на основании принятых архитектурных и конструктивных решений с заданием жесткостных характеристик и действующих нагрузок. Цель исследования – разработать оптимальное конструктивное решение по результатам модального анализа каркаса здания сложной формы.

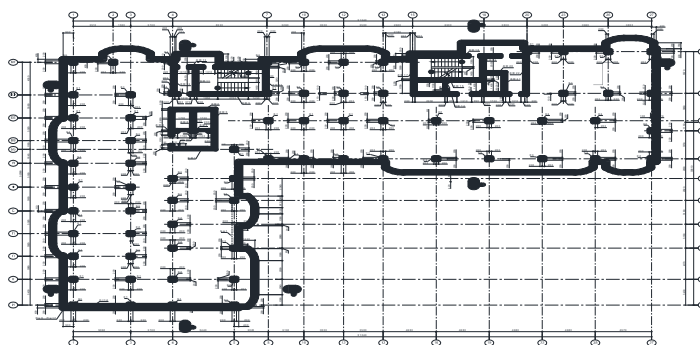


Рис. 1. Схема расположения несущих конструкций в плане

Fig. 1. Layout of load-bearing structures in plan

Методы исследования. Построения расчетной модели каркаса произведено с использованием расчетного программного комплекса Лира-САПР, основывающегося на методе конечных элементов (рис. 2) [4-7].

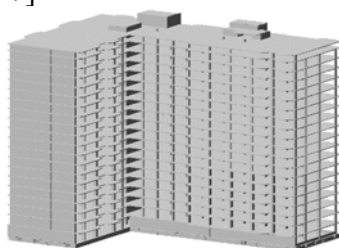


Рис. 2. Модель здания в ПК «Лира-САПР»

Fig. 2. Model of the building in the Lyra-SAPR PC

Задачей моделирования является разбивка каждой конструкции каркаса на определенное количество конечных элементов, которое и определяет приближение напряженно-деформируемого состояния этой конструкции к реальным условиям [8-9]. При построении расчетной модели каркаса здания была поставлена задача о реализации совместного расчета системы «Основание-фундамент-здание» [10-11]. Решение этой задачи позволит получить возникающие в конструкциях усилия и деформации при работе всего каркаса здания в целом с учетом деформаций грунтового основания [12-13]. В расчетной схеме была принята модель Винклера. Механические свойства модели Винклера характеризуются коэффициентом жесткости [14-15]. Средний размер конечного элемента принят $0,5 \times 0,5$ м, что позволило получить достаточно высокую точность результатов при разумных затратах машинного времени.

Пространственная плитно-стержневая модель 20-этажного здания разработана в программном комплексе Лира-САПР. В расчетной схеме учтены: колонны сечением 400×400 мм, 600×400 , плиты перекрытий толщиной 190 мм, диафрагмы жесткости толщиной 200 мм и 250 мм, и 3 ядра жесткости лестнично-лифтовых блоков, состоящих из железобетонных диафрагм толщиной 200 мм. Материал конструкций - бетон класса В25, арматура класса А500. Диафрагмы жесткости и плиты перекрытий моделировались треугольными и четырехугольными изопараметрическими конечными элементами с шестью степенями свободы в узле. Колонны моделировались пространственными стержнями с 12-ю степенями свободы. Конечным элементам назначены свойства материалов, сечения и толщины, а также плотность и распределённая по поверхности нагрузка [16-18].

В расчете в соответствии с требованиями актуальных строительных норм и правил учтены следующие нагрузки: собственный вес несущих конструкций, постоянные, временные и кратковременные нагрузки.

Ветровая нагрузка учтена с пульсационной составляющей. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания выполнено изменением жесткостей несущих конструкций каркаса и включением дополнительных элементов жесткости [19-20]. Рассмотрено три варианта расстановки несущих элементов каркаса:

Модель 1 – в расчетной схеме установлено минимальное количество диафрагм жесткости;

Модель 2 – установлены дополнительные диафрагмы жесткости толщиной 200 мм и пролетом 4000 мм;

Модель 3 – отличается от первой схемы тем, что колонны по периметру здания заменены вытянутыми пилонами, толщиной 200 мм, кроме того, сплошная диафрагма толщиной 250 мм в торце здания по оси «И» так же заменена на несколько пилонов толщиной 250 мм.

Обсуждение результатов. В результате расчета трех расчетных моделей получено напряженно-деформационное состояние, характеризующееся перемещениями, частотами, ускорениями и усилиями (табл. 1).

Таблица 1. Динамические характеристики Моделей 1-3.

Table 1. Dynamic characteristics of Models 1-3.

№ модели models	№ формы Form No.	Частота, Гц Frequency, Hz	Круговая частота, рад/сек Circular frequency, rad/sec	Период, сек Period, sec	Ускорение этажа, мм/сек ² Floor acceleration, mm/sec ²
1	1	0,26	1,64	3,839	2,92
	2	0,37	2,33	2,6946	15,92
	3	0,53	3,32	1,8904	3,44
2	1	0,26	1,65	3,8054	3,26
	2	0,37	2,35	2,6754	79,1
	3	0,53	3,32	1,8896	43,13
3	1	0,38	2,4	2,6209	1,18
	2	0,45	2,81	2,2385	4,48
	3	0,62	3,92	1,6010	2,49

Поскольку частота собственных колебаний по четвертой форме составляет 1,63-1,68 Гц, то ее согласно нормативной документации допускается не учитывать.

Значения максимального ускорения последнего этажа и перемещений в пределах нормативного, однако во второй форме собственных колебаний наблюдается эффект кручения, что может привести к перерасходу материалов (рис. 3).

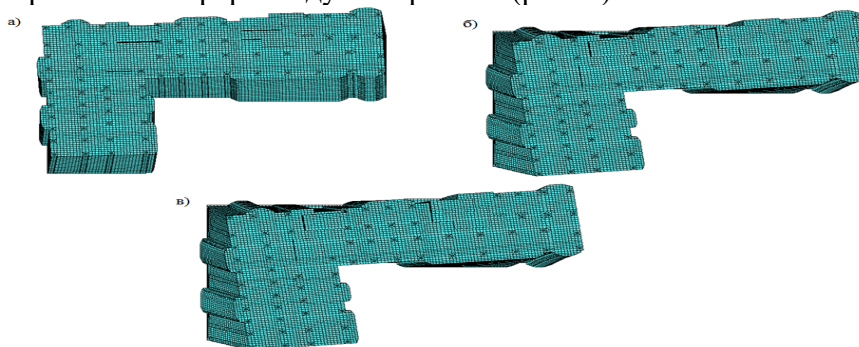


Рис. 3. Формы колебаний Моделей 1-3: а) 1 форма; б) 2 форма; в) 3 форма

Fig. 3. Forms of vibrations Models 1-3: a) 1 form; б) 2 form; в) 3 form

Добавив дополнительные диафрагмы жесткости к исходной схеме (Модель 2) увеличивается общий вес здания, но работа конструкций ухудшается - увеличиваются максимальные ускорения последнего этажа, и практически не изменяются значения частот собственных колебаний, периоды колебаний. При этом, крутильная составляющая во второй форме колебаний увеличивается, что приводит к перерасходу материала при конструировании. Заменяв колонны по периметру здания на вытянутые вдоль фасада пилоны (Модель 3) вес здания не меняется, значения частот собственных колебаний увеличиваются, уменьшается значение максимального ускорения последнего этажа, и не исключается крутильная составляющая во второй форме колебаний. Рассмотрен еще один вариант конструктивной схемы (Модель 4), в котором предусмотрен деформационный шов по всей высоте здания, включая фундаментную плиту. При расчете по 4-ой расчетной схеме должны быть учтены еще 3 формы колебаний (табл. 2).

Таблица 2. Динамические характеристики Модели 4
Table 2. Dynamic characteristics of Model 4

№ модели models	№ формы Form No.	Частота, Гц Frequency, Hz	Круговая частота, рад/сек Circular frequency, rad/sec	Период, сек Period, sec	Ускорение этажа, мм/сек ² Floor acceleration, mm/sec ²
4	1	0,20	1,28	1,8965	0,9
	2	0,25	1,57	4,0011	14,17
	3	0,31	1,94	3,2303	1,4
	4	0,35	2,19	2,8629	10,54
	5	0,62	3,88	1,6196	4,51
	6	0,67	4,18	1,5030	0,8

При делении здания деформационным швом два самостоятельных отсека, согласно результатов расчета, по четвертой схеме исключается крутильная составляющая в первых четырех низших формах (рис. 4).

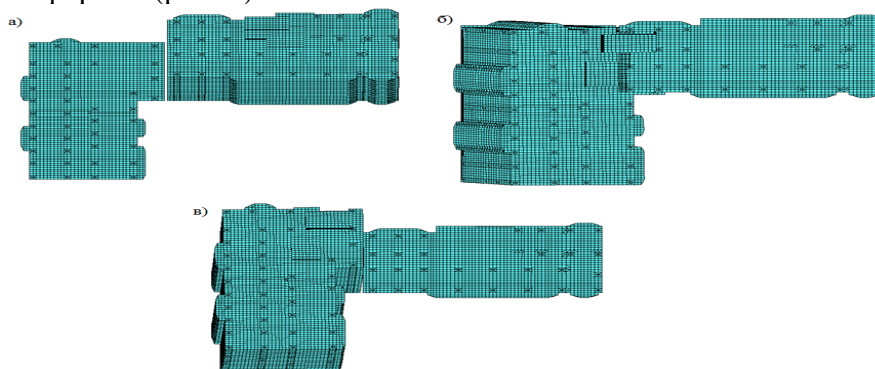


Рис. 4. Формы колебаний Модели 4: а) 1 форма; б) 2 форма; в) 3 форма

Fig. 4. Forms of vibrations Model 4: a) 1 form; б) 2 form; в) 3 form

Рассмотрев частоты, периоды и перемещения Модели 4 можно сделать вывод, что в правом отсеке недостаточно жесткости и требуется установка дополнительных диафрагм жесткости, что может привести к дополнительным расходам по материалам и утяжелению общего веса здания.

Вывод. При расчете высотных зданий сложной в плане формы с учетом динамических нагрузок для исключения крутильной составляющей в низших формах колебаний рекомендуется разделять здания деформационным швом таким образом, чтобы получались близкие к прямоугольной форме самостоятельные отсеки. В случае невозможности разделить здание на несколько деформационных блоков, а также для повышения жесткости зданий простой формы, рекомендуется устанавливать по периметру здания диафрагмы жесткости либо вместо колонн по периметру здания устанавливать вытянутые вдоль фасадов пилоны. Каркасы зданий, выполненные по такому принципу, имеют большую пространственную жесткость.

Библиографический список:

1. Хомяков И.П. Ветровые воздействия на высотные здания. Аллея науки. 2018. Т.1. № 5 (21). с. 599-604.
2. Агаханов, Э.К., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. Т. 42, № 3. с. 8-15.
3. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Ладная Е.В. Рациональное проектирование элементов пространственного каркаса здания // Инженерный вестник Дона, 2017, №1
4. Bath K.-J. Finite Element Procedures. New Jersey: Prentice Hall, 1996.с.95-97.
5. Engel H. Structure Systems. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt. 1967. с.23-24.
6. Сагдатуллин М.К. Постановка задачи численного моделирования конечных деформаций МКЭ // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postanovka-zadachi-chislennogo-modelirovaniya-konechnyh-deformatsiy-mke>
7. Агаханов Э.К. О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела». Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки, 2013.с. 14-19.

8. Агаханов Э.К. Вариационные принципы механики конструкций. Неделя науки - 2015. Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой НТК преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов, Дагестанский государственный технический университет. Под ред. Т.А. Исмаилова. 2015. с. 118-119.
9. Агаханов Г.Э. Решение задач механики деформируемого твердого тела с использованием фиктивных расчетных схем // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - № 3. - 2015.
10. Агаханов Э.К. Развитие комплексных методов в механике деформируемого твердого тела, Материалы Международной научно-практической конференции, ГГНТУ, г. Грозный, 2015. с. 99-105.
11. Абдуразаков Г.М., Абакаров А.Д. Построение расчетных моделей оценки живучести рамных систем при сейсмическом воздействии в сборнике: вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2015. с. 58-61.
12. Федоров Д.А., Мокляк К.Г. Численное исследование задачи совместного расчета конструкций с основаниями по реализациям в вычислительных комплексах SCAD и «ЛИРА». Известия высших учебных заведений. Строительство. 2011. № 12. с. 97-104.
13. Семенов В.С., Токарский А.В., Абдымомунов Э.Д. Влияние упругих свойств грунтового основания на систему "основание - здание - мансарда". Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2019. Т. 19, № 8. с. 121-126.
14. Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Осадчий А.С., Труфанова Е.В. Расчет зданий сложной геометрической формы на ветровые воздействия. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. Т. 44. № 2. с. 8-17.
15. Кравченко Г.М., Коробкин А.П., Труфанова Е.В., Лукьянов В.И. Критерии оценки динамических моделей железобетонного каркаса здания, Science Time, 2014, с. 255-260.
16. Муртазалиев Г.М., Акаев А.И., Пайзулаев М.М. Основные соотношения начального этапа послекритического деформирования конструкций. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. № 28. с. 90-93.
17. Муртазалиев Г.М., Дибиргаджиев А.М. Вариационные принципы механики конструкций. В книге: Неделя науки - 2015. Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой НТК преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Под ред. Т.А. Исмаилова. 2015. с. 118-119.
18. Simbirkin V. Analysis of Reinforced Concrete Loadbearing Systems of Multistorey Buildings. Modern Building Materials, Structures and Techniques: CD-ROM Proceedings of the 8th International Conference, Vilnius, May 19-21, 2004. с.98-99.
19. Кшнякин А.Ю., Цуприк В.Г. Учет изменения прочностных характеристик конструкционных материалов в расчетах долговечности уникальных сооружений на основе динамических параметров сооружения. Евразийский союз ученых. 2018. № 4-1(49). с. 26-33
20. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Быкадоров Д.А., Борисов М.В. Регулирование напряженно-деформированного состояния уникального здания. Строительство и архитектура – 2022: материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства, Ростов-на-Дону, 19–21 апреля 2022 года. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. с. 306-307.

References

1. Khomyakov I.P. Wind influences on high-rise buildings. *Alley of Science*. 2018; 1(5) (21):599-604. (In Russ)
2. Agakhanov, E.K., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. Regulation of parameters of natural vibrations of the spatial frame of a building. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2016; 42(3):8-15. (In Russ)
3. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Lадная E.V. Rational design of elements of the spatial frame of a building. *Engineering Bulletin of the Don*, 2017: 1(In Russ)
4. Batht K.-J. Finite Element Procedures. New Jersey: Prentice Hall, 1996:95-97.
5. Engel H. Structure Systems. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt. 1967:23-24.
6. Sagdatullin M.K. Statement of the problem of numerical modeling of finite deformations via FEM. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2013: 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postanovka-zadachi-chislennogo-modelirovaniya-konechnyh-deformatsiy-mke> (In Russ)
7. Agakhanov E.K. On the development of complex methods for solving problems in the mechanics of a deformable solid. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*, 2013:14-19. (In Russ)
8. Agakhanov E.K. Variational principles of structural mechanics. In the book: Science week - 2015 Collection of abstracts of reports of the XXXVI final scientific and technical conference of teachers, staff, graduate students and students of the Daghestan State Technical University. Ed. T.A. Ismailov. 2015: 118-119. (In Russ)
9. Agakhanov G.E. Solving problems of mechanics of a deformable solid using fictitious calculation schemes. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2015:3. (In Russ)

10. Agakhanov E.K. Development of complex methods in the mechanics of deformable solids, Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Federal State Budgetary Educational Institution of GGNTU, Grozny, 2015: 99-105. (In Russ)
11. Abdurazakov G.M., Abakarov A.D. Construction of computational models for assessing the survivability of frame systems under seismic impact in the collection: issues of modern technical sciences: a fresh look and new solutions. Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and practical conference. 2015: 58-61. (In Russ)
12. Fedorov D.A., Moklyak K.G. Numerical study of the problem of joint calculation of structures with foundations based on implementations in the SCAD and LIRA computer systems. News of higher educational institutions. Construction. 2011; 12: 97-104. (In Russ)
13. Semenov V.S., Tokarsky A.V., Abdymomunov E.D. The influence of the elastic properties of the soil foundation on the "base - building - attic" system. *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2019; 19(8): 121-126.
14. Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Osadchiy A.S., Trufanova E.V. Calculation of buildings with complex geometric shapes for wind influences. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2017; 44(2): 8-17. (In Russ)
15. Kravchenko G.M., Korobkin A.P., Trufanova E.V., Lukyanov V.I. Criteria for evaluating dynamic models of a reinforced concrete building frame, *Science Time*, 2014: 255-260.
16. Murtazaliev G.M., Akaev A.I., Paizulaev M.M. Basic relations of the initial stage after critical deformation of structures. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2013; 28: 90-93.
17. Murtazaliev G.M., Dibirgadzhiyev A.M. Variational principles of structural mechanics. In the book: Science week - 2015. Collection of abstracts of the XXXVI final scientific and technical conference of teachers, staff, graduate students and students of the Daghestan State Technical University. Ed. T.A. Ismailova. 2015: 118-119. (In Russ)
18. Simbirkin V. Analysis of Reinforced Concrete Loadbearing Systems of Multistorey Buildings. *Modern Building Materials, Structures and Techniques: CD-ROM Proceedings of the 8th International Conference*, Vilnius, May 19-21, 2004: 98-99.
19. Kshnyakin A.Yu., Tsuprik V.G. Taking into account changes in the strength characteristics of structural materials in calculations of the durability of unique structures based on the dynamic parameters of the structure. *Eurasian Union of Scientists*. 2018; 4-1(49): 26-33(In Russ)
20. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Bykadorov D.A., Borisov M.V. Regulation of the stress-strain state of a unique building. *Construction and architecture - 2022: materials of the international scientific and practical conference of the Faculty of Industrial and Civil Engineering, Rostov-on-Don, April 19–21, 2022*. Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2022: 306-307. (In Russ)

Сведения об авторах:

Агаханов Элифхан Керимханович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортные сооружения и строительные материалы»; Elifhan@bk.ru

Агаханов Мурад Керимханович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Соппротивление материалов»; muradak@mail.ru

Труфанова Елена Васильевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техническая механика»; el.trufanova@mail.ru

Высоковский Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техническая механика»; dmyvysok@mail.ru

Джабраилов Адалет Залович, аспирант кафедры «Транспортные сооружения и строительные материалы», zalovich84@mail.ru

Information about authors:

Elifkhan K. Agakhanov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Transport Facilities and Construction Materials; Elifhan@bk.ru,

Murad K. Agakhanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Strength of Materials; muradak@mail.ru

Elena V. Trufanova Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Technical Mechanics; el.trufanova@mail.ru

Dmitry A. Vysokovsky, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Technical Mechanics; dmyvysok@mail.ru

Adalet Z. Dzhabrailov, Postgraduate student of the Department of Transport Structures and Building Materials, zalovich84@mail.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 24.11.2023.

Одобрена после рецензирования / Revised 17.12.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 17.12.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.04

DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-187-192



Оригинальная статья /Original article

Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт с системой рекуперации
вторичной тепловой энергии

К.В. Важдаев^{1,2}, В.А. Мартяшева¹, А.Б. Аллабердин^{1,2}, И.С. Хамидуллин¹,
Т.Т. Муллоджанов¹, Ю.М. Хабиров¹

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,

¹450064 г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Россия

²Уфимский университет науки и технологий,

²450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32, Россия

Резюме. Цель. В статье обсуждается актуальная проблема модернизации инженерных систем зданий для обеспечения энергетической эффективности и комфорта потребителей. Предлагается использовать вторичные энергетические ресурсы путем внедрения системы рекуперации бросовой тепловой энергии. Ожидаемым результатом станет снижение негативного влияния на климат и создания экономических выгод для потребителей коммунальных услуг. **Метод.** Предложен способ нагрева воды для системы горячего водоснабжения методом частичной рекуперации тепловой энергии, использующим высокопотенциальную энергию перегретого после сжатия компрессором холодильной машины газообразного хладагента с температурой до 100°C. Автоматизация индивидуального теплового пункта осуществляется контроллером, программируемым логическим Овен СПК 107[M01]; управление нагревом воды в контурах производится по пропорционально-интегрально-дифференциальному закону в соответствии с заданной температурой в зависимости от полученных данных от датчиков температуры и давления, с помощью воздействия на регулирующие клапаны и управления работой насосов циркуляции. **Результат.** Разработана система автоматизации и диспетчеризации двухконтурного индивидуального теплового пункта с погодозависимым регулированием работы системы отопления по температуре наружного воздуха. Изложена схема устройства системы рекуперации и организация технических средств автоматизации и оборудования индивидуального теплового пункта. **Вывод.** Предложена схема автоматизации индивидуального теплового пункта, обеспечивающая автономную работу источника вторичной тепловой энергии и не требующая установку дополнительных устройств автоматики в технологическом процессе.

Ключевые слова: индивидуальный тепловой пункт, вторичная тепловая энергия, рекуперация, теплообменник, тепловая энергия

Для цитирования: К.В. Важдаев, В.А. Мартяшева, А.Б. Аллабердин, И.С. Хамидуллин, Т.Т. Муллоджанов, Ю.М. Хабиров. Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт с системой рекуперации вторичной тепловой энергии. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1): 187-192. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-187-192

Automated individual heat point with secondary heat energy recovery system

K.V. Vazdaev^{1,2}, V.A. Martyasheva¹, A.B. Allaberdin^{1,2}, I.S. Khamidullin¹,
T.T. Mullodzhanov¹, Y.M. Khabirov¹

¹Ufa State Petroleum Technological University,

¹1 Kosmonavtov St., Ufa 450064, Russia,

²Ufa University of Science and Technology,

²32, Zaki Validi St., Ufa 450076, Russia

Abstract. Objective. An urgent problem of modernizing engineering systems of buildings to ensure energy efficiency and consumer comfort. It is proposed to introduce a waste heat energy recovery system. The result will be a reduction in climate impact and benefits for consumers. **Method.** A method of heating water for a hot water supply system by partial heat energy recovery using high-potential energy of a gaseous refrigerant superheated after compression by a compressor of a refrigerating machine with a temperature of up to 100°C. is proposed. Automation of an individual heating point is carried out by a controller programmed with the logical Aries SPK 107[M01]; control of water heating in the circuits is carried out according to the proportional-integral-differential law by influencing the control valves and controlling the operation of circulation pumps. **Result.** An automation and dispatch system has been developed for a double-circuit individual heating point with weather-dependent regulation of the heating system. A diagram of the design of the recovery system and the organization of technical automation equipment is outlined. **Conclusion.** An automation scheme for an individual heating point has been proposed, ensuring autonomous operation of a source of secondary thermal energy.

Keywords: individual heat point, secondary heat energy, recovery, heat exchanger, thermal energy

For citation: K.V. Vazdaev, V.A. Martyasheva, A.B. Allaberdin, I.S. Khamidullin, T.T. Mullodzhanov, Y.M. Khabirov. Automated individual heat point with secondary heat energy recovery system. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1): 187-192. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-187-192

Введение. В настоящее время большое количество городских зданий оснащены индивидуальными тепловыми пунктами (ИТП) с элеваторными узлами смешивания или подключены к централизованным системам горячего водоснабжения. Данные системы признаны технологически устаревшими, так как не отвечают условиям рационального и эффективного обеспечения горячим водоснабжением и отоплением [1,2].

Вопросам микроклимата в помещениях посвящены многие работы [3-5]. Требования действующих нормативных документов делают актуальным задачу модернизации инженерных систем зданий с приведением их к современным требованиям энергетической эффективности, обеспечением автоматизированным регулированием и диспетчеризации, а потребителей - услугами высокого качества и комфорта [6]. Высокая стоимость выработки тепловой энергии в настоящее время делает все более перспективным использование альтернативных источников тепла. Одним из таких источников является системы рекуперации бросовой тепловой энергии [7].

Использование вторичных энергоресурсов позволит снизить их негативное влияние на климат, при этом создает экономические выгоды для предприятий и общества в целом, обеспечив более широкий доступ к энергии при сокращении расходов, связанных с транспортировкой энергии [8,9]. Доступность вторичных энергетических ресурсов обеспечивает более широкое, надежное и качественное теплоснабжение с наименьшими экономическими затратами для потребителей, что соответствует стратегии развития энергетической и жилищно- коммунальных отраслей [10].

Постановка задачи. В настоящее время внедрение технологий с использованием вторичных энергетических ресурсов становится все более популярным и получает широкое распространение в мировой практике, а по прогнозам экспертов ожидается дальнейшее развитие подобных технологий [11]. Использование таких технологий позволит создать диверсификацию источников теплоснабжения потребителям с обеспечением всестороннего учета их интересов [12]. Значительным потенциалом в качестве источника вторичной тепловой энергии обладают климатические системы, которые в процессе поддержания заданных условий климата в помещениях или при охлаждении технологических продуктов генерируют большое количество тепла. Расположение большого количества источников неиспользуемой тепловой энергии - систем охлаждения коммерческого оборудования, учреждений

здравоохранения, спортивно-оздоровительных комплексов, вычислительных центров - в непосредственной близости к жилым домам создает условия для их активного использования [13,14].

Методы исследования. Авторами представлен концептуальный проект автоматизированного ИТП с системой рекуперации вторичной тепловой энергии и ее использования для нагрева воды. Источниками теплоты для проектируемого ИТП является система охлаждения холодильной установки рядом расположенного коммерческого предприятия и тепловая сеть. Для вовлечения вторичной тепловой энергии в процесс подогрева воды системы горячего водоснабжения (ГВС) предложен метод частичной рекуперации тепловой энергии, использующий высокопотенциальную энергию перегретого после сжатия компрессором холодильной машины газообразного хладагента, с температурой до 100°C [15].

Приводится описание разработанной системы автоматизации и диспетчеризации двухконтурного индивидуального теплового пункта с погодозависимым регулированием работы системы отопления по температуре наружного воздуха. Определены технические средства автоматизации и оборудование ИТП. Составлена функциональная схема автоматизации ИТП. Описана работа системы автоматизации, а также преимущества предлагаемого решения.

Обсуждение результатов. Для нагрева горячей воды до требуемых температур предложена закрытая независимая двухступенчатая схема (рис. 1).

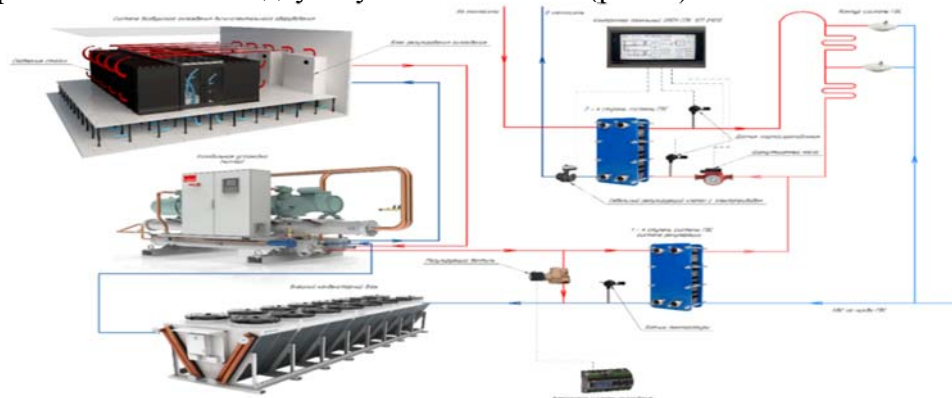


Рис. 1. Концептуальная схема организации технологического процесса системы горячего водоснабжения ИТП

Fig. 1. Conceptual scheme of the organization of the technological process of the hot water supply system, ETC

Холодная вода, поступающая в систему горячего водоснабжения, с температурой +8°C нагревается в пластинчатых теплообменниках по двухступенчатой схеме. На первой ступени вода системы ГВС нагревается в теплообменнике типа пропиленгликоль – вода за счет рекуперации бросовой теплоты предприятия, расположенного в непосредственной близости. Теплообменник подключается к нагнетательной линии установки охлаждения (чиллера) и использует для нагрева воды энергию тепла перегретого газа, образованного в процессе сжатия компрессором паров хладагента. Температура воды, приготовленной на первой ступени, зависит от текущей производительности холодильной машины. В случае недостаточной мощности холодильной машины для нагрева воды до заданной температуры +65°C, например, в зимний период, дополнительный нагрев воды производится в теплообменнике пластинчатого типа вода – вода второй ступени системы ГВС за счет сетевого теплоносителя. В периоды минимальной тепловой нагрузки системы ГВС, когда потребность в горячей воде у потребителей отсутствует, избыточная теплота, выделяемая системой охлаждения предприятия, не может полноценно утилизироваться на нужды нагрева ГВС. В такие периоды система автоматизированного регулирования холодильной установки для поддержания требуемого температурного режима регулирует мощность работы выносного конденсатора (драйкулер), на котором протекает испарение невостробованной теплоты в атмосферу. Автоматическое поддержание требуемой температуры в системах отопления и ГВС осуществ-

ляется с помощью контроллера, который управляет работой регулирующих клапанов ЕТ1 - 3 и насосов циркуляции Н1-3 (рис. 2) по данным от преобразователей температуры ТЕ 1- 6. Автоматическое управление температурным режимом осуществляется контроллером программируемым логическим Овен СПК 107 [M01]

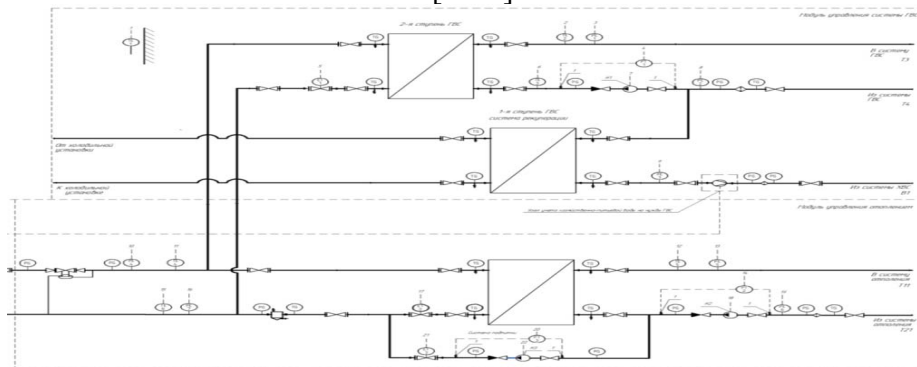


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации ИТП

Fig. 2. Functional diagram of ITP automation

Контролер получает информацию о температуре воды системы ГВС с преобразователя температуры ТЕ2 на подающем трубопроводе горячей воды и преобразователя температуры ТЕ3 на обратном трубопроводе горячей воды второй ступени нагрева системы ГВС и преобразователя температуры ТЕ4 на подающем трубопроводе сетевого теплоносителя. Управление нагревом воды в теплообменнике второй ступени производится по пропорционально-интегрально-дифференциальному закону в соответствии с заданной температурой ГВС в зависимости от полученных данных от датчиков температуры. Контроллер воздействует на регулирующий клапан ЕТ1, установленный на обратном трубопроводе сетевого теплоносителя. При этом работа холодильной установки коммерческого предприятия полностью автономна и не требует установки дополнительного устройств автоматики. Также в системе контролируется давление в контурах с помощью преобразователей давления РЕ1 – 7. Защиту насосов от сухого хода обеспечивает реле дифференциального давления РДД - 2Р (РТ1 – 3), рис. 2.

Для организации работы ИТП без постоянного обслуживающего персонала и дистанционного управления предусмотрена система диспетчеризации. Контроллер осуществляет передачу данных в систему диспетчеризации обслуживающего предприятия с помощью интерфейса Ethernet. На автоматизированное рабочее место диспетчера выводятся следующие данные: состояние насосов; давление воды в прямом трубопроводе теплосети; температура воды в прямом трубопроводе теплосети; температура воды в обратном трубопроводе теплосети; температура воды в подающем трубопроводе ГВС.

На щите управления ИТП обеспечивается выдача аварийных сигналов при нарушениях параметров работы. Графическая панель контроллера обеспечивает получение индикации температуры систем ГВС и отопления, состояния дискретных датчиков, вывод сигнализации превышения допустимого отклонения температур от заданных значений и других отказов и аварийных ситуация, а также дает возможность производить настройку параметров регуляторов, ведение управление, в том числе, ручного, по средству взаимодействия оператора с сенсорным экраном. Через графические схемы происходит отображение состояния управляемого объекта в режиме реального времени с использованием графических пиктограмм. Такое решение значительно упрощает взаимодействие обслуживающего персонала с системой управления.

Преимуществом предлагаемого решения является возможность обеспечения независимости работы системы горячего водоснабжения от централизованных сетей. Поскольку коммерческие предприятия не могут позволить длительного простоя оборудования, они способны обеспечить бесперебойную подачу тепловой энергии, в отличие от централизованных тепловых сетей городов, подверженных частым плановым летним ремонтным отключениям. Следует отметить, что максимальное количество бросовой тепловой энергии

выделяется холодильными установками в летний период, что часто позволяет обеспечить потребности зданий и сооружений в горячей воде полностью без дополнительного нагрева.

Вывод. Предложенный вариант теплового пункта позволит обеспечить значительную экономию энергетических ресурсов, благодаря вовлечению ранее не находившего применения отхода различных технологических процессов и климатических систем - вторичной тепловой энергии. Помимо этого, данное решение будет способствовать улучшению экологической обстановки в городской среде, за счет сокращения выбросов оксидов углерода и шумового загрязнения атмосферы

Библиографический список:

1. Глухов С.В., Лебедев В.М. Исследование степени эффективности внедрения автоматического регулирования в отопительных системах // Известия Транссиба. 2010. № 2 (2). С. 64-70.
2. Ваньков Ю.В., Запольская И.Н., Измайлова Е.В., Загретдинов А.Р., Валиев Р.Н. Снижение тепловых потерь энергоснабжающей организации модернизацией систем горячего водоснабжения // Вестник КГЭУ. 2018. № 4 (40). С. 13–24.
3. Салихов Р.Б., Абдрахманов В.Х., Важдает К.В. Система мониторинга и удаленного управления температурным режимом, климатом и теплопотреблением//Актуальные проблемы электронного машиностроения (АПЭП - 2016). Труды XIII международной научно-практической конференции. В 12 томах. 2016. С. 241-245.
4. Abdrakhmanov V.Kh., Salikhov R.B., Vazhdaev K.V. Development of a sound recognition system using STM32 microcontrollers for monitoring the state of biological objects // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – proceedings APEIE – 2018. 14th International Scientific-Technical Conference. In 8 Volume. 2018:170-173.
5. Важдает К.В., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. Интеллектуальная система жилых зон на основе информационно-измерительных систем управления // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. Т. 12. № 2. С. 70-75.
6. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. М.:Правительство РФ, 2020. 93 с.
7. Shivam V., Rushikesh T., Nikesh T., Dhananjay W., Surekha R. Review of waste heat recovery from air conditioning system//International Journal of Engineering Research&Technology. 2022. №4(11). С.152 -157.
8. Горбачев А.Н., Сарева Н.Ю. Подходы к разработке дорожной карты развития теплоснабжения на основе локальных источников энергии в целях устойчивого развития территорий // ФЭС: Финансы. экономика. стратегия. 2019. №2(16). С. 39-49.
9. Булгакова, И.А. Повышение энергоэффективности в сфере жилищно-коммунального комплекса как путь снижения углеродного следа // Энергосбережение. 2022. №7. С. 4-12.
10. Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. М.: Правительство РФ, 2022. 130 с.
11. Türkoğlu S.P., Kardoğa P.S.Ö. The Role and Importance of Energy Efficiency for Sustainable Development of the Countries // Proceedings of 3rd International Sustainable Buildings Symposium. 2018. С. 53-60.
12. Маркова В.М., Чурашев В.Н. Децентрализация энергетики: интеграция и инновации // Всероссийский экономический журнал ЭКО. 2020. №4 (550). С. 8-27.
13. Кузнецов Д.В., Тиханкин Д.В., Артемов И.И. Современные способы утилизации тепла в холодильных установках // Инновации и инвестиции. 2021. № 4. С. 189-191.
14. Асонов Д.А., Романова Т.Н. Утилизация тепла ЦОД // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н.И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 09–13 декабря 2019 г.). Екатеринбург. УрФУ, 2019. С. 34-37.
15. Хабиров Ю.М., Хамидуллин И.С. Возможность рекуперации бросовой теплоты холодильной установки в рамках модернизации систем горячего водоснабжения зданий // Технические и технологические системы: материалы тринадцатой международной научной конференции «ТТС-22» (23–25 ноября 2022 года). ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова. Краснодар: Изд. дом – Юг, 2022. С. 119-121.

References

1. Glukhov S.V., Lebedev V.M. Investigation of the degree of effectiveness of the introduction of automatic regulation in heating systems. *Izvestiya Transsib*. 2010; 2 (2): 64-70. (In Russ)
2. Vankov Yu.V., Zapolskaya I.N., Izmailova E.V., Zagretidinov A.R., Valiev R.N. Reduction of heat losses of an energy supply organization by modernization of hot water supply systems. *Bulletin of the KGEU*. 2018; 4 (40):13-24. (In Russ)
3. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.H., Vajdaev K.V. System of monitoring and remote control of temperature regime, climate and heat consumption. *Actual problems of electronic engineering (APEP - 2016). Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference. In 12 volumes*. 2016; 241-245. (In Russ)
4. Abdrakhmanov V.Kh., Salikhov R.B., Vazhdaev K.V. Development of a sound recognition system using STM32

- microcontrollers for monitoring the state of biological objects. *Actual problems of electronic instrument engineering. proceedings APEIE 2018.14 International Scientific-Technical Conference. In 8 Volume.* 2018; 170-173.
5. Vajdaev K.V., Abdrakhmanov V.Kh., Salikhov R.B. Intelligent system of residential zones based on information and measurement control systems. *Electrical and information complexes and systems.* 2016; 12 (2): 70-75. (In Russ)
 6. Energy strategy of the Russian Federation for the period up to 2035. Moscow: Government of the Russian Federation, 2020; 93. (In Russ)
 7. Shivam V., Rushikesh T., Nikesh T., Dhananjay W., Surekha R. Review of waste heat recovery from air conditioning system. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).* 2022; 4 (11):152 -157.
 8. Gorbachev A.N., Sareva N.Yu. Approaches to the development of a roadmap for the development of heat supply based on local energy sources for the sustainable development of territories. *FES: FINANCE. Economy. strategy.* 2019; 2(16):39-49. (In Russ)
 9. Bulgakova, I.A. Improving energy efficiency in the housing and communal complex as a way to reduce the carbon footprint. *Energy saving.* 2022; 7:4-12. (In Russ)
 10. Strategies for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. Moscow: Government of the Russian Federation, 2022; 130. (In Russ)
 11. Türkoğlu S.P., Kardoğa P.S.Ö. The Role and Importance of Energy Efficiency for Sustainable Development of the Countries. *Proceedings of the 3rd International Sustainable Buildings Symposium.* 2018; 53-60.
 12. Markova V.M., Churashev V.N. Decentralization of energy: integration and innovation. *All-Russian Economic Journal ECO.* 2020; 4 (550):8-27. (In Russ)
 13. Kuznetsov D.V., Tikhankin D.V., Artemov I.I. Modern methods of heat utilization in refrigeration units. *Innovations and investments.* 2021; 4:189-191. (In Russ)
 14. Asonov D.A., Romanova T.N. Data center heat recovery. *Energy and resource conservation. Energy supply. Non-traditional and renewable energy sources. Nuclear Power Engineering: Materials of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists dedicated to the memory of Professor N. I. Danilov (1945-2015) – Danilov Readings (Yekaterinburg, December 09-13, 2019). Yekaterinburg.: UrFU,* 2019; 34-37. (In Russ)
 15. Khabirov Yu.M., Khamidullin I.S. The possibility of recovery of waste heat of a refrigeration unit within the framework of modernization of hot water supply systems of buildings. *Technical and technological systems: materials of the thirteenth international scientific conference "TTS-22" (November 23-25, 2022). FGBOU VO "KubSTU", KVVAVL named after A.K. Serov. Krasnodar: Publishing House – Yug,* 2022; 119-121. (In Russ)

Сведения об авторах:

Важдаев Константин Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение»¹; кафедра «Инфокоммуникационные технологии и наноэлектроника»²; vazhdaev.k@gmail.com

Мартяшева Валентина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Водоснабжение и водоотведение»; martyashova@mail.ru

Аллабердин Азамат Булякович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Водоснабжение и водоотведение»¹; кафедра «Технологические машины и оборудование»²; allaberdinazamat@mail.ru

Хамидуллин Ильдар Салимович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Водоснабжение и водоотведение»; khamid_ildar@mail.ru

Муллоджанов Тахир Толибович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Водоснабжение и водоотведение»; mtahir@list.ru,

Хабиров Юлай Марсович, магистрант, yuhabirov@yandex.ru.

Information about authors:

Konstantin V. Vazhdaev, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof, Head of the Department of Water Supply and Sanitation¹; Department of Infocommunication Technologies and Nanoelectronics²; vazhdaev.k@gmail.com

Valentina A. Martyasheva, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof, Department of Water Supply and Sanitation; martyashova@mail.ru

Azamat B. Allaberdin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof, Department of Water Supply and Sanitation¹; Department of Technological Machines and Equipment²; allaberdinazamat@mail.ru

Ildar S. Khamidullin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof, Department of Water Supply and Sanitation; khamid_ildar@mail.ru

Tahir T. Mullojanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof, Department of Water Supply and Sanitation, mtahir@list.ru,

Yulay M. Khabirov, Master's Student, yuhabirov@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 19.11.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 01.12.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 01.12.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 544.463

DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-193-199



Оригинальная статья / Original article

**Механохимическая активация сталеплавильного шлака для получения
бесцементного композиционного вяжущего**

Е.В. Корнеева

Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Россия

Резюме. Цель. Одним из перспективных направлений использования шлакового сырья в строительной индустрии является повышение его структурной нестабильности и активности с помощью механохимии. Статья посвящена изучению комбинированной активации выпускаемого (свежего) шлака сталеплавильного производства с целью создания эффективной технологии получения бесцементного шлакового вяжущего. **Метод.** В качестве сырья использовались сталеплавильные шлаки – энергонасыщенные крупнотоннажные отходы Западно-Сибирского металлургического комбината (г. Новокузнецк). В качестве активаторов – отходы угольной промышленности шахты «Абашевская» (г. Новокузнецк): горелые породы с терриконика и шламы, полученные нейтрализацией известью электролитов отработанных кислотных аккумуляторов, аккумуляторных батарей промышленного транспорта. Изучение термогравиметрических кривых сырьевых компонентов: «сталеплавильный шлак» и «горелая порода» до обработки показало характерные особенности и присущие для них экзотермические и эндотермические эффекты. **Результат.** Установлено влияние добавок-активаторов на физико-химические процессы при механохимической активации сталеплавильного шлака и основные структурообразующие факторы. **Вывод.** Создание композиционных вяжущих с использованием сталеплавильного шлака на сегодняшний день актуально в составе масштабной задачи строительно-технологической утилизации техногенных образований.

Ключевые слова: шлаковое сырье, механохимическая активация, дериватограмма, бесцементное вяжущее, матричная структура

Для цитирования: Е.В. Корнеева. Механохимическая активация сталеплавильного шлака для получения бесцементного композиционного вяжущего. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):193-199. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-193-199

**Mechanochemical activation of steelmaking slag to obtain
a cementless composite binder**

E.V. Korneeva

Siberian State Industrial University,
42 Kirov Str., Novokuznetsk 654007, Russia

Abstract. Objective. One of the promising areas for the use of slag raw materials in the construction industry is to increase its structural instability and activity with the help of mechanochemistry. The article is devoted to the study of the combined activation of the produced (fresh) slag of steelmaking production in order to create an effective technology for obtaining cementless slag binder. **Method.** Steel slags were used as raw materials - energy-saturated large-tonnage waste of the West Siberian Metallurgical Plant (Novokuznetsk). As an activator waste from the coal industry of the «Abashevskaya» mine (Novokuznetsk): burnt rocks from waste heaps and sludge, obtained by lime neutralization of electrolytes of spent acid batteries, industrial transport batteries. The study of thermogravimetric curves of raw materials: "steel slag" and "burnt rock" before processing showed the characteristic features and their inherent exothermic and endothermic effects.

The effect of additives-activators on the physical and chemical processes during the mechanochemical activation of steel-smelting slag has been established and main structure-forming factors. **Result.** Based on the used mechanically activated slag raw materials, a cementless binder of a matrix structure was obtained. **Conclusion.** The creation of composite binders using steel-smelting slag is relevant today as part of a large-scale task of construction and technological utilization of technogenic formations.

Keywords: slag raw materials, mechanochemical activation, derivatogram, cementless binder, matrix structure.

For citation: E.V. Korneeva. Mechanochemical activation of steelmaking slag to obtain a cementless composite binder. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):193-199. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-193-199

Введение. В последние годы большое внимание уделяется разработке эффективных технологических процессов рациональной переработки шлакового сырья, одним из которых является механохимическая активация [1,2].

Метод механохимических воздействий с применением современных мельниц-активаторов является перспективным направлением для создания новых высокоэффективных и экологически чистых технологий в неорганическом синтезе для получения вяжущих материалов. Для эффективного его использования необходимы знания о механизмах физических и химических процессов, происходящих в механохимических реакторах. Известны примеры использования механической активации для получения вяжущих материалов [3-11].

При обработке материалов в аппаратах - активаторах, их активность повышается за счет создания высокой концентрации энергии в помольной камере и значительной энергии взаимодействия мелющего тела с частицами измельчаемого материала. Изменение кристаллической структуры с помощью механохимии повышает активность измельчаемого сырья: увеличивается число коагуляционных контактов разнородных частиц, ускоряется образование продуктов гидратации, повышается пластическая прочность твердеющей смеси [12].

Постановка задачи. Среди техногенного промышленного сырья, требующего комплексного подхода к использованию в технологиях создания различной строительной продукции сталеплавильные шлаки занимают особое место по сложности состава и структурным особенностям. Эти шлаки имеют микропорфированную структуру, состоящую из двухкальциевого силиката, алюмосиликата, монтichelлита, периклаза, и других минералов. Химический состав электросталеплавильного шлака Западно-Сибирского металлургического комбината города Новокузнецка Кемеровской области приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав электросталеплавильного шлака
Table 1. Chemical composition of electric furnace slag

Наименование оксидов Name oxides	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	в т.ч. CaO _{своб.}	MgO	TiO ₂	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃	S	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃
Массовая доля, % Mass fraction	26,63	5,33	-	0,95	0,37	55,55	0,71	9,68	-	-	-	1,41	0,03	0,05

По химическому составу эти шлаки основные. Основность электросталеплавильных шлаков первичных — 1,6 - 2,4; конечных — 1,7 - 3,0. При выборе добавки-активатора для проектирования вяжущей смеси рассматривались различные «кислые» крупнотоннажные отходы промышленных предприятий Кузбасса: микрокремнезём (ультрадисперсный отход производства кристаллического кремния), каменноугольная зола (ультрадисперсный отход

ТЭС) и горелая порода шахтных отвалов. Все перечисленные техногенные продукты способны повысить активность шлака [13, 14].

Методы исследования. Выбор горелой породы, как компонента вяжущего, был обусловлен не только повышенной физико-химической активностью [15, 16], но и экономической целесообразностью ее переработки и использования, так как в настоящее время утилизация горелых пород, скопившихся в огромных объемах на территории угледобывающих предприятий региона, является актуальной. В местах размещения терриконов происходит изменение ландшафта, а в теле терриконов замедляются процессы почвообразования. Являясь эффективным сырьём для производства различных строительных материалов, горелые породы могут быть применены в качестве кремнезёмистой составляющей вяжущего. Горелая порода входит в группу гидравлических веществ глинистого характера и по содержанию доломитов, известняков и глинистых примесей схожа с золой [17, 18]. Химический анализ горелых пород терриконика шахты «Абашевская» показал, что они относятся к группе «ультракислых», поскольку содержат повышенное количество SiO_2 и Al_2O_3 , $K_{\text{осн.}} = 0,1$ (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав горелых пород
Table 2. Chemical composition of burnt rocks

Наименование оксидов Name of oxides	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	В т.ч. $\text{CaO}_{\text{своб.}}$	MgO	TiO_2	SO_3	P_2O_5	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$
Массовая доля, % Mass fraction	49,18	17,62	6,52	1,66	0,24	3,79	0,65	7,61	0,81	1,27	0,07	11,23

Для использования в качестве среды для диспергирования использован шлак, полученный нейтрализацией известью электролита отработанных тяговых кислотных аккумуляторов электродвигателей специальных видов транспорта предприятия: электровозов, электрокар, автопогрузчиков, электротягачей и бульдозеров с плотностью 1,15 - 1,30 г/см³, содержащие 26-31% сульфат-ионов.

Шлак представляет собой обводненный гель, обладающий высокой пластичностью и имеет в своем составе легкорастворимую соль амфотерного металла - свинца с серной кислотой, чем объясняется наличие в нём сульфатов этого металла. Переработка сырьевых компонентов проводилась с использованием дезинтегратора мокрого помола ГОРИЗОНТ-3000 МК-ВА (частота вращения – 3000 об/мин).

Для объяснения фазовых трансформаций механоактивированной системы были изучены термогравиметрические кривые сырьевых компонентов: «сталеплавильный шлак» и «горелая порода» до обработки, для выявления характерных особенностей и присущих для них экзотермических и эндотермических эффектов. На рис. 1 представлен дифференциальный термогравиметрический анализ сталеплавильного шлака.

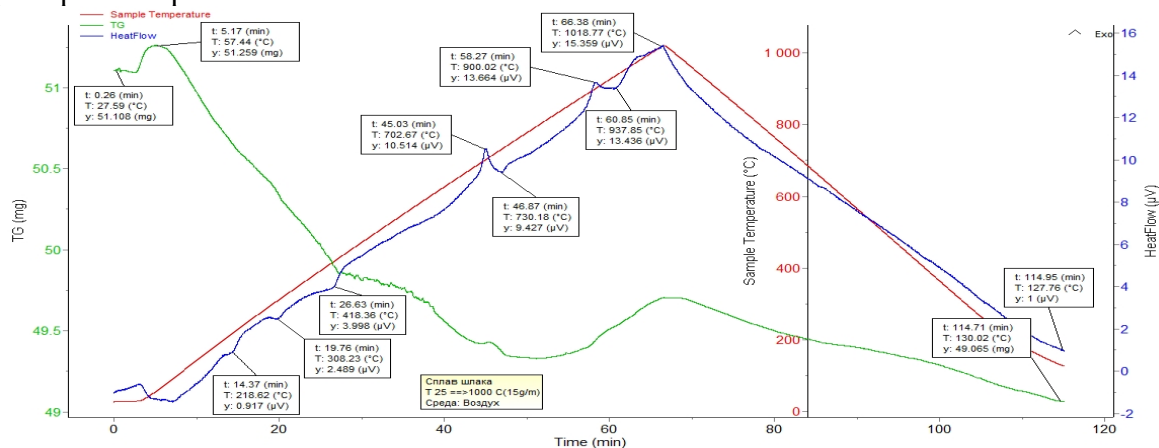


Рис. 1. ДТА сталеплавильного шлака до обработки
Fig. 1. DTA of steelmaking slag before processing

Дериватограмма шлака характеризуется наличием на фоне эндотермических эффектов (218°, 308°, 418°, 730° и 937°C) экзотермических пиков при температурах 702° и 900°C. При температуре 218°C происходит удаление влаги из шлака. В интервале температур 700-900°C отмечается переход одной модификации кальциооливина (Ca_2SiO_4): при температуре 730°C нестабилизированная фаза $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ переходит в $\beta'\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$, при дальнейшем увеличении температуры ($\approx 900^\circ\text{C}$) $\beta'\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ переходит в силикатную фазу $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$. Кальциооливин Ca_2SiO_4 (силикат дикальция) основной компонент минерала белита, является стабильным, и образовался из реакционноспособного CaO и SiO_2 при 300°C. Нестабилизированная фаза $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ не гидратируется, и при производстве вяжущих не используется. Однако при повышении температуры нестабилизированная фаза $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ прошла через несколько полиморфных состояний с образованием моноклинной силикатной фазы $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$. Дифференциальный термогравиметрический анализ горелых пород (рис.2) позволил не только установить ее термическую инертность (полноту прошедшего самообжига), но и уточнить минералогический состав.

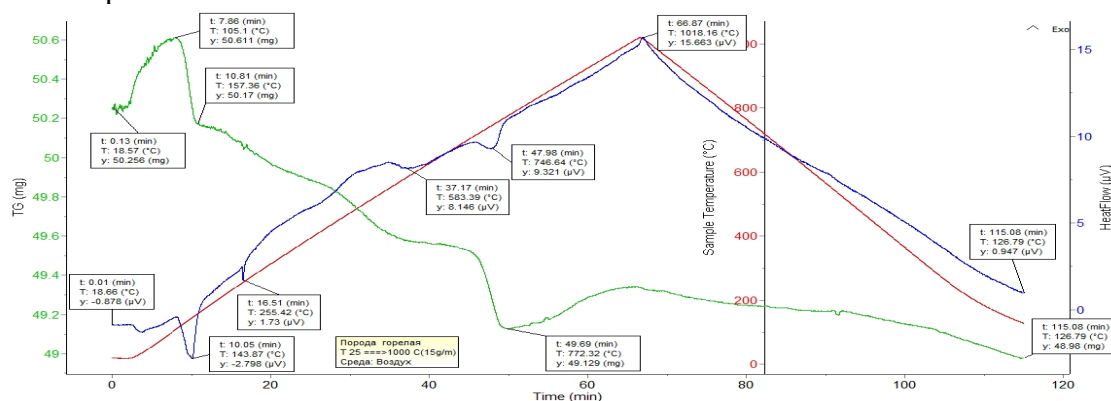


Рис. 2. ДТА горелой породы до обработки
Fig. 2. DTA of burnt rock before processing

На дериватограмме горелой породы видны несколько эндотермических эффектов. Первый при температуре от 110-120° C до 180°C соответствует удалению адсорбционной влаги из породы. Максимум испарения при 143°C. При температуре 255°C отмечается разложение тонкодисперсного гетита (FeOOH), содержащегося в виде включений в кристаллах кварца. В интервале температур 500-800°C идет разложение карбонатов сидерита и доломита, о чем свидетельствуют изменения на кривой изменения массы.

Доломит - двойная углекислая соль кальция и магния, один из главных минералов, слагающих карбонатные породы. Кристаллическая структура железистой минеральной смеси - сидерит среди карбонатов отличается высокой плотностью и твердостью. Подвергаясь термической диссоциации, частично взаимодействует с глинистой частью породы.

Обсуждение результатов. Показателем активности вяжущего является дефектность структуры его минералов. Поэтому механохимическая активация шлака позволяет за счет накопления на поверхности частиц различного рода дефектов изменить его химическую активность. В процессе механохимической активации смеси возможен синтез минералов, обладающих гидратационной активностью.

Смещение пиков экзо- и эндотермических эффектов в сторону более высоких температур зафиксированное на термограмме вяжущего (рис. 3) говорит о том, что механохимическая активация смеси способствовала упрочнению его структуры. Такие эффекты обнаруживаются на гравиметрической кривой, где отмечены большие потери массы по сравнению с кривыми сырьевых компонентов. Дериватограмма вяжущего позволила установить наличие гидратных новообразований (эндотермический эффект при 138,97-161,12°C): ступенчатая дегидратация гидрата сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) до полугидрата ($\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$). Отмечено также проявление эндотермического эффекта при 275,72°C, который отражает эндотермическую реакцию их обезвоживания и дегидратацию полугидрата ($\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$) до ангидрита (CaSO_4).

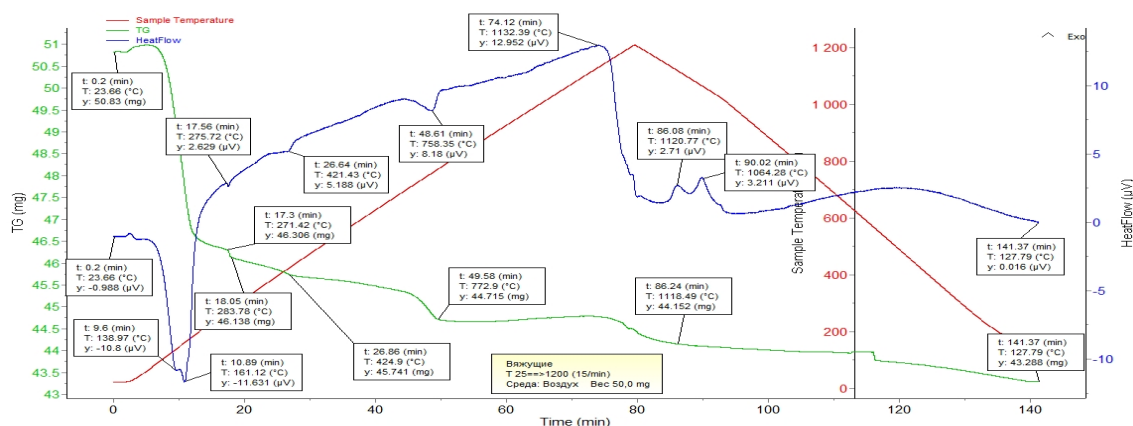


Рис. 3. ДТА вяжущего
Fig. 3. DTA binder

Ступенчатая дегидратация гидрата сульфата кальция свидетельствует об изменениях в решетке. В результате термического превращения двухводного гипса в полугидрат кристаллическая решетка перестраивается. При удалении молекул воды происходит разрыв связей ионов Ca^{2+} и Ca^{2-} с молекулами H_2O что подтверждает потеря массы, обусловленная дегидратацией. Общая потеря массы составила 17,4% что свидетельствует о значительном содержании воды в структуре материала и изменение потери массы в ходе эндотермических реакций. При удалении воды из двуhydrата CaSO_4 в капельно-жидком состоянии образовался $\alpha\text{-CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$. Вяжущие на основе α -полугидрата CaSO_4 имеют малую водопотребность, медленнее гидратируются, характеризуются малой пористостью и повышенными значениями прочностных свойств.

В интервале 421,43-758,35⁰C отмечена дегидратация этtringита, до десульфатизации при 1132⁰C. Фазы гидрата сульфата кальция и этtringита содержат значительное количество кристаллизационной H_2O – (20,91%) и (45,91%) – соответственно, а так как кристаллизационная H_2O удаляется при строго определенных температурах, с помощью комплексного термического анализа в исследуемых образцах вяжущего определено содержание гидрата сульфата кальция и этtringита.

Расчетные значения по данным ДТА составляют: гипс – 44,1%; этtringит – 9,2%. Пересчет химического анализа на минеральный состав по потерям массы при прокаливании (Ппп) дает следующие значения: гипс – 52,6%; этtringит – 8,0%. Химический анализ шлакового вяжущего представлен в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав шлакового вяжущего

Table 3. Chemical composition of slag binder

Наименование оксидов Name of oxides	SO_3	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	TiO_2	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	П.п.п.
Массовая доля, % Mass fraction	10,79	23,69	5,69	0,61	0,74	37,80	6,31	0,36	0,76	13,25

Установлено, что вяжущие свойства механоактивированного композиционного состава на основе сталеплавильного сырья обусловлены присутствием новообразований силикатов кальция: высоким содержанием гидрата сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ до 60%); гидросульфалюмината кальция и ортосиликата кальция ($(\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \times 26\text{H}_2\text{O}$ и Ca_2SiO_4 10-15%); а также минералов кварца и оксида магния (SiO_2 , MgO 3-5%).

Бесцементное композиционное вяжущее на основе механоактивированных шлаков сталеплавильного производства имеет матричную микроструктуру, дисперсионная среда которой состоит из плотных мелкозернистых масс гидрата сульфата кальция. Твердая дисперсная фаза образована пластинчатыми кристаллами кварца и оксида магния, и трубчаты-

ми кристаллами ортосиликата кальция. Переходный межфазный слой сформирован из структурированных зерен гидросульфатоалюмината кальция [19].

Вывод. Обоснована целесообразность механохимической активации низкоактивного шлакового сырья и влияние добавок-активаторов на повышение его структурной неустойчивости и активности. В качестве добавок-активаторов, использованы отходы угольной промышленности шахты «Абашевская» - горелые породы с терриконики и шламы, полученные нейтрализацией известью электролитов отработанных кислотных аккумуляторов: электровозов, электрокар, автопогрузчиков, электротягачей и бульдозеров автотранспорта предприятия. Определены фазовые трансформации оксидных систем и основные структурообразующие факторы при формировании матричной структуры вяжущего.

Библиографический список:

1. Алфимова Н.И., Калатоzi В.В., Карацупа С.В., Вишневская Я.Ю., Шейченко М.С. Механоактивация как способ повышения эффективности использования сырья различного генезиса в строительном материаловедении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 85-89.
2. Зимакова Г.А., Солонина В.А., Илясова С.В., Ашуров М.А. Активация металлургического отвального шлака // Инновации и инвестиции. 2019. № 10. С. 280-284.
3. Андриюшкова О.В., Полубояров В.А., Паули И.А., Коротаева З.А. Механохимия создания материалов с заданными свойствами. Новосибирск: НГТУ. 2010. 352 с.
4. Fedorov P., Sinitsin D. Alkali-Activated Binder Based on Cupola Dust of Mineral Wool Production with Mechanical Activation // Buildings. 2022. No. 12(10), pp. 1565; DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12101565>.
5. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes. // AIMS Materials Science. 2018. Vol.5, Issue 5. pp. 916–931. DOI: 10.3934/matricsci.2018.5.916
6. Лапшин О.В., Болдырева Е.В., Болдырев В.В. Роль смешения и диспергирования в механохимическом синтезе (обзор) // Журнал неорганической химии. 2021. Т. 6. № 3. С. 402–424. DOI: 10.31857/S0044457X21030119
7. Федюк Р. С., Мочалов А. В., Лесовик В. С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2018. № 4 (37). С. 85-99.
8. Абрамов М.А., Степанов Е.Г., Качалов Д.В., Мурашов А.О. Механохимическая технология эффективного использования вторичного техногенного сырья // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. 2021. № 1 (56) С. 84-89.
9. Голик В.И., Алексеев И.А. Механохимическая активация хвостов обогащения для использования в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 5-1. С. 5–16.
10. Голик В.И., Титова А.В. Комбинированные технологии активации минерального сырья // Горная промышленность. 2021. № 5. С.100–105. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-100-105
11. Сучков В.П., Веселов А.В. Механохимическая активация природного и техногенного сырья при производстве высокопрочного гипса // Технологии бетонов. 2021. № 6 (179). С. 71-77.
12. Теоретические основы и технологические аспекты создания нового нанодисперсного силикатного вяжущего из вторичных минеральных ресурсов с использованием механохимии: монография / С.И. Павленко, М.В. Луханин, Е.Г. Аввакумов, Е.В. Корнеева. Новосибирск: СО РАН. 2013. 106 с.
13. Способ получения вяжущего для бетонов и строительных растворов: патент 2664567 Рос. Федерация. № 2017132779 / Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. заявл. 19.09.2017. опубл. 21.08.2018.
14. Земляной К.Г., Кормина И.В., Павлова И.А. Сравнительные характеристики кремнезема различных производителей // Новые огнеупоры. 2018. № 1. С. 8-17.
15. Сапелкина Т.В., Кара-сал Б.К., Стрельников А.Н. Получение силикатного стенового материала на основе вскрышной горелой породы угледобычи на примере месторождений республики Тыва // Успехи современного естествознания. 2019. № 8. С. 67-72.
16. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Материалы из горелых пород для бетонной шахтной крепи // Инноватика и экспертиза. 2022. Вып. 1 (33). С. 106-114.
17. Абдрахимова Е.С. Использование отходов топливно-энергетического комплекса – горелых пород и отходов обогащения хромитовых руд в производстве пористых заполнителей на основе жидкостекольной композиции // Уголь. 2019. № 7. С. 67–69.
18. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Использование техногенного сырья в технологии керамического кирпича // Инноватика и экспертиза. 2020. Вып. 2 (30). С.160-169.
19. Корнеева Е.В., Бердов Г.И., Созинов С.А. Особенности формирования структуры бесцементного матричного композита на основе механоактивированного техногенного сырья // Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11. № 1. С. 102-114.

20. Бесцементное вяжущее: патент 2542074 Рос. Федерация. № 2014106301/03 / Корнеева Е.В. заявл. 19.02.2014. опубл. 20.02.2015. Бюл. № 5.4с.

References

1. Alfimova N.I., Kalatosi V.V., Karatsupa S.V., Vishnevskaya Y.Yu., Sheichenko M.S. Mechanical activation as a way to increase the efficiency of the use of raw materials of different genesis in construction materials science. *Bulletin of V.G. Shukhova BSTU*. 2016; 6, 85-89. (In Russ).
2. Zimakova G.A., Solonina V.A., Ilyasova S.V., Ashurov M.A. Activation of metallurgical dump slag. *Innovation and Investment*. 2019; 10: 280-284. (In Russ).
3. Mechanochemistry of creating materials with specified properties / O.V. Andryushkova, V.A. Poluboyarov, I.A. Pauli, Z.A. Korotaeva. – Novosibirsk: NGTU, 2010; 352. (In Russ).
4. Fedorov P., Sinitsin D. Alkali-Activated Binder Based on Cupola Dust of Mineral Wool Production with Mechanical Activation. *Buildings*. 2022, 12(10): 1565. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12101565>
5. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes. *AIMS Materials Science*, 2018; 5 (5): 916–931. DOI: 10.3934/matricsci.2018.5.916
6. Lapshin O.V., Boldyreva E.V., Boldyrev V.V. Role of mixing and dispersion in mechanochemical synthesis (overview). *Journal of Inorganic Chemistry*. 2021; 6 (3): 402–424. (In Russ). DOI: 10.31857/S0044457X21030119
7. Fedyuk R. S., Mochalov A. V., Lesovik V. S. Modern methods of activating binder and concrete mixtures (overview). *Bulletin of the FEFU School of Engineering*. 2018; 4 (37):85-99. (In Russ)
8. Abramov M.A., Stepanov E.G., Kachalov D.V., Murashov A.O. Mechanochemical technology of efficient use of secondary technogenic raw materials. *Bulletin of the RGAT named after P. A. Solov'yov* 2021; 1 (56): 84-89. (In Russ).
9. Golik V.I., Alekseev I.A. Mechanochemical activation of enrichment tailings for use as components of hardeningfilling mixtures. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2023; 5-1: 5–16. (In Russ).
10. Golik V.I., Titova A.V. Combined technologies for activation of mineral raw materials. *Mining industry*. 2021; 5: 100–105. (In Russ). DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-100-105
11. Suchkov V.P., Veselov A.V. Mechanochemical activation of natural and man-made raw materials in the production of high-strength gypsum. *Concrete technologies*. 2021; 6 (179): 71-77. (In Russ).
12. Theoretical foundations and technological aspects of creating a new nanodispersed silicate binder from secondary mineral resources using mechanochemistry / S.I. Pavlenko, M.V. Lukhanin, E.G. Avvakumov, E.V. Korneeva. – Novosibirsk: CO RAN, 2013; 106. (In Russ).
13. Method for preparing binder for concretes and mortars: Patent 2664567 Russian Federation. № 2017132779 / Buravchuk N.I., Gurtyanova O.V. application. 19.09.2017. publ. 21.08.2018. (In Russ).
14. Zemlyanoy K.G., Kormina I.V., Pavlova I.A. Comparative characteristics of silica of various manufacturers. *New refractories*. 2018; 1: 8-17. (In Russ).
15. Sapelkina T.V., Kara-sal B.K., Strelnikov A.N. Production of silicate wall material based on flared coal mining rock using the example of deposits of the Republic of Tuva. *The successes of modern natural science*. 2019; 8: 67-72. (In Russ).
16. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. Materials from burnt rocks for concrete mine support. *Innovation and expertise*. 2022; 1 (33):106-114. (In Russ).
17. Abdrakhimova E.S. Use of fuel and energy complex wastes - burnt rocks and chromite ore enrichment wastes in production of porous aggregates based on liquid-glass composition. *Coal*. 2019; 7: 67–69. (In Russ).
18. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. Use of technogenic raw materials in ceramic brick technology. *Innovation and expertise*. 2020; 2 (30): 160-169. (In Russ).
19. Korneeva E.V., Berdov G.I., Sozinov S.A. Features of formation of the cement-free matrix composite structure based on mechanically activated technogenic raw materials. *Construction and Geotechnics*. 2020; 11 (1): 102-114. (In Russ).
20. Cement-free binder: Patent 2542074 Russian Federation. № 2014106301/03 / Korneeva E.V. application. 19.02.2014. publ. 20.02.2015; 5. (In Russ).

Сведения об авторе:

Корнеева Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерных конструкций, строительных технологий и материалов; hellen-box-8@yandex.ru

Information about author:

Elena V. Korneeva, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Assoc.Prof., Department of Engineering structures, construction technologies and materials; hellen-box-8@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 26.11.2023.

Одобрена после рецензирования / Revised 30.12.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 30.12.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 666.94.052



DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-200-205 Оригинальная статья / Original article

Совместное влияние различного состава мелющих тел и поверхностно-активного вещества на эффективность процесса измельчения клинкера

А.А. Крутилин, Ф.П. Потапов, Н.А. Инькова, О.К. Пахомова

Волгоградский государственный технический университет (Себряковский филиал),
403343, Волгоградская обл., г. Михайловка, ул. Мичурина, 21, Россия

Резюме. Цель. В настоящее время измельчение цемента в мельницах осуществляется до удельной поверхности 2500-3000 и 3500-4500 см²/г и более. Дальнейшее измельчение клинкера резко ухудшает свойства получаемой продукции. Целью исследования является обеспечение максимальной эффективности процесса измельчения путем определения оптимального совместного влияния различного ассортимента мелющих тел и поверхностно-активного вещества. **Метод.** При измельчении материала вводится поверхностно-активное вещество (ПАВ). В качестве ПАВ – интенсификатора помола, применялся триэталомин (ТЭА). Добавляется триэталомин непосредственно перед помолом в мельницу, в количестве 0,03% в пересчете на сухое вещество от массы, загружаемого в мельницу клинкера. **Результат.** Добавляя поверхностно-активное вещество при измельчении клинкера, можно получить готовый продукт, при этом время измельчения сократится в 1,5 раза. **Вывод.** Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о значительном влиянии различного состава мелющих тел на получаемый зерновой состав и свойства цемента.

Ключевые слова: удельная поверхность, измельчение цемента, энергетические затраты, клинкер, ассортимент мелющих тел, барабан, мельница периодического действия

Для цитирования: А.А. Крутилин, Ф.П. Потапов, Н.А. Инькова, О.К. Пахомова. Совместное влияние различного состава мелющих тел и поверхностно-активного вещества на эффективность процесса измельчения клинкера. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1): 200-205. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-200-205

The combined influence of different compositions of grinding media and surfactants on the efficiency of the clinker grinding process

A.A. Krutilin, F.P. Potapov, N.A. Inkova, O.K. Pakhomova

Volgograd State Technical University (Sebryakov Branch),
21 Michurina Str., Volgograd region, Mikhailovka 403343, Russia

Abstract. Objective. Currently, cement is crushed in mills to a specific surface area of 2500-3000 and 3500-4500 cm²/g or more. Further grinding of clinker sharply worsens the properties of the resulting product. The purpose of the study is to ensure maximum efficiency of the grinding process by determining the optimal combined influence of a different assortment of grinding media and surfactants. **Method.** When grinding the material, a surfactant (surfactant) is introduced. Triethalamine (TEA) was used as a surfactant – grinding intensifier. Triethalamine is added immediately before grinding into the mill, in an amount of 0.03% in terms of dry matter of the mass of clinker loaded into the mill. **Result.** By adding a surfactant when grinding clinker, you can obtain a finished product, while the grinding time is reduced by 1.5 times. **Conclusion.** The results of experimental studies indicate a significant influence of different compositions of grinding media on the resulting grain composition and properties of cement.

Keywords: specific surface area, cement grinding, energy costs, clinker, assortment of grinding media, drum, batch mill

For citation: A.A. Krutilin, F.P. Potapov, N.A. Inkova, O.K. Pakhomova. The combined influence of different compositions of grinding media and surfactants on the efficiency of the clinker grinding process. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):200-205. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-200-205

Введение. В настоящее время измельчение цемента в мельницах осуществляется до удельной поверхности 2500-3000 и 3500-4500 см²/г и более [1-5]. Дальнейшее измельчение клинкера резко ухудшает свойства получаемой продукции [6-10]. Актуальность темы обусловлена повышенным интересом к снижению материальных и энергетических затрат в процессе измельчения клинкера и получения цемента, соответствующего технологическим требованиям [11-17].

Постановка задачи. Целью исследования является обеспечение максимальной эффективности процесса измельчения путем определения оптимального совместного влияние различного ассортимента мелющих тел и поверхностно-активного вещества.

Задачами исследования являются:

1. Провести экспериментальные исследования по измельчению клинкера в лабораторной мельнице.
2. Определить совместное влияние различного ассортимента мелющих тел и поверхностно-активного вещества при измельчении на производительность и удельный расход энергии.
3. Исследовать зерновой состав цемента.

Методы исследования. В связи с поставленными задачами, при измельчении материала вводится поверхностно-активное вещество (ПАВ). В качестве ПАВ – интенсификатора помола, применялся триэталомин (ТЭА). Добавляется триэталомин непосредственно перед помолом в мельницу, в количестве 0,03% в пересчете на сухое вещество от массы, загружаемого в мельницу клинкера. Для каждого эксперимента состав мелющих (рис.1) тел представлен в табл. 1.



Рис. 1. Шаровая загрузка

Fig. 1. Ball loading

Таблица 1. Содержание мелющих тел по массе

Table 1. Content of grinding media by weight

№	Общий вес шаров соответствующего диаметра, кг Total weight of balls of the corresponding diameter, kg							
	Ø70 мм	Ø60 мм	Ø40 мм	Ø22 мм	Ø9 мм	Ø8 мм	Ø5 мм	Ø4 мм
1	10	9	20	2	2	4	4	4
2	10	9	20	4	4	2	2	4
3	10	9	20	2	4	4	4	2
4	10	9	20	4	3	3	3	3

Измельчение осуществлялось в типовой лабораторной мельнице (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид модели мельницы периодического действия

Fig. 2. General view of the batch mill model

Она представляет собой барабан с внутренним диаметром 0,5 м, длина камеры равна 0,28 м, объем которой – 0,055 м³. Масса дробящей загрузки камеры составляет 55 кг. Количество загружаемого в мельницу материала составляет 14% от общей массы мелющих тел. В качестве исходного материала используется клинкер размером 5,0 – 7,5 мм.

Обсуждение результатов. Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что увеличение времени измельчения от 25 мин до 50 мин снижает производительность мельницы при различном составе мелющих тел с добавлением ПАВ (рис. 3).

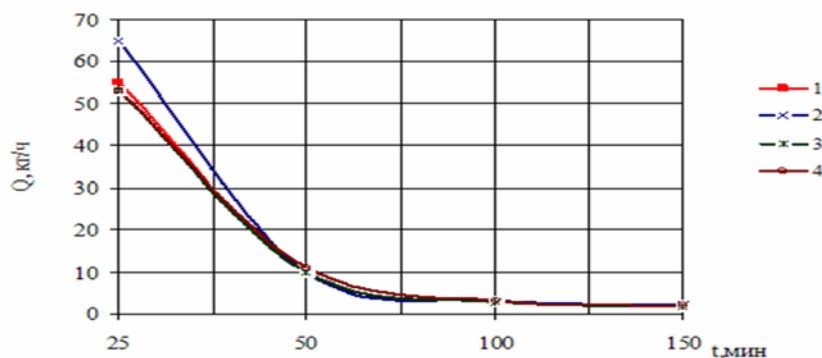


Рис. 3. Экспериментальная зависимость производительности от времени измельчения $Q = f(t)$ с ПАВ при $d_{св}=64$ мм и $n=48$ об/мин: 1 - первый вариант состава мелющих тел; 2 - второй вариант состава мелющих тел; 3 - третий вариант состава мелющих тел; 4 - четвертый вариант состава мелющих тел

Fig. 3. Experimental dependence of productivity on grinding time $Q = f(t)$ with PAV $d_{sv}=64$ mm and $n=48$ rpm: 1 - first version of the composition of grinding media; 2 - second version of the composition of grinding media; 3 - third version of the composition of grinding media; 4 - fourth version of the composition of grinding media

При втором варианте состава мелющих тел (кривая 2 на рис.3) наблюдается максимальное снижение производительности с 65 кг/ч до 10 кг/ч, т.е. на 85%. Рост удельного расход энергии для всех кривых одинаков - с 5 кВт·ч/т до 28 кВт·ч/т, т.е. на 82% (рис. 4).

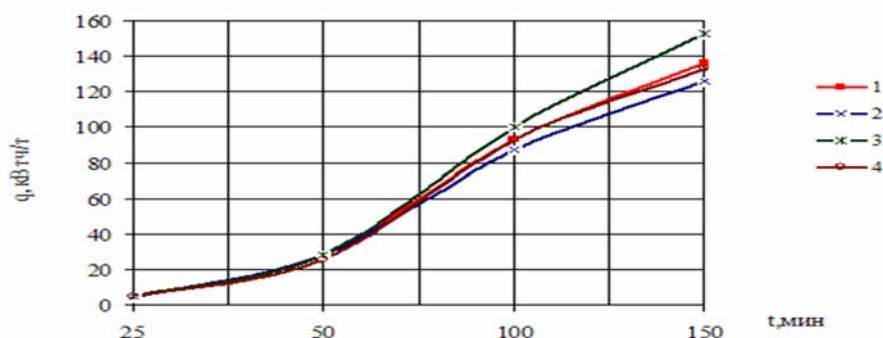


Рис. 4. Экспериментальная зависимость удельного расхода энергии от времени измельчения $q = f(t)$ с ПАВ при $d_{св}=64$ мм и $n=48$ об/мин: 1 - первый вариант состава мелющих тел; 2 - второй вариант состава мелющих тел; 3 - третий вариант состава мелющих тел; 4 - четвертый вариант состава мелющих тел

Fig. 4. Experimental dependence of specific energy consumption on the grinding time $q = f(t)$ with PAV at $d_{sv} = 64$ mm and $n=48$ rpm: 1 - the first variant of the composition of grinding media; 2 - the second variant of the composition of grinding media; 3 - the third variant of the composition of grinding media; 4 - the fourth variant of the composition of grinding media

Дальнейшее увеличение времени измельчения до 100 мин приводит к одинаковому снижению производительности мельницы на 70% при любом составе мелющих тел (кривые 1, 2, 3, 4 на рис.3). Минимальный рост удельного расхода энергии, который составил 68%, наблюдается при втором варианте состава мелющих тел (кривая 2 на рис.4).

Увеличение времени измельчения до 150 мин снижает производительность на 33,3% одинаково при любом составе мелющих тел (кривые 1,2,3,4). Самый минимальный рост удельного расхода энергии - 30% наблюдается при втором варианте состава мелющих тел (кривая 2 на рис.4). Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы, что добав-

для ПАВ при измельчении клинкера, можно получить готовый продукт, при этом время измельчения сократится на 50 мин, т.е. в 1,5 раза. Зерновой состав цемента изучался с помощью лазерного анализатора «MicroSizer 201», позволяющего разделить массовые доли зерен цемента в диапазоне от 0,2 до 600 мкм.

На рис. 5 представлен график распределения частиц цемента, по размерам размолото-го различным составом мелющих тел с добавлением ПАВ при аналогичных условиях.

Проанализировав график распределения частиц цемента, по размерам, можно сделать вывод о том, что, измельчая материал с добавлением ПАВ, происходит существенное увеличение доли тонкой фракции размером менее 10 мкм на 13%.

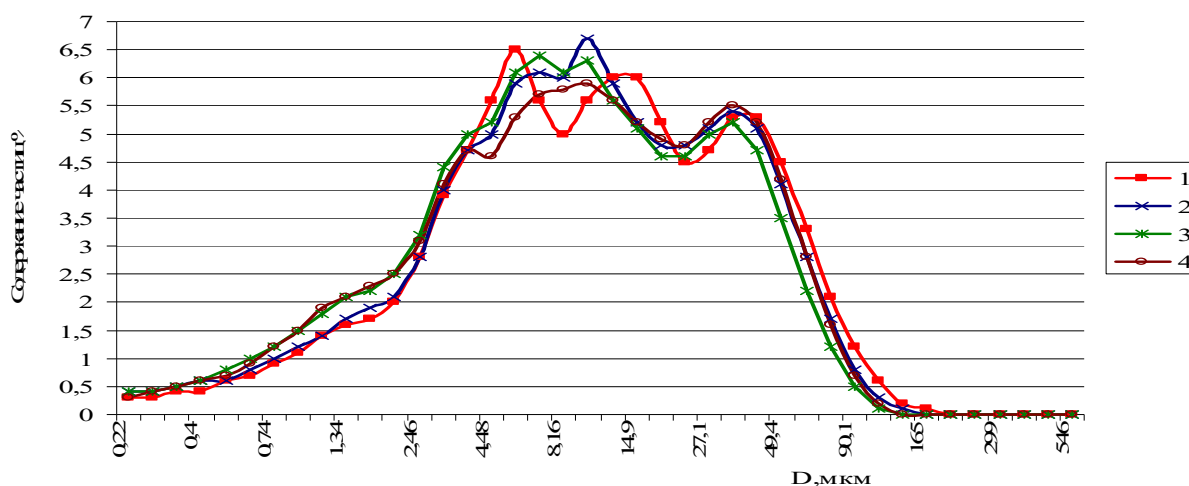


Рис. 5. График распределения частиц цемента, по размерам размолотого с добавлением ПАВ при $d_{ce}=64$ мм и $n=48$ об/мин: 1 - первый вариант состава мелющих тел; 2 - второй вариант состава мелющих тел; 3 - вариант состава мелющих тел; 4 - вариант состава мелющих тел

Fig. 5. Graph of the distribution of cement particles, by grinding size, with the addition of PAV at $d_{sv}=64$ mm and $n=48$ rpm: 1 - the first variant of the composition of grinding media; 2 - the second variant of the composition of grinding media; 3 - variant of the composition of grinding media; 4 - variant of the composition of grinding media

Так доля частиц размером менее 10 мкм в готовом продукте, измельченном при добавлении ПАВ при первом варианте состава мелющих тел (кривая 1 на рис.5) составила 51,1%, а без ПАВ – 44,5%. Доля частиц размером от 10 мкм до 30 мкм, при измельчении материала с добавлением ПАВ при различных вариантах состава мелющих тел увеличивается на 28%. Это объясняется тем, что введение ПАВ при помоле снижает поверхностную энергию разрушаемого клинкера, уменьшая работу образования новых поверхностей. Кроме того, проникая в трещины и покрывая поверхность клинкера, ПАВ резко увеличивает вероятность развития дефектов структуры.

Доля частиц размером от 40 мкм до 130 мкм без добавления ПАВ при измельчении материала составила 21%, а с добавлением ПАВ 11,9%, что в 1,8 раза меньше. Добавляя ПАВ при измельчении, в готовом продукте частицы размером свыше 130 мкм отсутствуют, а при измельчении материала без добавления ПАВ содержание частиц размером свыше 130 мкм составляет 2%. Удельная поверхность готового продукта с добавлением ПАВ при любом изменении масс мелких мелющих тел увеличивается, за счет увеличения доли частиц размером от 5 мкм до 30 мкм в среднем на 14%. Максимальное увеличение удельной поверхности готового продукта наблюдается при третьем варианте состава мелющих тел с $3600 \text{ см}^2/\text{г}$ до 3900% , т.е. на 8%, в остальных случаях удельная поверхность увеличивается в среднем на 6%.

Вывод. Возможно получить цемент различных классов, соответствующих технологическим требованиям при минимальных энергетических затратах и высокой производительности. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о значительном влиянии различного состава мелющих тел на получаемый зерновой состав и свойства цемента.

Библиографический список:

1. Анненко Д.М. Исследование процессов формирования зернового состава цемента в шаровых мельницах замкнутого цикла. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2009
2. Барбаниягрэ В.Д., Стронин А.А. Исследование влияния диаметра крупного шара в мелющей загрузке мельницы открытого цикла на дисперсные характеристики клинкера. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 5. С. 60-65.
3. Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Сычёв Е.А. Состояние и направления развития техники и технологии измельчения. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 7. С. 110-116.
4. Будникова В.С. Использование интенсификаторов помола для получения цементов. В сборнике: Образование, наука, производство. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 26-29.
5. Герасимов М.Д., Латышев С.С., Богданов Н.Э., Локтионов И.О. Обзор конструктивных решений в области создания помольных мельниц. В сборнике: Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. Под редакцией В.С. Богданова. Белгород, 2018. С. 132-146.
6. Жуков В.П., Мизонов В.Е. Оптимальное распределение размеров мелющих тел по длине барабанных мельниц. Теоретические основы химической технологии. 1995. Т. 29. № 6. С. 646-650.
7. Жуков В.П., Ушаков С.Г. Оптимальное распределение по крупности мелющих тел в барабанных мельницах в сборнике: интенсификация процессов механической переработки сыпучих материалов. Межвузовский сборник научных трудов. Иваново, 1987. С. 40-43.
8. Малышев В.П., Бектурганов Н.С., Макашева А.М., Зубрина Ю.С. Вероятностная модель измельчения материалов как оператор самоорганизации и аттрактор процесса. Цветные металлы. 2016. № 2 (878). С. 33-39.
9. Малышев В.П., Зубрина Ю.С., Юн А.Б., Синянская О.М. Адаптация вероятностной модели измельчения к работе шаровых барабанных мельниц. Цветные металлы. 2017. № 10. С. 17-24.
10. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Королева Л.А., Денисова Е.М. Влияние физико-механических условий помола цемента на эффективность процесса измельчения в шаровых мельницах. В сборнике: Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. Выпуск посвящен 50-летию кафедры механического оборудования. Белгород, 2020.
11. Несмеянов Н.П., Синцов Д.И., Бузаджи И.С. Интенсификация процесса помола в трубных мельницах. В сборнике: Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. Под ред. В.С. Богданова. Белгород, 2014. С. 185-187.
12. Потапов Ф.П. Интенсификация процесса помола в шаровых барабанных мельницах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2011
13. Сталинский Д.В., Рудюк А.С., Солёный В.К. Эффективность использования мелющих шаров малого диаметра для помола цемента. Сталь. 2022. № 6. С. 15-19.
14. Шарапов Р.Р. Научные основы создания технологических систем помола цемента на основе шаровых мельниц замкнутого цикла. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2009
15. Шарапов Р.Р. Эффективность помольных систем замкнутого цикла на базе шаровых мельниц. В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции. 2020. С. 277-282.
16. Шахова Л.Д., Черкасов Р.А. Интенсификация процесса измельчения клинкера с применением интенсификаторов помола. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 148-152.
17. Крутилин А.А., Крапчетова Т.В., Инькова Н.А., Пахомова О.К. Зависимость расхода энергии в пересчете на 1м³ бетона при использовании цементов различной удельной поверхности. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(1): 133-139. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-1-133-139

References

1. Annenko D.M. study of the processes of formation of the grain composition of cement in closed-cycle ball mills. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. Belgorod, 2009. (In Russ.)
2. Barbanyagre V.D., Stronin A.A. Study of the influence of the diameter of a large ball in the grinding charge of an open circuit mill on the dispersion characteristics of clinker. *Bulletin of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University named after..* 2018; 5:60-65. (In Russ.)
3. Bogdanov V.S., Antsiferov S.I., Bogdanov D.V., Sychev E.A. State and directions of development of grinding equipment and technology. *Bulletin of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University.* 2022; 7: 110-116. (In Russ.)

4. Budnikova V.S. Use of grinding intensifiers for the production of cements. In the collection: Education, science, production. V.G. Shukhov Belgorod State Technological University 2015;. 26-29.
5. Gerasimov M.D., Latyshev S.S., Bogdanov N.E., Loktionov I.O. Review of design solutions in the field of grinding mills. In the collection: Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials. *Interuniversity collection of articles*. Ed.by V.S. Bogdanov. Belgorod, 2018: 132-146. (In Russ.)
6. Zhukov V.P., Mizonov V.E. Optimal distribution of grinding media sizes along the length of drum mills. *Theoretical foundations of chemical technology*. 1995; 29(6):646-650. (In Russ.)
7. Zhukov V.P., Ushakov S.G. Optimal size distribution of grinding media in drum mills in a collection: intensification of processes of mechanical processing of bulk materials. *Interuniversity collection of scientific papers*. Ivanovo, 1987; 40-43. (In Russ.)
8. Malyshev V.P., Bekturganov N.S., Makasheva A.M., Zubrina Yu.S. Probabilistic model of materials grinding as a self-organization operator and process attractor. *Non-ferrous metals*. 2016;2(878):33-39.(In Russ.)
9. Malyshev V.P., Zubrina Yu.S., Yun A.B., Sinyanskaya O.M. Adaptation of a probabilistic grinding model to the operation of ball drum mills. *Non-ferrous metals*. 2017;10:17-24. (In Russ.)
10. Nesmeyanov N.P., Brazhnik Yu.V., Matusov M.G., Koroleva L.A., Denisova E.M. The influence of physical and mechanical conditions of cement grinding on the efficiency of the grinding process in ball mills. In the collection: Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials. *Interuniversity collection of articles*. The issue is dedicated to the 50th anniversary of the Department of Mechanical Equipment. Belgorod, 2020. (In Russ.)
11. Nesmeyanov N.P., Sintsov D.I., Buzadzhi I.S. Intensification of the grinding process in tube mills. In the collection: Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials. *Interuniversity collection of articles*. Ed. V.S. Bogdanov. Belgorod, 2014:185-187. (In Russ.)
12. Potapov F.P. Intensification of the grinding process in ball drum mills. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, 2011 (In Russ.)
13. Stalinsky D.V., Rudyuk A.S., Soleny V.K. The effectiveness of using small-diameter grinding balls for grinding cement. *Steel*. 2022; 6:15-19. (In Russ.)
14. Sharapov R.R. Scientific basis for creating technological cement grinding systems based on closed-cycle ball mills. Dissertation.Dr. Sci. Eng. V. Shukhov Belgorod State Technological University, 2009 (In Russ.)
15. Sharapov R.R. Efficiency of closed cycle grinding systems based on ball mills. In the collection: Current problems of the construction industry and education. Collection of reports of the First National Conference. 2020: 277-282. (In Russ.)
16. Shakhova L.D., Cherkasov R.A. Intensification of the clinker grinding process using grinding intensifiers. *Bulletin of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University* 2014; 4: 148-152. (In Russ.)
17. A.A. Krutinin, T.V. Krapchetova, N.A. Inkova, O. K. Pakhomova. Dependence of energy consumption in terms of 1 m³ of concrete when using cements of different specific surface. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2022; 49(1):133-139. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Крутилин Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Строительные материалы и специальные технологии»; kotyra84@bk.ru ORCID 0000-0002-2116-5192

Потапов Федор Петрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Строительные материалы и специальные технологии»; efedrin.ru@yandex.ru ORCID 0000-0003-0534-6396

Инькова Надежда Александровна, старший преподаватель, кафедра «Строительные материалы и специальные технологии»; coyote@bk.ru ORCID 0000-0002-3108-3465

Пахомова Олеся Константиновна, старший преподаватель, кафедра «Строительные материалы и специальные технологии»; pahomovaolesia@yandex.ru ORCID 0000-0002-7156-9988

Information about authors:

Alexander A.Krutinin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Building Materials and Special Technologies; koty-ra84@bk.ru ORCID 0000-0002-2116-5192

Fedor P. Potapov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Construction Materials and Special Technologies; efedrin.ru@yandex.ru ORCID 0000-0003-0534-6396

Nadezhda A.Inkova, Senior Lecturer, Department of Building Materials and Special Technologies, coyote@bk.ru ORCID 0000-0002-3108-3465

Olesya K.Pakhomova, Senior Lecturer, Department of Building Materials and Special Technologies; pahomovaole-sia@yandex.ru ORCID 0000-0002-7156-9988

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 29.11.2023.

Одобрена после рецензирования / Revised 23.12.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 23.12.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 539.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-206-214



Оригинальная статья /Original article

**Система контроля расхода тепловой энергии в контуре горячего водоснабжения
в составе системы управления умным домом**

А.А. Олейников¹, К.Н. Тимофеева²

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 данной статье представлено описание системы, позволяющей оптимизировать расходы на энергозатраты и уменьшить вероятность возникновения проблем с отоплением в многоквартирных жилых домах, связанных с незаконным подключением в контур горячего водоснабжения. **Методы.** В работе использовались методы теоретического исследования и математического моделирования. **Результат.** Актуализирована проблема исследуемой предметной области и представлено ее решение. Разработана концептуальная модель системы контроля расхода тепловой энергии в контуре горячего водоснабжения в составе системы управления умным домом. Предложена методика контроля расхода тепловой энергии многоквартирных жилых домов. **Вывод.** Предложенный метод поможет осуществлять контроль за инженерно-технической системой жилых домов, предотвращая случаи незаконного внедрения в контур горячего водоснабжения, а также может быть интегрирован в систему умного дома.

Ключевые слова: отопление, контроль температуры, многоквартирный дом, умный дом, жилищно-коммунальное хозяйство, тепловой поток

Для цитирования: А.А. Олейников, К.Н. Тимофеева. Система контроля расхода тепловой энергии в контуре горячего водоснабжения в составе системы управления умным домом. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1): 206-214. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-206-214

**Thermal Energy consumption monitoring System in the Hot water Supply circuit
as part of the Smart Home management system**

A.A. Oleynikov², K.N. Timofeeva²

¹Astrakhan State Technical University,

¹16 Tatishcheva St., Astrakhan 414056, Russia,

²Astrakhan State Architectural and Construction University,

²18 Tatishcheva St., Astrakhan 414056, Russia

Abstract. Objective. This article describes a system that allows you to optimize energy costs and reduce the likelihood of heating problems in apartment buildings associated with illegal connection to the hot water circuit. **Methods.** The methods of theoretical research and mathematical modeling were used in the study. **Result.** The problem of the subject area under study is actualized and its solution is presented. A conceptual model of a system for monitoring the consumption of thermal energy in a hot water supply circuit as part of a smart home management system has been developed. A method for monitoring the consumption of thermal energy of multi-apartment residential buildings is proposed. **Conclusion.** The method under study will help to monitor the engineering and technical system of residential buildings, preventing cases of illegal introduction into the hot water supply circuit, and can also be integrated into a smart home system.

Keywords: heating, temperature control, apartment building, smart house, housing and communal services, heat flow

For citation: A.A. Oleynikov, K.N. Timofeeva. Thermal Energy consumption monitoring System in the Hot water Supply circuit as part of the Smart Home management system. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1): 206-214. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-206-214

Введение. Соблюдение рекомендованных диапазонов температур в помещениях имеет важное значение для комфорта и безопасности проживания людей, так как позволяет избежать перегрева или переохлаждения организма. Кроме того, правильный температурный режим является одним из основных факторов, влияющих на энергоэффективность здания и затраты на отопление. Температурный режим в помещениях должен определяться в зависимости от назначения помещения, а также средней уличной температуры. Соответствуя ГОСТу Р 51617-200 [1] и СНиПу 41-01-2003 [2] в спальнях комнатах диапазон температур может быть снижен до 18 градусов Цельсия при средней уличной температуре ниже 8 градусов Цельсия, а в кухне и санузлах может быть увеличен до 28 градусов Цельсия. Также в документах [3] и [4] установлен порядок учета теплоты и ее распределение между жителями многоквартирных жилых домов (МКД).

Исследование [5] в сфере жилищно-коммунальных услуг (ЖКХ) показало тенденцию увеличения нарушений законодательной базы. Владельцы квартир обязаны соблюдать правила проживания и пользования жилыми помещениями. Согласно Жилищному кодексу Российской Федерации [6], лицо, самовольно внесшее изменения в помещение многоквартирного дома, несет ответственность, предусмотренную законодательством. Несмотря на это, недобросовестные собственники на этапе ремонта, стремясь обеспечить комфортные условия, продолжают незаконно подключаться к общедомовой системе отопления. Установка дополнительных радиаторов или системы теплых полов нарушают нагрузку на все точки отопления в жилом доме. Изменение микроклимата в помещениях, вызванное появлением проблем с отоплением, в результате создает некомфортную обстановку, жильцы вынуждены дополнительно расходовать собственные ресурсы на поддержание комфортной температуры, что наносит ущерб их бюджету. Таким образом необходимы меры по противодействию нарушениям закона.

Постановка задачи. Отопление помещений – это сложный технический процесс, требующий высоких затрат как в научном, так и ресурсном плане. Отслеживание температуры и тепловой отдачи системы отопления позволяет улучшить ее производительность, повысить комфортность проживания, а также сэкономить на энергозатратах. Регулярный мониторинг и анализ данных помогает предотвратить возможные поломки и повышает эффективность работы системы отопления в целом [7, 8].

Согласно Федеральному закону от 30.12.2009 N 384-ФЗ в целях мониторинга систем инженерно-технического обеспечения в проектную документацию могут быть внесены поправки в процессе строительства или эксплуатации здания [9].

В целях локального обнаружения нарушений, вызванных незаконным подключением собственников к отопительной системе дома, и контролем за соблюдением вышеописанных требований к микроклимату помещений предлагается в систему инженерно-технического обеспечения внедрить температурные датчики. Такой подход к мониторингу температуры в системе отопления позволяет контролировать производительность системы и быстро выявлять возможные проблемы, связанные с плохой изоляцией, неисправными клапанами или радиаторами, а также нарушениями со стороны жильцов, связанными с неправильным использованием отопительных систем или неверной настройкой радиаторов и клапанов.

Температурные датчики позволяют в режиме реального времени отслеживать температуру воздуха в различных помещениях дома и автоматически срабатывать при превышении или недостатке заданного порога. Это позволит оперативно выявлять случаи незаконного подключения или наличия других нарушений в системе отопления и принимать меры для их

устранения. Сбор и анализ температурных данных в контуре горячего водоснабжения является одним из направлений энергосбережения систем отопления.

Во многих домах старого фонда отсутствуют какие-либо приборы, способные передавать данные о температуре отопления. В случаях неисправностей собственники по своей инициативе обращаются в ответственную организацию, оставляя заявку для вызова специалистов, способных осуществить контрольные замеры и подтвердить факт неисправности отопительной системы. После чего специалисты начинают диагностику системы для выявления причин отсутствия отопления. В отопительный период возрастает нагрузка на службы ЖКХ, следовательно, время с момента подачи жалобы до появления специалиста для проведения контрольных измерений увеличивается, что может привести в некоторых случаях к аварийной ситуации. В современных МКД используются электронные тепловычислители, однако их главный недостаток в передаче данных и их визуализации. Программы, считывающие информацию с таких приборов достаточно примитивные, например, отсутствует возможность экспорта в популярные форматы, что затрудняет проведение анализа полученных данных.

Методы исследования. Выбор системы отопления. В многоквартирных жилых домах наиболее часто встречается центральная система водоснабжения, иными словами система водоснабжения с зависимой схемой подключения. Тепло в многоэтажные дома подается централизованно от тепловой электростанции (ТЭЦ). Весь процесс можно описать следующим образом: вначале ТЭЦ нагревает теплоноситель, в качестве которого выступает обычная вода. Также в нее часто добавляются специальные присадки, задача которых защитить батареи от отложений. Далее нагретый до нужной температуры теплоноситель по трубам разносится во все многоэтажные дома города. Вначале вода для отопления заходит в тепловой узел, который размещается в подвальном помещении МКД. Оттуда уже идет распределение теплоносителя в батареи по квартирам. Нагретая вода отдает свое тепло в окружающее пространство, после чего в остывшем виде уходит назад в ТЭЦ [10].

Для произведения расчетов необходимо учитывать вид и характеристики отопительной системы, если конструкции здания соответствуют требованиям теплопередачи и датчики установлены корректно, то предлагаемая система будет работать эффективно. На этапе строительства выбор вида системы отопления сооружения зависит от разных технических факторов и личных предпочтений проектировщика. Согласно ФЗ № 438-ФЗ от 30.12.2021 [11] с 1 января 2022 года на территории Российской Федерации введен запрет на эксплуатацию открытых систем теплоснабжения (горячего водоснабжения) из соображения безопасности, так как данная система предполагает использование горячей воды из тех же труб, по которым течет вода к отопительным приборам.

Двухтрубная вертикальная система отопления с верхним розливом (или верхним подводом) является наиболее распространенным типом отопительной системы в многоквартирных домах и крупных зданиях. Данная система представляет собой набор труб, которые прокладываются от отопительной котельной к радиаторам в каждой из квартир. Основной принцип работы системы заключается в круговом движении горячей воды через трубы системы, которая затем отдает тепло воздуху помещения. Горячая вода подается в верхнюю часть радиаторов, а затем охлажденная вода возвращается в котельную через вторую систему труб - обратную [12]. В отличие от системы с нижним подводом, двухтрубная вертикальная система с верхним розливом обеспечивает более равномерное распределение тепла по всей поверхности радиаторов.

Учитывая вышеописанное в разработке системы контроля расхода тепловой энергии в контуре горячего водоснабжения будет рассматриваться закрытая двухтрубная вертикальная система отопления с верхним розливом с централизованной схемой подключения.

Состав системы контроля расхода тепловой энергии в контуре горячего водоснабжения. Контроль расхода тепловой энергии в многоквартирных жилых домах является

сложным процессом, требующим системного подхода и непрерывного мониторинга, который условно можно разделить на следующие этапы:

1. Установление целей контроля расхода тепловой энергии. Для этого необходимо выяснить, какой уровень экономии оптимален для конкретного дома.
2. Определение параметров системы отопления. Эта информация включает данные о потреблении тепловой энергии, давление в системе и тепловой потери системы.
3. Мониторинг расхода тепловой энергии. Для этого устанавливаются тепловые датчики, измеряющие потребление тепловой энергии на каждом этаже здания.
4. Анализ полученной информации и выявление причин возможных потерь тепла в системе отопления.
5. Разработка и реализация плана действий для оптимизации системы отопления.
6. Контроль результатов. После реализации плана оптимизации необходимо продолжать мониторинг теплопотерь в системе отопления и сравнивать полученные результаты с целями, установленными на первом этапе.

Для начала необходимо установить счетчики тепловой энергии на каждую квартиру, а также на общедомовые нужды, такие как подвалы или лифты. Счетчики должны быть электронными и подключены к системе сбора данных. Установка температурных датчиков для контроля отопительной системы в домах может производиться следующим образом:

1. Определение точки установки датчиков. Для обеспечения наиболее эффективного контроля температуры воздуха помещений необходимо выбрать такие места, где отопление наиболее активно работает или, наоборот, наиболее часто происходят нарушения. Это могут быть участки вблизи радиаторов отопления и оконных проемов.
2. Установка датчиков. Монтаж датчиков можно производить как на поверхности стен, так и на потолке. Некоторые датчики могут быть установлены непосредственно в датчике термостата, если это применимо к конкретной системе отопления.
3. Соединение датчиков с блоками управления. Это может быть реле, контроллер или компьютер, управляющие системой отопления. Все датчики должны быть подключены в соответствии с инструкциями производителя.
4. Настройка программного обеспечения и проведение тестирования.

Данные о расходе тепловой энергии и температурных показателях должны сохраняться в базе данных для последующего анализа и оптимизации работы системы.

Возможная схема расположения температурных датчиков изображена на рис. 1.

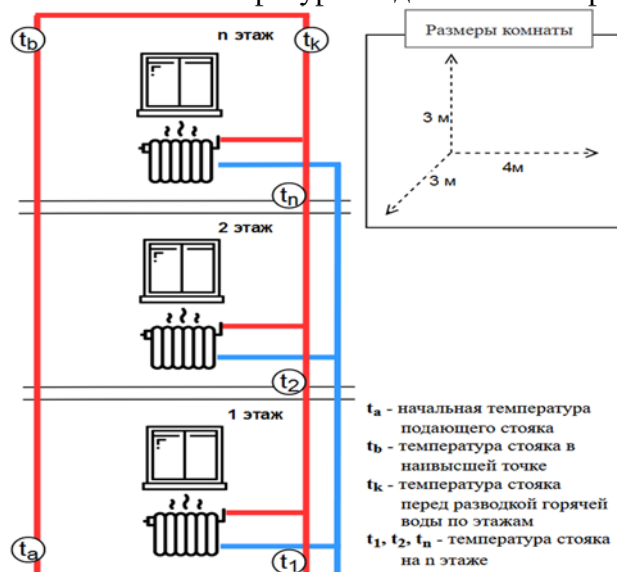


Рис. 1. Схема расположения температурных датчиков в МКД

Fig. 1. Layout of temperature sensors in the MCD

Расчет расхода тепловой энергии. Для определения оптимального количества секций радиатора, необходимо знать какое количество теплоты требуется для обогрева здания

(мощность системы отопления). По строительным правилам на 1 квадратный метр приходится 100 Вт. Исходя из этого, существует простой расчет количества тепловой мощности системы отопления, для которого площадь помещения умножают на 100 Вт. Однако такой подсчет подойдет для вычисления приблизительной мощности и подойдут для построек с хорошей теплоизоляцией и высотой потолков не более трех метров. Существует более точный подсчет тепловой мощности, который подразумевает применение поправочных коэффициентов [13]. Использование коэффициентов, приведенных в табл. 1, позволяет учесть индивидуальные характеристики конкретного помещения.

Таблица 1. Коэффициенты, учитывающие характеристику помещения
Table 1. Coefficients taking into account the characteristics of the room

Коэффициент Coefficient	Описание/ Description	Числовое значение/ Numerical value
K1	Характеризует количество наружных стен Characterizes the number of external walls	Одна стена - 1 Две - 1.2 Три - 1.3 Четыре - 1.4
K2	Характеризует степень утепления стен. Чем коэффициент ниже, тем лучше здание держит тепло The degree of wall insulation. The lower the coefficient, the better the building holds heat	Неутепленные стены - 1.27 Стандартная кладка шириной два кирпича - 1 Утепленные - 0.85
K3	Зависит от температуры самого холодного периода года Depends on the temperature of the coldest period of the year	Ниже -35° - 1.5 от -25° до -35° - 1.3 до -20° - 1.1 до -15° - 0.9 до -10° - 0.7
K4	Зависит от высоты потолков Depends on the height of the ceilings	Стандартная высота потолка 2.7м - 1 От 2.8м до 3м - 1.05 От 3.1м до 3.5м - 1.1 От 3.6м до 4м - 1.15 Более 4м - 1.2
K5	Характеристика крыши или помещения над комнатой Roof or room characteristic over the room	Неотапливаемое помещение - 1 Неотапливаемое утепленное помещение - 0.9 Отапливаемое помещение - 0.7
K6	Тип окон Type of windows	Деревянные окна - 1.27 Одинарный стеклопакет - 1 Двойной стеклопакет - 0.85
K7	Характеризует соотношение площади всех окон к площади помещения. Чем меньше значение, тем меньше доля теплопотерь помещения Characterizes the ratio of the area of all windows to the area of the room. The lower the value, the lower the proportion of heat loss in the room	Меньше 0.1 - 0.8 От 0.11 до 0.2 - 0.9 От 0.21 до 0.3 - 1 От 0.31 до 0.4 - 1.1 От 0.41 до 0.5 - 1.2
K8	Характеризует схему подключения радиаторов отопления Characterizes the connection diagram of heating radiators	Диагональное - 1 Боковое - 1.03 Нижнее - 1.13
K9	Закрытие радиатора декоративными панелями Closing the radiator with decorative panels	Полностью закрыт панелями - 1.2 Подоконником и панелью - 1.12 Закрыт сверху - 1 Радиатор не закрыт - 0.9

Обсуждение результатов. Таким образом, для нахождения требуемой мощности системы отопления следует воспользоваться формулой 1:

$$Q = S * 100 * K1 * K2 * K3 * K4 * K5 * K6 * K7 * K8 * K9, \quad (1)$$

где S - площадь здания; K1..K9 - поправочные коэффициенты.

Зная теоретическое значение тепловой мощности дома и сравнив его с фактическим, можно выявить нарушения в работе отопительной системы или со стороны поставщика услуг ЖКХ.

В среднем потребление тепловой энергии многоквартирным домом может колебаться в зависимости от различных факторов. В России и некоторых других странах СНГ среднее потребление тепловой энергии для многоквартирных домов составляет около 150-250 гигакалорий на квадратный метр площади в год. В Европе среднее потребление тепловой энергии для многоквартирных домов обычно ниже и составляет около 80-150 гигакалорий на квадратный метр площади в год. Однако следует помнить, что эти цифры являются приблизительными и могут изменяться в зависимости от конкретного региона, климата, уровня изоляции здания и эффективности системы отопления. Для получения более точной информации рекомендуется обратиться к поставщику услуг по теплоснабжению или управляющей компании, которые могут предоставить данные о конкретном доме или районе.

Рассмотрим случай, когда собственник жилья может незаконно устанавливать дополнительные секции к радиатору отопления, тем самым нарушая баланс отопительной системы в МКД. Для выполнения расчетов возьмем модель, изображенную на рис. 1. Данная модель предполагает наличие одного подъезда, включающего три этажа. На каждом этаже расположено по одной квартире, в которой имеется одна комната 3 на 4 метра с высотой потолков около трех метров. В каждой такой комнате имеется радиатор отопления на 6 секций. Секционные радиаторы состоят из отдельных частей (секций). Общая мощность всего радиатора будет зависит от количества секций и равна суммарной мощности всех частей. Мощность радиатора, тепловая мощность, тепловой поток - обозначение одного понятия и измеряется в Ваттах. Следует также учитывать физические свойства материалов труб, из которых монтируется система отопления, так как коэффициент теплопотерь у каждого материала разный, что может повлиять на результаты расчетов [14]. По материалу радиаторы отопления различаются на чугунные, биметаллические, алюминиевые, стальные. Технические характеристики радиаторов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Технические характеристики радиаторов отопления
Table 2. Technical characteristics of heating radiators

Радиаторы Radiators	Максимальное рабочее давление, бар Maximum working pressure	Тепловая мощность секции, Вт Thermal the power of the section	Максимальная температура теплоносителя, °C The maximum temperature of the coolant	Объем теплоносителя, л The volume of the coolant
Чугунные Castiron	6-9	80-160	150	1.5
Биметаллические Bimetallic	16-36	200	130	0.3
Алюминиевые Aluminum	6-25	190	130	0.4
Стальные Steel	10-12	150	110-120	0.25

Стоит также учитывать тот факт, что тепловая мощность радиатора варьируется в зависимости от температуры теплоносителя. Так изменение изменение разницы температуры

радиатора и температуры в помещении на 10 градусов изменяет показатель мощности примерно на 20-25%. Для расчета температуры на выходе радиатора отопления можно использовать формулу 2 для теплового потока:

$$Q = m * c * \Delta T, \quad (2)$$

где Q - тепловой поток (в Вт); m - масса теплоносителя (в кг); c - удельная теплоемкость теплоносителя (в Дж/кг*°C); ΔT - изменение температуры (в °C).

Изменение температуры (ΔT) вычисляется по формуле 3:

$$\Delta T = T_2 - T_1, \quad (3)$$

где T1 - температура на входе радиатора отопления; T2 - температура на выходе радиатора отопления.

Рассчитаем температуру на выходе радиатора отопления (формула 4), выразив ее через формулу 2:

$$T_2 = T_1 - \frac{Q_{\text{рад}}}{m * c}, \quad (4)$$

где T2 - температура на выходе радиатора отопления; T1 - температура на входе радиатора отопления; $Q_{\text{рад}}$ - тепловая мощность радиатора; m - масса теплоносителя; c - удельная теплоемкость теплоносителя воды.

В качестве объекта исследования был взят биметаллический радиатор. Рассчитаем тепловую мощность одного такого радиатора с шестью секциями. Допустим каждая секция имеет тепловую мощность 200 Вт. Значит, общая тепловая мощность радиатора по формуле 5 составляет:

$$Q_{\text{рад}} = Q_{\text{секц}} * n = 200 * 6 = 1200 \text{ Вт}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{рад}}$ - тепловая мощность радиатора (в Вт); $Q_{\text{секц}}$ - тепловая мощность одной секции радиатора; n - количество секций.

Значение удельной теплоемкости воды равно 4200 Дж/кг*град при нормальных температурах. Масса теплоносителя равен объему радиатора отопления, который можно найти в техническом паспорте или равен сумме объема всех секций радиатора (формула 6). Объем секции возьмем из характеристик, приведенных в табл. 1.

$$m = V_{\text{секц}} * n = 0.3 * 6 = 1.8 \text{ кг}, \quad (6)$$

где $V_{\text{секц}}$ - объем одной секции радиатора, n - количество секций.

Предположим, что на вход в радиатор температура 70°C. Теперь, подставляя значения в формулу 4, получаем:

$$T_2 = 70 - 1200 / (1.8 * 4200) \approx 70 - 0.16 \approx 69.84^\circ \text{C}$$

Температура на выходе радиатора отопления составит примерно 69.84 °C. Таким образом вычислили разницу температур в 0.16 градуса цельсия для перепада между третьим и вторым этажами в представленной идеализированной модели. Используя данные, что это значение получается из-за применения радиатора в 6 секций, можно сделать вывод, что, если на перепаде со второго этажа на первый будет разница 0.16 градуса, то радиатор состоит из 7 секций, одна лишняя.

Так с установленного на каждом этаже датчике собираются данные о температуре подающего стояка. Если полученные с температурных датчиков данные отличаются от вычислений на протяжении длительного времени, то это говорит о возможных нарушениях со стороны собственника жилья. Формулу 4 возможно использовать для подсчета выходной температуры всего жилого дома (формула 7):

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n T_{ij+1} - \frac{Q_{ij+1}}{m_{ij+1} * c}, \quad (7)$$

где k - количество стояков в МКД; n - количество этажей; T_{ij+1} - температура на входе радиатора отопления; Q_{ij+1} - тепловая мощность радиатора; m_{ij+1} - масса теплоносителя; c - удельная теплоемкость теплоносителя воды.

Вывод. Реализованный метод контроля расхода тепловой энергии во время отопительного сезона в многоквартирных домах может быть интегрирован в систему умного дома и предоставлять своим пользователям возможность контролировать расходы на отопление и управлять температурными режимами в жилых помещениях.

Предлагаемая автоматизированная система позволит:

- формировать отчет за указанный период времени, что позволяет сопоставить время аварийных ситуаций или проведения определенных манипуляций в системе отопления с температурными показаниями всей системы;
- оповещать ответственных лиц о нормативных нарушениях, которые могут свидетельствовать об аварийной ситуации или незаконных внедрений в систему отопления;
- прогнозировать данные и создавать рекомендации по работе системы отопления. В качестве рекомендаций может выступать решение о регулирование станции смешения или элеваторного узла на уровне дома;

Разрабатываемая система поможет осуществлять контроль за инженерно-технической системой жилых домов, предотвращая случаи незаконного внедрения в контур горячего водоснабжения, и может быть интегрирована в систему умного дома.

Также рассматривается возможность прогнозирования данных и составление рекомендаций по температурному режиму в многоквартирном жилом доме.

Необходимо продолжать развивать и внедрять новейшие технологии и инженерные решения для управления системами отопления в многоквартирных домах, которые позволят оптимизировать расходы на энергозатраты и уменьшить вероятность возникновения проблем с отоплением в домах.

Например, использование экономичных насосов и котлов, а также инновационных систем управления температурой в помещениях, основанных на знаниях о привычках и предпочтениях жильцов, может помочь оптимизировать нагрузку на систему отопления и уменьшить расходы на энергию.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р 51617-2000. Жилищно-коммунальные услуги. Общие технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 19.06. 2000 г. N 158-ст: дата введения 2001-01-01.
2. СП 60.13330.2016. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: актуализированная редакция СНиП 41-01-2003: утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. N 968/пр: введен 17.06.2017.
3. «Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя» (утверждена Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 17 марта 2014 года № 99/пр).
4. «Правила предоставления коммунальной услуги собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (утверждены Постановлением Правительства РФ от 6 мая 2011 года № 354 в редакции от 14 февраля 2015 года № 129-ППР).
5. Ничаевская, В. Д. Состояние законности в сфере ЖКХ / В. Д. Ничаевская // Юриспруденция в теории и на практике: актуальные вопросы и современные аспекты : сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 октября 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2021. – С. 77-79.
6. Жилищный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 188-ФЗ (ред. от 21.11.2022) // Собрание законодательства РФ. - 03.01.2005. - № 1 (часть 1). - ст. 29.
7. Дюкарев Д.К. Автоматизированная система управления индивидуальных тепловых пунктов жилых домов // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. Кемерово, 2014. С. 42–43.
8. Дорофеева, Н.Л. Автоматизация температурных режимов в водяных системах отопления / Н.Л. Дорофеева, А.В. Бабик // Молодежный вестник иргту. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 67-70.
9. Федеральный закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009г. (с изм. на 02.07.2013). – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1241/>.
10. Нормы тепла в квартире в отопительный сезон. – URL: <https://tion.ru/blog/temperatura-otopleniya-v-kvartire/>.
11. Федеральный закон от 30.12.2021 № 438-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О тепло-снабжении" <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112300011?index=1>.

12. Нальгиев, И. А. Отопление, системы отопления для любых помещений / И. А. Нальгиев // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 12-1(68). – С. 137-140.
13. Правила расчета мощности радиаторов отопления для частного дома // СантехЛайт : сайт. – URL: <https://santl.ru/raschet-moschnosti-radiatorov/>.
14. Ливчак, В. И. Особенности учета тепловой энергии в многоквартирных домах с разбором горячей воды из тепловой сети / В. И. Ливчак // Энергосбережение. – 2015. – № 8. – С. 30-35. – ISSN 1609-7505. – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6298.

References

1. GOST R 51617-2000. Housing and communal services. General technical conditions: approved and put into effect by the Resolution of the State Standard of Russia dated 19.06.2000 N 158-st: date of introduction 2001-01-01. (In Russ.)
2. SP 60.13330.2016. A set of rules. Heating, ventilation and air conditioning: updated version of SNiP 41-01-2003: approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 16, 2016 N 968/pr: introduced 17.06.2017. (In Russ.)
3. "Methods of commercial accounting of heat energy, heat carrier" (approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation No. 99/pr dated March 17, 2014). (In Russ.)
4. "Rules for providing utility services to owners and users of premises in apartment buildings and residential buildings" (approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated May 6 2011 No. 354 as amended on February 14, 2015 No. 129-PP. (In Russ.)
5. Nichayevskaya, V. D. The state of legality in the sphere of housing and communal services / V. D. Nichayevskaya. Jurisprudence in theory and in practice: topical issues and modern ASPECTS : collection of articles of the X International Scientific and Practical Conference, Penza, October 05, 2021. – Penza: Science and Enlightenment (IP Gulyaev G.Yu.), 2021: 77-79. (In Russ.)
6. Housing Code of the Russian Federation of 29.12.2004 No. 188-FZ (ed. of 21.11.2022). *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 03.01.2005. - No. 1 (part 1). - Article 29. (In Russ.)
7. Dyukarev D.K. Automated control system of individual heating points of residential buildings. *Information and telecommunication systems and technologies: materials of the All-Russian Scientific and practical conference*. Kemerovo, 2014; 42-43. (In Russ.)
8. Dorofeeva, N.L. Automation of temperature regimes in water heating systems/ N.L. Dorofeeva, A.V. Babik . *Youth Bulletin ofIRSTU*. 2021;11(2): 67-70. (In Russ.)
9. Federal Law No. 384-FZ "Technical Regulations on the safety of buildings and structures" dated 12/30/2009. (as of 02.07.2013). – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1241/>. (In Russ.)
10. Norms of heat in the apartment during the heating season. – URL: <https://tion.ru/blog/temperatura-otopleniya-in-kvartire/>. (In Russ.)
11. Federal Law No. 438-FZ dated 30.12.2021 "On Amendments to the Federal Law "On Heat Supply" <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112300011?index=1> (In Russ.)
12. Nalgiev, I. A. Heating, heating systems for any premises / I. A. Nalgiev. *Actual scientific research in the modern world*. 2020;12-1(68):137-140. (In Russ.)
13. Rules for calculating the power of heating radiators for a private house // SanteLite : website. – URL: <https://santl.ru/raschet-moschnosti-radiatorov> (In Russ.)
14. Livchak V. I. Features of heat energy accounting in apartment buildings with analysis of hot water from the heat network. *Energy saving*. 2015; 8:30-35.– ISSN 1609-7505 – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6298. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Олейников Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Прикладная информатика»; a.oleynikov.astu@mail.ru

Тимофеева Ксения Николаевна, магистрант, кафедра систем автоматизированного проектирования и моделирования; liveyou2610@gmail.com

Information about authors:

Alexander A. Oleinikov, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Applied Informatics; a.oleynikov.astu@mail.ru

Ksenia N. Timofeeva, Master's student, Department of Computer-Aided Design and Modeling Systems; liveyou2610@gmail.com

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 15.11.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 28.12.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 28.12.2023.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-215-224



Оригинальная статья /Original article

**Экспериментально-теоретические исследования строительно-технических свойств
огнезащитных вермикулитобетонных композитов**

Т.А. Хежев¹, Г.Н. Хаджишалапов², А.В. Журтов¹, А.А. Джанкулаев¹, Р.Г. Раджабов²

¹ Кабардино-Балкарский государственный университет,

¹360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия,

² Дагестанский государственный технический университет,

²367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Исследование зависимости предела прочности на сжатие от средней плотности и предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие вермикулитобетонного композита. Определение выражения для коэффициентов теплопроводности и теплоемкости полученных вермикулитобетонных композитов в разработанном программном обеспечении теплотехнического расчета предела огнестойкости армоцементных конструкций с огнезащитным слоем из вермикулитобетона. **Метод.** Рассмотрены методы снижения расхода цементного вяжущего в разрабатываемых огнезащитных бетонных композитах. Предложены экспериментально-теоретические методы определения огнезащитных свойств разработанных вермикулитобетонных композитов и формулы для определения их прочностных свойств. **Результат.** Получены зависимости предела прочности на сжатие от средней плотности и предела прочности на изгиб от предела прочности вермикулитобетона на сжатие для исследуемых бетонов, зависимости коэффициентов теплопроводности и теплоемкости во время пожара от вида и средней плотности вермикулитобетонных композитов. **Вывод.** Наилучшими огнезащитными свойствами обладают фибровермикулитобетонные композиты со средней плотностью 470-560 кг/м³. Разработано программное обеспечение теплотехнического расчета численным методом предела огнестойкости двухслойных армоцементных конструкций при пожаре, обеспечивающее совпадение с экспериментальными данными огневых испытаний двухслойных армоцементных элементов не менее 95%.

Ключевые слова: портландцемент, вспученный вермикулит, пепел, гипс, известь, смола древесная омыленная, базальтовое волокно, средняя плотность, предел прочности на сжатие и изгиб, вермикулитобетонный композит, стандартный пожар, огнестойкость, методы прогонки и итерации, коэффициенты теплопроводности и теплоемкости

Для цитирования: Т.А. Хежев, Г.Н. Хаджишалапов, А.В. Журтов, А.А. Джанкулаев, Р.Г. Раджабов. Экспериментально-теоретические исследования строительно-технических свойств огнезащитных вермикулитобетонных композитов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1): 215-224. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-215-224

**Experimental and theoretical studies of the construction and technical properties of
fire-retardant vermiculite-concrete composites**

**T.A. Khezhev¹, G.N. Khadzhishalapov², A.V. Zhurtov¹, A.A. Dzhankulaev¹,
R.G. Radjabov²**

¹H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,

¹173 Chernyshevsky St., Nalchik 360004, Russia,

²Daghestan State Technical University,

²70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. Study of the dependence of the compressive strength on the average density and the flexural strength on the compressive strength of vermiculite concrete composite.

Determination of the expression for the coefficients of thermal conductivity and heat capacity of the resulting vermiculite concrete composites in the developed software for thermal engineering calculation of the fire resistance limit of reinforced cement structures with a fire retardant layer of vermiculite concrete. **Method.** Methods for reducing the consumption of cement binder in the developed fire-resistant concrete composites are considered. Experimental and theoretical methods for determining the fire-retardant properties of the developed vermiculite-concrete composites and expressions for determining their strength properties are proposed. **Result.** The dependences of the ultimate compressive strength on the average density and the ultimate bending strength on the ultimate compressive strength of vermiculite concrete for the concretes under study, the dependence of the coefficients of thermal conductivity and heat capacity during a fire on the type and average density of vermiculite concrete composites were obtained. **Conclusion.** Fiber-vermiculite-concrete composites with an average density of 470-560 kg/m³ have the best fire-retardant properties. Software has been developed for thermotechnical calculation using a numerical method of the fire resistance limit of two-layer reinforced-cement structures in a fire, ensuring at least 95% agreement with the experimental data of fire tests of two-layer reinforced-cement elements.

Keywords: Portland cement, expanded vermiculite, ash, gypsum, lime, saponified wood resin, basalt fiber, medium density, compressive and flexural strength, vermiculite concrete composite, standard fire, fire resistance, run and iteration methods, thermal conductivity and heat capacity coefficients.

For citation: T.A. Khezhev, G.N. Khadzhishalapov, A.V. Zhurlov, A.A. Dzhankulaev, R.G. Radjabov. Experimental and theoretical studies of the construction and technical properties of fire-retardant vermiculite-concrete composites. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51 (1): 215-224. DOI: 10.21822 /2073-6185-2024-51-1-215-224

Введение. При очевидных преимуществах тонкостенных пространственных конструкций [1 - 3], применение их в строительстве недостаточно. Низкий предел огнестойкости является причиной препятствующей широкому применению пространственных конструкций [4, 5]. В связи с тенденцией к снижению толщины сечения и повышению прочности материала конструкций при увеличении пролета зданий, их огнестойкость снижается. Вместе с тем, с повышением пролета здания убытки при пожаре резко увеличиваются. В практике строительства все чаще к конструкциям предъявляются требования возможности дальнейшего применения после воздействия пожара [6, 7]. За рубежом выполнены исследования, которые показывают экономическую эффективность применения конструкций, обладающих высоким пределом огнестойкости.

Обрушение строительных конструкций является одной из основных причин большого количества человеческих жертв и ущерба при пожарах. Устройство теплозащитных покрытий на пористых заполнителях, таких как вспученный вермикулит и перлит [8], является одним из наиболее эффективных и рациональных способов повышения предела огнестойкости строительных конструкций. Одновременно с основной огнезащитной функцией, такие покрытия могут улучшить декоративные, акустические, теплозащитные свойства конструкций, что делает их применение еще более эффективным. Огнезащитные покрытия на основе вермикулита и перлита не лишены недостатков, например, при повышенных температурах во время пожара коэффициент теплопроводности этих материалов значительно возрастает, что негативно влияет на огнестойкость конструкций.

Постановка задачи. Одним из материалов, являющихся эффективной заменой части портландцемента и заполнителя для огнезащитных составов могут быть отходы пиления вулканического туфа, вулканический пепел и пемза [9 - 11]. Для устранения вредного влияния вторичной гидратации свободного оксида кальция на характеристики огнезащитных бетонов используют активные минеральные добавки [12].

За последние десятилетия отмечается рост объемов применения дисперсно-армированных композитов [13 - 16]. Фибробетоны имеют более высокую прочность на рас-

тяжение, трещиностойкость, ударостойкость, термостойкость по сравнению с бетонной матрицей, что позволяет расширить области их эффективного применения.

Таким образом, преодоление многих недостатков огнезащитных бетонов и изделий возможно в результате создания фиброармированных композитов с применением эффективных заполнителей.

В современных условиях для повышения безопасности зданий и сооружений при пожаре необходимо на этапе проектирования уметь оценивать пределы огнестойкости строительных конструкций. Традиционные методы расчетов огнестойкости строительных конструкций имеют такие недостатки как громоздкость и сложность, приближенность и не универсальность [17 - 20]. Для эффективного решения задачи по определению пределов огнестойкости строительных конструкций требуется использование методов, учитывающих множество различных факторов, связанных, прежде всего, с изменением характеристик материалов при пожаре, но одновременно требуется автоматизация вычислений, которая возможна при использовании численных методов расчета.

Методы исследования. Исследования были направлены на выявление зависимости предела прочности на сжатие от средней плотности и предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие разработанных вермикулитобетонных композитов, также на определение выражений для коэффициентов теплопроводности и теплоемкости полученных вермикулитобетонных композитов в разработанном программном обеспечении теплотехнического расчета предела огнестойкости армоцементных конструкций с огнезащитным слоем из вермикулитобетона.

В работах [8, 21] выявлено, что наиболее эффективными, в качестве огнезащиты строительных конструкций, являются вермикулитобетоны ($\rho_{\text{ср}}=500 - 800 \text{ кг/м}^3$) с соотношением вяжущее:вермикулит 1:2 – 1:4 по объему. При последующем снижении средней плотности вермикулитобетонов ухудшаются их огнезащитные и прочностные характеристики. Вермикулитобетоны на основе портландцемента имеют высокие огнезащитные и эксплуатационные характеристики, что делает возможным значительно расширить их области применения. К минусам таких вермикулитобетонов относятся повышенный расход портландцемента, относительно высокий коэффициент теплопроводности при воздействии высоких температур при пожаре.

Использование вулканических горных пород может являться эффективной заменой части дорогостоящего вяжущего и вермикулита для огнезащитных бетонов. Вулканический пепел, являясь гидравлически активной тонкомолотой добавкой, способен вступать в реакцию гидратации с компонентами цемента. Для повышения гидравлической активности вулканического пепла целесообразно использование активизаторов реакции (щелочных и сульфатных). В исследовании [22] показано, что в пенобетонах, с применением вулканических горных пород, можно заменить известью (50%) и гипсом (2%) цементное вяжущее. В связи с этим, в наших исследованиях для снижения расхода цементного вяжущего в разрабатываемых огнезащитных бетонах активатором скрытой гидравлической активности вулканического пепла использовалась воздушная негашеная известь и строительный гипс.

В работе [23] нами разработаны огнезащитные фибровермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла. В экспериментах использовались: пепел фракции 0-0,16 мм Заюковского месторождения; вспученный вермикулит Санкт-Петербургской слюдяной фабрики фракции 0,16-5 мм; Белгородский портландцемент ПЦ500-ДО; негашеная известь; гипс марки Г-4-II-A; воздухововлекающая добавка смола древесная омыленная (СДО), базальтовая фибра изготовления ОАО «Ивотстекло» марки РНБ-9-1200-4с. Армоцемент армировали тканой сеткой № 8-07 (ГОСТ 3826-82) с размером ячейки 8×8 мм, диаметром проволоки 0,7 мм. При изготовлении конструкционного слоя применялся кварцевый песок с модулем крупности 2,2, максимальной фракции 5,0 мм. Состав мелкозернистой бетонной смеси – Ц : П = 1:2,5 с В/Ц = 0,4 ($R_{\text{сж}}=45 \text{ МПа}$, $R_{\text{изг}}=5,3 \text{ МПа}$). Образцы размера 4х4х16 см из вермикулитобетона уплотняли на стандартной виброплощадке. Подвиж-

ность смеси составляла 3-5 см по погружению конуса СтройЦНИЛ. Образцы хранились в воздушно-сухих условиях.

Перед испытанием балочки высушивались при $t = 105^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы в сушильном шкафу.

Обсуждение результатов. Результаты исследований [23] приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость строительно-технических свойств вермикулитобетонов от соотношения компонентов в смеси

Table 1. The dependence of the construction and technical properties of vermiculite concrete on the ratio of components in the mixture

№ составов	Соотношение компонентов в смеси, % по массе					Количество СДО в % от массы вяжущего	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа	
	цемент	вермикулит	пепел	известь	гипс			на сжатие	на изгиб
1	71,9	29,1	—	—	—	—	750	6,2	2,7
2	50,3	29,1	21,4	—	—	—	762	5,9	2,5
3	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	—	750	6	2,4
4	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,1	720	6,2	2,6
5	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,2	710	6,15	2,5
6	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,3	710	6	2,4
7	62,1	37,9	—	—	—	—	595	2,9	1,6
8	43,5	37,9	18,4	—	—	—	600	2,7	1,5
9	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	—	590	2,8	1,4
10	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,1	570	2,9	1,35
11	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,2	560	2,8	1,3
12	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,3	540	2,7	1,2
13	56,2	43,8	—	—	—	—	500	1,8	0,65
14	39,3	43,8	16,7	—	—	—	510	1,7	0,6
15	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	—	500	1,7	0,65
16	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,1	480	1,8	0,7
17	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,2	470	1,7	0,6
18	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,3	460	1,6	0,5

Для улучшения строительно-технических свойств исходной вермикулитобетонной матрицы осуществляли армирование базальтовыми волокнами. В ходе исследований выявлено [23], что при проценте армирования по объему $\mu_v \approx 0,35-0,65\%$ и отношении длины волокон к их диаметру $l/d = 1444$ фибровермикулитобетон имеет максимальную прочность на сжатие (3,6 МПа), а на изгиб (2,6 МПа) – при значениях $\mu_v \approx 0,6-0,85\%$ и $l/d = 1444$. Дальнейшее повышение процента фибрового армирования бетонной матрицы ведет к снижению прочности фибровермикулитобетона на сжатие и изгиб, что объясняется ухудшением их структуры. Таким образом, фибровое армирование базальтовыми волокнами вермикулитобетонной матрицы увеличивает предел прочности композита на изгиб от 55 до 75 %.

На рис. 1 представлена зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности исследованных составов, представленных в табл. 1. Поскольку пористость и средняя плотность бетона связаны между собой, рассматриваемая зависимость по сути является общеизвестной зависимостью прочности бетона на сжатие от пористости.

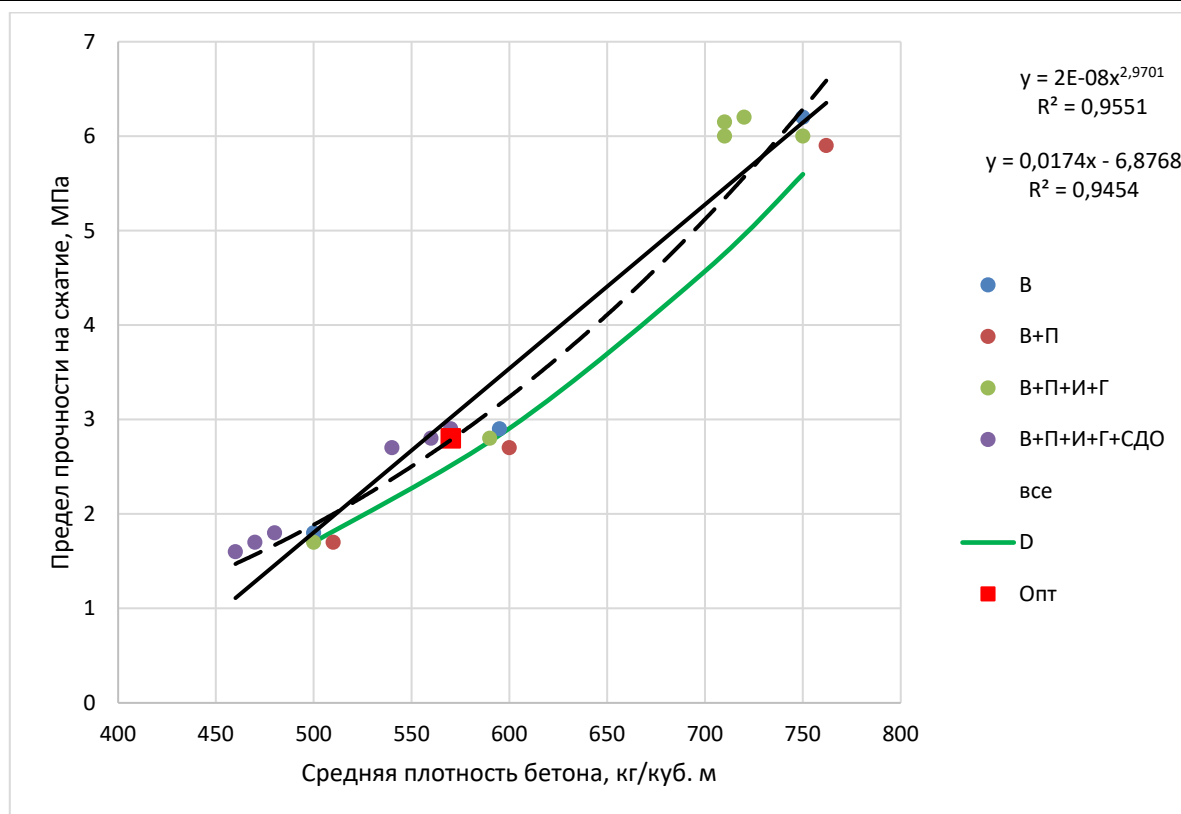


Рис. 1. Зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона:
В, В+П, В+П+И+Г, В+П+И+Г+СДО – соответственно составы на вермикулите, вермикулит+пепел, вермикулит+пепел+известь+гипс, вермикулит+пепел+известь+гипс+СДО, **Д** – по данным Давидюка А.Н. для легких бетонов на стекловидных пористых заполнителях [24], **Опт** – рациональный состав №10 по табл. 1

Fig. 1. Dependence of the compressive strength on the average density of concrete:
V, V+P, V+P+I+G, V+P+I+G+SDO – respectively, compositions based on vermiculite, vermiculite+ash, vermiculite+ash+lime+gypsum, vermiculite+ash+lime+gypsum+SDO, **D** – according to A.N. Davidiyuk. for lightweight concrete with glassy porous aggregates [24], **Opt** – rational composition No. 10 according to Table 1

Представленная на рис. 1 зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона описывается формулой

$$R = 2 \cdot 10^{-8} \cdot \rho^{2.97} \quad (1)$$

Показатель $R^2 = 0.96$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 92% не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет только 8%.

В связи с этим зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона, т.е. пористости, с достаточной для практических целей точностью можно рассматривать как инвариантную к другим факторам. Полученная зависимость хорошо согласуется с результатами исследований Давидюка А.Н. [24] для легких бетонов на стекловидных пористых заполнителях.

На рис. 2 представлена зависимость предела прочности на изгиб от предела прочности на сжатие для исследуемых бетонов.

Представленная на рис. 2 зависимость предела прочности на изгиб R_f от предела прочности бетона на сжатие R для исследованных бетонов без фибрового армирования описывается формулой

$$R_f = 0.385 \cdot R^{1.084} \quad (2)$$

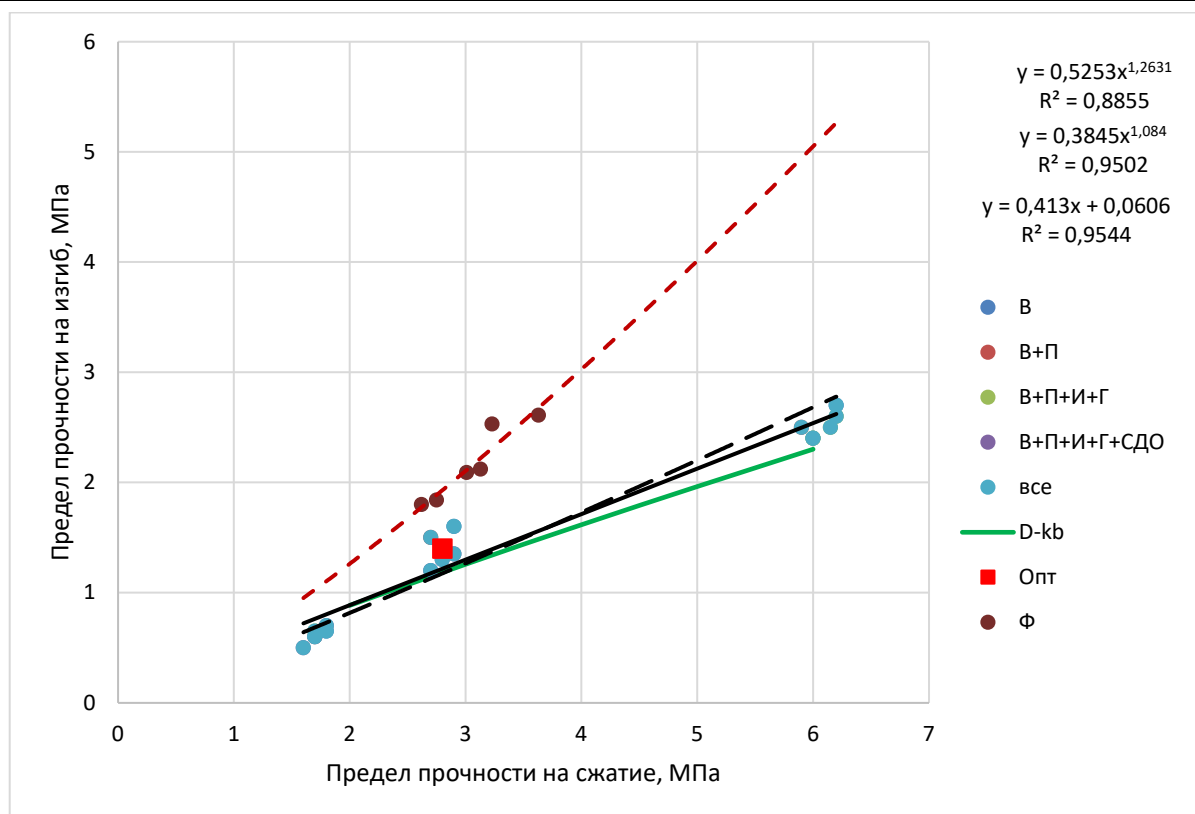


Рис. 2. Зависимость предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие: В, В+П, В+П+И+Г, В+П+И+Г+СДО – соответственно составы на вермикулите, вермикулит+пепел, вермикулит+пепел+известь+гипс, вермикулит+пепел+известь+гипс+СДО; Ф – фибровермикулитобетон; D – по данным Давидюка А.Н. [24] для керамзитобетона для осевого растяжения с переводным коэффициентом 2.3; Опт – рациональный состав №10 по табл. 1
Fig. 2. Dependence of the bending strength on the compressive strength: V, V+P, V+P+I+G, V+P+I+G+SDO – respectively, compositions based on vermiculite, vermiculite+ash, vermiculite+ash+lime+gypsum, vermiculite+ash + lime+gypsum+SDO ; F – fiber vermiculite concrete; D – according to A.N. Davidiyuk [24] for expanded clay concrete for axial tension with a conversion factor of 2.3; Wholesale – rational composition No. 10 according to table 1

Показатель $R^2 = 0,936$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 87% не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет только 13%. Очевидно, что полученная зависимость (ф. 2.) хорошо согласуется с данными Давидюка А.Н. [24] для керамзитобетонов, что позволяет сделать предположение о независимости зависимости предела прочности на изгиб (растяжение) от предела прочности на сжатие от ряда рецептурных факторов бетонов, что важно с точки зрения расчета конструкций, поскольку позволяет использовать единую базу нормативных значений сопротивлений бетона. Представленная на рис. 2 зависимость предела прочности на изгиб R_f от предела прочности бетона на сжатие R для исследованных бетонов с фибровым армированием описывается формулой

$$R_f = 0,525 \cdot R^{1,263} \quad (3)$$

Показатель $R^2 = 0,9$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 80% не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет 20%. Вероятно, основными факторами, оказывающими влияние на зависимость ф.3, помимо прочности бетона на сжатие, являются параметры фибрового армирования. Применение фибрового армирования обеспечивает повышение предела прочности на изгиб от 55 до 75%.

Проведены натурные испытания двухслойных армоцементных образцов (толщина слоя мелкозернистого бетона – 20 мм, вермикулитобетона – 25 мм) на огнестойкость [23]. Результаты экспериментов показали, что предложенные фибровермикулитобетоны обладают лучшими огнезащитными свойствами по сравнению с другими составами. Это происходит из-за лучшей сохранности фибровермикулитобетонного слоя при нагреве в результате фибрового армирования. Также благодаря добавке СДО, происходит повышение огнезащитных свойств из-за дополнительной поризации фибровермикулитобетона.

Наилучшие огнезащитные свойства выявлены у вермикулитобетонов со средней плотностью 480-560 кг/м³. Определение пределов огнестойкости строительных конструкций экспериментальными методами является трудоемкой задачей и требует приобретения дорогостоящего оборудования.

Именно поэтому разработка расчетных методов определения пределов огнестойкости строительных конструкций является актуальной задачей.

Нами разработаны алгоритм и программное обеспечение для расчета предела огнестойкости многослойных строительных конструкций численным методом [25].

С применением разработанного ПО выполнены вычисления с точностью равной 0,001 и получены коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 , показывающие хорошую сходимость теоретических и экспериментальных данных.

В результате расчетов на разработанном ПО определены выражения для коэффициентов теплопроводности (Вт/м·°К) и теплоемкости (Дж/кг·°К) разработанных вермикулитобетонов (табл. 2):

Таблица 2. Зависимость коэффициентов теплопроводности и теплоемкости от вида и средней плотности бетона

Table 2. Dependence of thermal conductivity and heat capacity coefficients on the type and average density of concrete

№	Вид бетона Type of concrete	Средняя плотность, кг/м ³ Average density	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°К Coefficient thermal conductivity	Коэффициент теплоемкости, Дж/кг·°К Coefficient heat capacity
1	Армоцемент/ Armocement	2300	$\lambda_a(t) = 0,83 - 0,0004t$	$c_a(t) = 770 + 0,8t$
2	Цементный вермикулитобетон/ Cement vermiculite concrete	500	$\lambda_o(t) = 0,09 + 0,000093t$	$c_o(t) = 920 + 0,51t$
3	Цементный вермикулитобетонный композит/ Cement vermiculite concrete composite	480	$\lambda_o(t) = 0,087 + 0,00008t$	$c_o(t) = 920 + 0,51t$
4	Цементный фибровермикулитобетонный композит/ Cement fiber vermiculite concrete composite	470	$\lambda_o(t) = 0,086 + 0,00007t$	$c_o(t) = 920 + 0,51t$
5	Цементный вермикулитобетон/ Cement vermiculite concrete	595	$\lambda_o(t) = 0,11 + 0,000057t$	$c_o(t) = 920 + 0,51t$
6	Цементный вермикулитобетонный композит/ Cement vermiculite concrete composite	570	$\lambda_o(t) = 0,1 + 0,00006t$	$c_o(t) = 920 + 0,51t$
7	Цементный фибровермикулитобетонный композит/ Cement fiber vermiculite concrete composite	560	$\lambda_o(t) = 0,099 + 0,00005t$	$c_o(t) = 920 + 0,51t$
8	Цементный вермикулитобетонный композит/ Cement vermiculite concrete composite	740	$\lambda_o(t) = 0,14 + 0,00004t$	$c_o(t) = 920 + 0,61t$
9	Цементный фибровермикулитобетонный композит/ Cement fiber vermiculite concrete composite	720	$\lambda_o(t) = 0,12 + 0,00003t$	$c_o(t) = 920 + 0,61t$

Результаты расчета предела огнестойкости армоцементных элементов в зависимости от толщины и состава фибровермикулитобетона представлены на рис. 3.

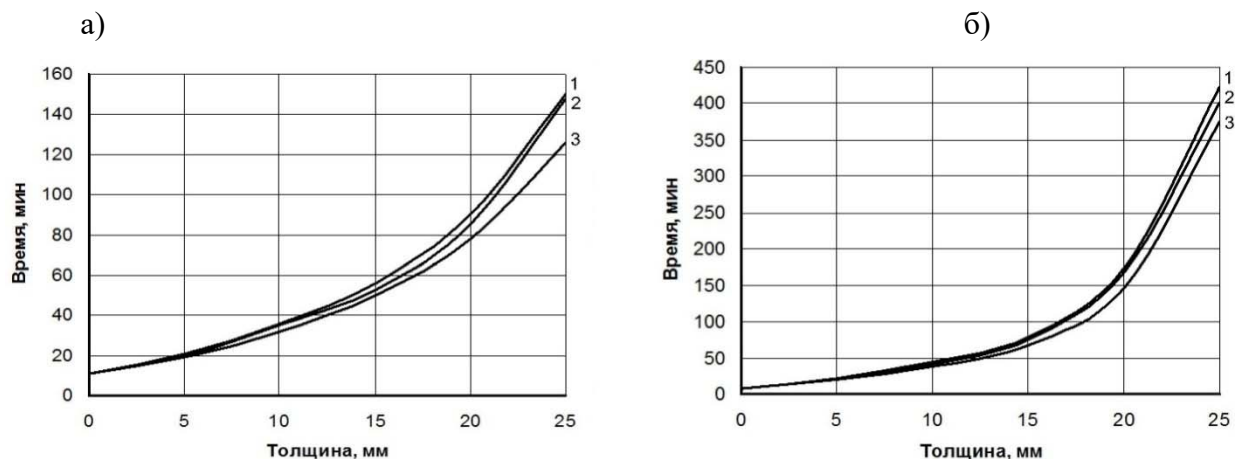


Рис. 3. Влияние толщины, состава и плотности огнезащитного слоя на предел огнестойкости двухслойных армоцементных элементов по признаку потери теплоизолирующей способности (а) и потери несущей способности (б): 1, 2, 3 – фибровермикулитобетон плотностью соответственно, 470 кг/м³, 560 кг/м³, 720 кг/м³

Fig. 3. The influence of the thickness, composition and density of the fire retardant layer on the fire resistance limit of two-layer reinforced cement elements based on loss of heat-insulating ability (a) and loss of load-bearing capacity (b): 1, 2, 3 – fiber vermiculite concrete with a density corresponding 470 kg/m³, 560 kg/m³, 720 kg/m³

Результаты расчетов по определению влияния толщины фибровермикулитобетонных плит на предел их огнестойкости по признаку потери теплоизолирующей способности представлены на рис. 4.

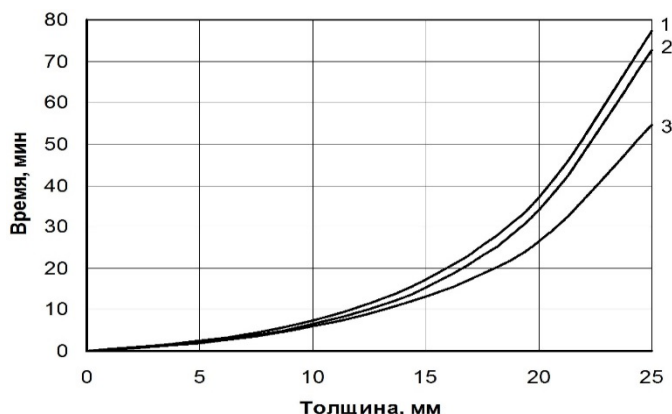


Рис.4. Влияние толщины, состава и плотности фибровермикулитобетона на предел огнестойкости плит по признаку потери теплоизолирующей способности:

1, 2, 3 – фибровермикулитобетон плотностью, соответственно, 470 кг/м³, 560 кг/м³, 720 кг/м³

Fig. 4. The influence of the thickness, composition and density of fibrovermiculite concrete on the fire resistance limit of slabs based on the loss of heat-insulating ability:

1, 2, 3 – fiber vermiculite concrete with a density corresponding 470 kg/m³, 560 kg/m³, 720 kg/m³

Вывод. Предел прочности на сжатие вермикулитобетона зависит от средней плотности бетона на 92%, влияние иных факторов составляет только 8%.

Предел прочности на сжатие фибровермикулитобетона зависит от средней плотности бетона на 80%, влияние иных факторов составляет только 20%. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают Фибровермикулитобетонные композиты со средней плотностью 480-560 кг/м³.

Разработано программное обеспечение теплотехнического расчета предела огнестойкости двухслойных армоцементных конструкций при пожаре численным методом в программном расчетном комплексе Matlab. Получены значения коэффициентов теплопроводности и теплоемкости вермикулитобетонных и фибровермикулитобетонных композитов на основе анализа результатов экспериментально-теоретических исследований их огнезащитных свойств.

Библиографический список:

1. Лысенко Е.Ф. Армоцементные конструкции. Киев: Вища школа. 1981. 191 с.
2. Митрофанов Е.Н. Армоцемент. Л.: 1973. 208 с.
3. Панарин С.Н., МIRONKOV Б.А. Армоцементные конструкции массового применения. Л.: ЛДНТП. 1975. 32 с.
4. Бушев З.П., Пчелинцев В.А., Федоренко В.С., Яковлев А.И. Огнестойкость зданий. М.: Стройиздат. 1970. 260 с.
5. Панарин С.Н., Хежев Т.А., Жуков В.В., Соломонов В.В. Пути повышения предела огнестойкости тонкостенных армоцементных конструкций со слоем вермикулитобетона / Промышленное строительство. М. 1986. № 8. С. 44 – 46.
6. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. М.: Стройиздат. 1979. 128 с.
7. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций после пожара. М.: 2005. 122 с.
8. Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом. М.: Стройиздат. 1977. 46 с.
9. Ахматов М.А. Применение отходов камнепиления туфкарьеров и рыхлых пористых пород в качестве заполнителей легких бетонов и конструкций из них. Нальчик. 1981. 128 с.
10. Ахматов М.А. Пористые заполнители из отходов добычи туфа / Строительные материалы. 1978. № 3. С. 10–11.
11. Ахматов М.А. Эффективность применения местных строительных материалов и бетона. Нальчик: Эльбрус. 1986. 160 с.
12. Некрасов К.Д., Масленникова М.Г. Легкие жаростойкие бетоны на пористых заполнителях. М.: Стройиздат. 1982. 152 с.
13. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов / Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография // 3-е изд. перераб. и доп. М.: АСВ. 2004. 560 с.
14. Волков И.В. Фибробетон : Состояние и перспективы применения / Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 9. С. 37–38.
15. Махова М.Ф. Дисперсное армирование портландцемента базальтовыми волокнами / Цемент. 1980. № 2. С. 6–19.
16. Пухаренко Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук Ю.В. Пухаренко. СПб. : Санкт-Петербургский гос. архит.-строит. ун-т. 2005. 42 с.
17. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. М.: Стройиздат. 1888. 142 с.
18. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М.: Ассоц. «Пожарная безопасность и наука». 2001. 382 с.
19. Романенков И.Г., Зигерн-Корн И.Г. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. М.: Стройиздат. 1991. 320 с.
20. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. М.: Стройиздат. 1998. 304 с.
21. Хежев Т.А. Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона. дисс. ... д-ра техн. наук Т.А. Хежева. Ростов-на-Дону. 2007. 304 с.
22. Хашукаев М.Н. Технология и свойства ячеистых фибробетонов на основе вулканических горных пород. дисс. ... канд. техн. наук СПб. : Санкт-Петербургский гос. архит.-строит. ун-т. 2002. 127 с.
23. Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Шогенова Ф.М., Артабаев А.Х., Машукова М.Х. Свойства огнезащитного вермикулитобетонного композита и мелкозернистого бетона для двухслойных армоцементных конструкций / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала. ДГТУ. 2022. том 49 (№ 2). С. 165-177.
24. Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда. 2008. 208 с.
25. Хежев Т.А., Культербаев Х.П. Теплотехнический расчет огнестойкости многослойных строительных конструкций // Вестник Кабардино-Балкарского гос. ун-та. (Сер. «Технические науки»). Нальчик: КБГУ. 2000. Вып. 4. С. 9 – 11.

References

1. Lysenko E.F. Reinforced cement structures. Kyiv: Vishcha school. 1981:191. (In Russ)
2. Mitrofanov E.N. *Armocement*. L.: 1973:208. (In Russ)
3. Panarin S.N., Mironkov B.A. Reinforced cement structures for mass use. L.: LDNTP. 1975:32. (In Russ)
4. Bushev Z.P., Pchelintsev V.A., Fedorenko V.S., Yakovlev A.I. Fire resistance of buildings. M.: Stroyizdat. 1970:260. (In Russ)
5. Panarin S.N., Khezhev T.A., Zhukov V.V., Solomonov V.V. Ways to increase the fire resistance limit of thin-walled reinforced cement structures with a layer of vermiculite concrete. *Industrial construction*. M. 1986; 8: 44 – 46. (In Russ)
6. Ilyin N.A. Consequences of fire exposure on reinforced concrete structures. M.: Stroyizdat. 1979:128. (In Russ)
7. Milovanov A.F. Fire safety of reinforced concrete structures after a fire. M.: 2005: 122. (In Russ)

8. Guidelines for making fire-retardant and heat-insulating plasters using a mechanized method. M.: Stroyizdat. 1977:46. (In Russ)
9. Akhmatov M.A. The use of stone sawing waste from tuff quarries and loose porous rocks as fillers for light-weight concrete and structures made from them. Nalchik. 1981:128. (In Russ)
10. Akhmatov M.A. Porous aggregates from tuff mining waste. *Construction materials*. 1978;3:10–11. (In Russ)
11. Akhmatov M.A. Efficiency of using local building materials and concrete. Nalchik: Elbrus. 1986:160. (In Russ)
12. Nekrasov K.D., Maslennikova M.G. Lightweight heat-resistant concrete on porous aggregates. M.: Stroyizdat. 1982:152. (In Russ)
13. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, structures: monograph/ 3rd ed. reworked and additional M.: ASV. 2004:560 (In Russ)
14. Volkov I.V. Fiber-reinforced concrete: State of the art and prospects for use. *Industrial and civil construction*. 2002; 9: 37–38. (In Russ)
15. Makhova M.F. Dispersed reinforcement of Portland cement with basalt fibers. *Cement*. 1980;2:6–19. (In Russ)
16. Pukhareno Yu.V. Scientific and practical basis for the formation of the structure and properties of fiber-reinforced concrete: abstract of thesis. diss. ... Dr. Tech. Sciences Yu.V. Pukhareno. St. Petersburg : St. Petersburg State. architect-builds univ. 2005:42. (In Russ)
17. Yakovlev A.I. Calculation of fire resistance of building structures. M.: Stroyizdat. 1888:142. (In Russ)
18. Roitman V.M. Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings. M.: Assoc. "Fire Safety and Science". 2001: 382. (In Russ)
19. Romanenkov I.G., Zigern-Korn I.G. Fire resistance of building structures made of efficient materials. M.: Stroyizdat. 1991:320. (In Russ)
20. Milovanov A.F. Resistance of reinforced concrete structures in case of fire. M.: Stroyizdat. 1998: 304. (In Russ)
21. Khezhev T.A. Technology of reinforced cement structures of high fire resistance with a heat-protective layer of effective lightweight concrete. diss. Dr. Tech. Science T.A. Khezheva. Rostov-on-Don. 2007:304. (In Russ)
22. Khashukaev M.N. Technology and properties of cellular fiber-reinforced concrete based on volcanic rocks. diss. ...cand. tech. Sciences St. Petersburg. : St. Petersburg State. architect-builds univ. 2002:127. (In Russ)
23. Khezhev T.A., Khadzishalapov G.N., Shogenova F.M., Artabaev A.Kh., Mashukova M.Kh. Properties of fire-retardant vermiculite concrete composite and fine-grained concrete for two-layer reinforced cement structures. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. Makhachkala. DSTU. 2022; 49 (2):165-177. (In Russ)
24. Davidyuk A.N. Lightweight structural and thermal insulating concrete on glassy porous aggregates. M.: Red Star. 2008: 208. (In Russ)
25. Khezhev T.A., Kulterbaev Kh.P. Thermal engineering calculation of fire resistance of multilayer building structures. *Bulletin of the Kabardino-Balkarian State University. un-ta. (Ser. "Technical Sciences")*. Nalchik: KBSU. 2000; 4: 9 – 11. (In Russ)

Сведения об авторах:

Хежев Толя Амирович, доктор технических наук, профессор, директор института архитектуры, строительства и дизайна; hejev_tolya@mail.ru

Хаджишалапов Гаджимагомед Нурмагомедович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства; yarus-x@mail.ru

Журтов Артур Владимирович, кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой строительного производства; zhurtovartur@mail.ru

Джанкулаев Адам Амерханович, аспирант кафедры строительного производства; hejev_tolya@mail.ru

Раджабов Рустам Габибулаевич, старший преподаватель кафедры архитектуры; yarus-x@mail.ru

Information about the authors:

Tolya A. Khezhev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director of the Institute of Architecture, Construction and Design; hejev_tolya@mail.ru

Gadzhimagomed N. Khadzishalapov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; yarus-x@mail.ru

Artur V. Zhurtov, Cand. Sci. (Eng.), Acting Head of the Department of Construction Production; zhurtovartur@mail.ru

Adam A. Dzhankulaev, Postgraduate Student, Department of building production; hejev_tolya@mail.ru

Rustam G. Radjabov, Senior Lecturer, Department of Architecture; yarus-x@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 21.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 11.01.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 11.01.2024.

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 15 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 MicrosoftWord, CorelDraw, MicrosoftVisio

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. 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 51– №1 – 2024.

**HERALD
OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES**
Makhachkala, Volume 51, No.1. 2024.

Верстка: Красикова А.В., Попкова 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., Popkova 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 01.04.2024г. Сдано в печать 01.04.2024г.

Формат 60x84 ¹/₈. Гарнитура «Times». Бумага офсетная

Тираж 500. Усл. п.л. 26.51 Уч. изд.л. 19.4

Заказ № 1424

Отпечатано в типографии ИП Копыльцов П.И.

394052, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Маршала Неделина, д. 27, кв. 56.

Тел.: 89507656959. E-mail: Kopyltsow_Pavel@mail.ru