

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 48, № 4, 2021.

ВЕСТНИК

**ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Volume 48, No.4, 2021.

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).

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», 2021.

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).

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: CrossRef; 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, 2021.

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

ВЕСТНИК ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. ТОМ 48, № 4, 2021

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 «Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение» 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 «Информатика, вычислительная техника и управление» 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. 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. Мажнев 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. (05.04.03) – Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения, 2.5.10 (05.04.13) – Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты 2.3.1 (05.13.01) – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) 2.3.3. (05.13.06) – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) 2.3.4. (05.13.10) – Управление в социальных и экономических системах 2.3.7. (05.13.12) – Системы автоматизации проектирования (по отраслям) 2.3.5 (05.13.18) – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ 2.3.6. (05.13.19) – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность 2.1.3. (05.23.03) – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки), 2.1.5 (05.23.05) – Строительные материалы и изделия (технические науки), 2.1.9 (05.23.17) – Строительная механика 2.1.10 (05.23.19) – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Том 48, № 4 Махачкала, 2021. – 200с. Издается по решению Ученого Совета ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» Адрес учредителя и издателя 367026, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Тел./факс (8722)623715; (8722)623964 e-mail: vestnik.dgtu@mail.ru Website: http://vestnik.dgtu.ru/
---	--

СОДЕРЖАНИЕ

Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение 6

- С.М. Гаджиева, Т.А. Челушкина, Д.С. Гаджиев, П.С. Магомедова, И.М. Курбанов. Прецизионный термоэлектрический полупроводниковый датчик 6
- Х.М. Гаджиев, А.А. Акимов, Э.А. Абдурафиков, Р.Ш. Асалиев, А.М. Магомедов. Оптимизация тепловых режимов резонаторов сверхвысокочастотных цифровых активных фазированных антенных решеток 16
- Т.Г. Гасанов, Э.З. Батманов, М.Р. Гусейнов. Частотное разделение сигнала датчика по контролируемым и мешающим параметрам 27
- О.В. Евдулов, Н.А. Набиев, Р.А.-М. Магомадов, Р.Г. Митаров. Экспериментальные исследования термоэлектрического устройства для остановки кровотока методом локального замораживания зоны кровотока 34

Информатика, вычислительная техника и управление 44

- Д.Ю. Авраменко. Описание метода нечеткого ситуационного управления на основе композиционной гибридной модели сложной технической системы 44
- И.В. Алехин. Методика анализа рисков нарушения информационной безопасности на основе количественной оценки ущербов в информационно-технических системах органов внутренних дел 55
- Т.Г. Асланов, Ю.А. Сидоркина. Определение координат гипоцентра землетрясения при известной структуре земной коры 64
- О.В. Асташина. Оценка компетенций в стандартах ФГОС 3++ на базе нечётко-логического подхода ...72
- А.Л. Большеротов. Современная наукометрия и методика её совершенствования 81
- П.А. Кадиев, К.К. Назаров, З.Г. Кардашова. Формирование потоков двоичных последовательностей с управляемой структурой «клеточными» автоматами в однородных регистровых средах 90
- А.А. Лукьянов. Анализ развития криптовалютных инструментов 100
- М.Р. Магомедова. Моделирование эрозионных процессов в открытых руслах 114
- Е.Ю. Никулина, Л.А. Обухова, Е.А. Рогозин. Моделирование процесса поиска оперативно значимой информации из открытых государственных информационных ресурсов 123
- В.И. Поляков, Ф.Ф. Зиннатулин. Верификация вычислительного процесса корпоративной информационной системы 133
- К.К. Хоанг, Ю.В. Донецкая. Оценка результативности использования интеллектуальной адаптивной системы обучения проектированию модулей на основе печатных плат 139

Строительство и архитектура 147

- Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов, А.Г. Гудков. Специфика комплексного тепловизионного мониторинга современных гражданских зданий и теплофизических свойств ограждающих конструкций из строительных материалов массового производства 147
- А.Ю. Ким, М.Ф. Амоян, В.Е. Хапилин. Статический расчет несущей способности двухъярусной мембранно-стержневой системы с учетом воздухоопорного эффекта с применением численной процедуры Эйлера-Коши 159
- Г.М. Муртазалиев, М.М. Пайзулаев. Предельное состояние по условию потери устойчивости равновесных форм 171
- М.Ш. Саламанова. Строительные растворы на вяжущих щелочной активации 178
- Г.Н. Хаджишалапов, Т.А. Хежев, А.М. Гаджиев, Р.Г. Раджабов, У.И. Исаева. Исследование влияния электроразогрева керамзитобетонной смеси на структуру и свойства легких керамзитобетонов, подверженных воздействию высоких температур 187

Требования к оформлению статей 197

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Daghestan State Technical University» HERALD OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES. V o l u m e 4 8 , N o . 4 , 2 0 2 1 .	
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. (Economics), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; https://orcid.org/0000-0003-1093-5507 Editorial Board: Scientific rubric «Power, metallurgical and chemical mechanical 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. Kobzarenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Geothermal Problems, Daghestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia; Alexander A. Krugljakov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director Wissenschaftliche Beratung und Handelsvertretung, Vladimir M. Kutuzov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, President St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint-Petersburg, Russia; 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 «Computer science, computer engineering and management» 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. Lariyov, 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. Scientific rubric «Building and architecture» Executive editor: Gadzhimurad N. Khadzishalapov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Vladimir I. Andreev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia; Muhtaritdin M. Batdalov, Dr. Sci. (Eng.), Corresponding member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Alexey N. Davidyuk, Dr. Sci. (Eng.), Honored Builder of Russia, Director, Gvozdev NIIZHB, 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;	Research areas 2.4.8.(05.04.03) – Machines and devices, processes of refrigeration and cryogenic equipment, air conditioning systems and life support, 2.5.10.(05.04.13) - Hydraulic machines and hydropneumatic units, 2.3.1 (05.13.01) – System analysis, management and information processing (By Branches) (Technical Sciences), 2.3.3.(05.13.06) – Automation and management of technological processes and production (By Branches), 2.3.4.(05.13.10) – Management in social and economic systems, 2.3.7.(05.13.12) – Design automation systems (By Branches), 2.3.5.(05.13.18) – Mathematical modeling, numerical methods and program complexes (Technical Sciences), 2.3.6.(05.13.19) – Methods and systems for information security, information security, 2.1.3.(05.23.03) – Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (Technical Sciences), 2.1.5(05.23.05) – Building materials and products, 2.1.9.(05.23.17) – Construction mechanics, 2.1.5.(05.23.19) – Ecological safety of construction and urban economy Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. Vol. 48, No.4 Makhachkala, 2021–200p. 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

Power, metallurgical and chemical mechanical engineering	6
S.M. Gadzhieva, T.A. Chelushkina, D.S. Gadzhiev, P.S. Magomedova, I.M. Kurbanov. Precision thermoelectric semiconductor sensor.	6
Kh.M. Gadzhiev, A.A. Akimov, E.A. Abdurafikov, R.Sh. Asaliev, A.M. Magomedov. Optimization of thermal regimes of microwave resonators digital active phased array antenna	16
T.G. Hasanov, E.Z. Batmanov, M.R. Guseinov. Frequency division sensor signal by controlled and interfering parameters	27
O.V. Evdulov, N.A. Nabiev, R.A.-M. Magomadov, R.G. Mitarov. Designs of thermoelectric devices for extracting foreign objects from the human body by freezing	34
Computer science, computer engineering and management	44
D.Yu. Avramenko. Description of the method of fuzzy situational control based on a composite hybrid model of a complex technical system	44
I.V. Alekhin. Methodology of information security risk analysis based on quantitative assessment of damages in information and technical systems bodies of the internal affairs	55
T.G. Aslanov, Yu.A. Sidorkina. Determination of coordinates of the earthquake hypocenter with a known structure of the earth's crust	64
O.V. Astashina. Assessment of competencies in the Federal state educational standard (FSES) 3++ based on a fuzzy-logical approach	72
A.L. Bolsherotov. Modern science metrics and methods of its improvement	81
P.A. Kadiev, K.K. Nazarov, Z.G. Kardashova. Formation of streams of binary sequences with controlled structure of "cellular" automata in homogeneous register environments	90
A.A. Lukyanov. Analysis of the development of cryptocurrency instruments	100
M.R. Magomedova. Modeling of erosion processes in open channels	114
E.Yu. Nikulina, L.A. Obukhova, E.A. Rogozin. Modeling the process of searching for operationally significant information from open state information resources	123
V.I. Polyakov, F.F. Zinnatulin. Verification of the computing process of the corporate information system ...	133
K.K. Hoang, Yu.V. Donetskaya. Evaluating the effectiveness of using the intelligent adaptive training system for design modules based on printed circuit boards	139
Building and architecture	147
D.F. Karpov, M.V. Pavlov, A.G. Gudkov. Specifics of integrated thermal imaging monitoring modern civil buildings and thermophysical properties of enclosing structures made of building materials of mass production	147
A.Yu. Kim, M.F. Amoyan, V.E. Khapilin. Static calculation of the bearing capacity of a two-pole membrane-rod system taking into account the air-bearing effect using the numerical Euler-Cauchy procedure	159
G.M. Murtazaliev, M.M. Paizulaev. Limit state according to the condition of loss of stability of equilibrium forms	171
M.Sh. Salamanova. Mortars on binding alkaline activation.	178
G.N. Khadzhishalapov, T.A. Khezhev, A.M. Gadzhiev, R.G. Radjabov, U.I. Isaeva. Investigation of the effect of electric heating of expanded clay concrete mixture on the structure and properties of lightweight expanded clay concrete exposed to high temperatures	187
Formatting requirements for papers	197

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 681.586.67

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-6-15

Оригинальная статья /Original Paper

Прецизионный термоэлектрический полупроводниковый датчик

С.М. Гаджиева, Т.А. Челушкина, Д.С. Гаджиев, П.С. Магомедова, И.М. Курбанов

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

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка прецизионного термоэлектрического полупроводникового датчика. **Метод.** В ходе исследования применен балансный метод, основанный на том, что вместо перепада температур термомодуль будет измерять совпадение температур. **Результат.** Применение термоэлектрического полупроводникового датчика уменьшает погрешность при измерении температуры окружающей среды либо исследуемого объекта. Термоэлектрический полупроводниковый датчик с эффектом Пельтье может функционировать в экономном режиме, не затрачивая энергию на измерение температуры. **Вывод.** Термоэлектрический полупроводниковый датчик функционирует в адаптивном режиме измерения температур, позволяя настраивать функциональный датчик для измерения температуры с необходимой точностью в зависимости от исследуемого объекта, а также стабилизировать границу расплава или кипения в контейнере, находящимся в контакте с цифровым термоэлектрическим устройством.

Ключевые слова: термоэлектрический полупроводниковый датчик, измерение температуры, охлаждение, кристаллизация, балансное измерение

Для цитирования: С.М. Гаджиева, Т.А. Челушкина, Д.С. Гаджиев, П.С. Магомедова, И.М. Курбанов. Прецизионный термоэлектрический полупроводниковый датчик. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4): 6-15. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-6-15

Precision thermoelectric semiconductor sensor

S.M. Gadzhieva, T.A. Chelushkina, D.S. Gadzhiev, P.S. Magomedova, I.M. Kurbanov

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

Abstract. Objective. The aim of the study is to develop a precision thermoelectric semiconductor sensor. **Method.** In the course of the study, a balanced method was applied, based on the fact that instead of a temperature difference, the thermal module will measure the coincidence of temperatures. **Result.** The use of a thermoelectric semiconductor sensor practically reduces the error when measuring the temperature of the environment or the object under study. The thermoelectric semiconductor sensor with the Peltier effect can operate in an economical mode, without wasting energy for measuring the temperature. **Conclusion.** The thermoelectric semiconductor sensor operates in an adaptive temperature measurement mode, allowing you to adjust a functional sensor to measure temperature with the required accuracy depending on the object under study, as well as stabilize the melt or boiling boundary in a container in contact with a digital thermoelectric device.

Keywords: Thermoelectric semiconductor sensor, temperature measurement, cooling, crystallization, balance measurement

For citation: S.M. Gadzhieva, T.A. Chelushkina, D.S. Gadzhiev, P.S. Magomedova, I.M. Kurbanov. Precision thermoelectric semiconductor sensor. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48 (4): 6-15. DOI: 10.21822 / 2073-6185-2021-48-4-6-15

Введение. Для проведения измерений в технической и биологической областях различных температур в широком диапазоне используются методики с применением различных устройств. Основным способом является измерение температуры по расширению нагреваемого объекта по изменению его геометрических параметров [1]. Это хорошо известный ртутный термометр. При нагревании ртуть занимает больший объём, и за счёт специальной конструкции это можно отобразить в виде откалиброванной шкалы. Вместо ртути могут быть использованы другие жидкости, также изменяющие свой объём в тех диапазонах, когда ртуть может замерзнуть или испариться, однако, точность такой методики невысока.

Широко распространены различные термопары, которые позволяют по перепаду температур выработать различные величины преобразуемого напряжения и токов. Однако нелинейность на краях диапазона приводит к большим погрешностям. Также существуют методы по измерению степени излучения нагретых объектов или же по изменению в диэлектрических и магнитных параметрах в резонансных сигналах по изменению частоты колебательных контуров. Эти методы являются наиболее точными, но они являются одновременно и наиболее сложными в реализации [2, 14].

Постановка задачи. Для проведения измерений температуры в широком диапазоне температур при минимальных погрешностях целесообразно разработать термоэлектрический датчик температуры, который будет работать по балансному методу. Термоэлектрическое устройство известно уже давно, а в термопарах используется эффект Зеебека. Эффект Зеебека подразумевает при наличии перепада температур выработку электрической энергии.

Если будет взят термоэлектрический модуль (ТЭМ), в котором полупроводниковые ветви последовательно соединены таким образом, что создают две поверхности, то перепад температур между ними сможет вырабатывать различные напряжения в зависимости от поданной разности температур. Такой термометр способен измерять температуру в широком диапазоне при изменении материалов полупроводниковых ветвей или использование чисто биметаллических конструкций. Однако погрешность на краях диапазона и погрешности изготовленных самих термопар приводят к тому, что нелинейные искажения могут принимать недопустимые значения.

Методы исследования. Для того чтобы исключить большую часть этих погрешностей, целесообразно осуществить балансный метод, который будет основываться на том, что вместо перепада температур такой термомодуль будет измерять совпадение температур [3, 9]. То есть это будет аналог компаратора, который при равенстве значений электрических, выдаёт определенный сигнал.

Такой подход ценен тем, что в момент равенства температур термоэлектрическое устройство перестает функционировать как объект, и все его нелинейные параметры становятся незначимыми. Так как не протекает никакой ток, то сопротивления, погрешности, искажения, — всё исчезает, то есть такое термометрическое устройство позволяет просто зафиксировать факт совпадения температур самим фактом отсутствия своего рабочего состояния [4,7]. А вот уже создать такую температуру, которую будем измерять, — это уже вторая задача такого балластного датчика.

Обсуждение результатов. Для создания такой температуры также может быть использован термоэлектрический модуль (ТЭМ) [8,14]. Но к нему предъявляются определенные требования: в отличие от обычных ТЭМ он будет создавать не просто перепад температур между горячим и холодным спаем, а должен это делать сразу в цифровом виде, так как современные параметры, в том числе температуры, уже фиксируются не в аналоговой форме, а в цифровой [9, 11-13].

Для этого целесообразно сделать модуль из 1, 2, 4, 8, и так далее 2^n полупроводниковых модулей. Количество включенных модулей соответствует определенному режиму работы, то есть задание определенного перепада температур. Граничным условием такой модели является наличие стабильной температуры — с одной стороны для формирования заданной температуры,

с другой стороны – на другом спае. Стабильную температуру можно получить относительно вещества в фазовом состоянии, которое кипит или которое плавится. В этом случае пока вещество всё не выкипит, например, вода кипит при 100° , и пока вся вода не выкипит, температура кипения при обычном атмосферном давлении составляет 100° [14]. Или же наоборот, если плавится водяной лед, то пока он весь не расплавится температура будет стабильно поддерживаться на уровне 0 градусов.

Это базовое значение температуры позволяет относительно него сформировать при помощи термомодуля заданное цифровое значение температуры для подачи на температурный компаратор и сравнение его с неизвестной температурой. Но у кипящего и у плавящегося вещества имеется неприятная особенность в том, что она имеет границу кипения или границу кристаллизации. Это граница подвижная и соответственно меняются условия кипения или кристаллизации. Для того чтобы эту границу зафиксировать на определенном уровне целесообразно использовать ещё один термомодуль, который отводит необходимое количество тепла в окружающую среду.

Разработанное устройство представляет собой каскад термоэлектрических модулей (ТЭМ), которое приведено на рис. 1.

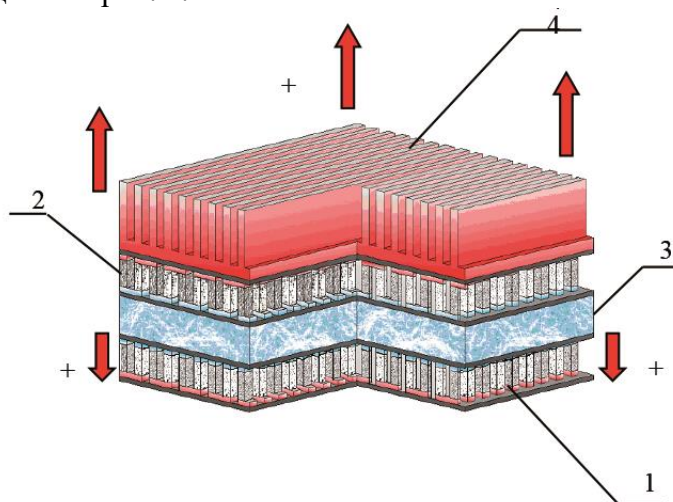


Рис. 1. Термоэлектрический модуль

Fig. 1. Thermoelectric module

В устройстве тепловое воздействие на биоткань осуществляет ТЭМ 1, вторые спаи которого термостатированы относительно вещества в состоянии фазового перехода 3, стабильное значение температуры которого поддерживается на заданном уровне ТЭМ 2. Для теплообмена ТЭМ 2 с окружающей средой применяется теплоотвод 4.

Таким образом, ТЭМ 1 предназначен для получения только фиксированного значения температуры, соответствующей относительно какого-то опорного значения.

ТЭМ 2 предназначен для того, чтобы плавящееся вещество поддерживать в состоянии фазового перехода, необходимого для проведения точных измерений. Дополнительным устройством является теплоотвод 4, который отводит излишек температуры в окружающую среду.

ТЭМ 1 работает в режиме максимального холодильного коэффициента, т.е. при отсутствии больших токов и отсутствии необходимости создания переноса тепла, так как здесь между первым и вторым спаями также отсутствует перенос тепла. Работа ТЭМ 1 заключается только в создании перепада температур между температурой плавящегося вещества и температурой измеряемого объекта.

При этом температура плавления плавящегося вещества выбирается вблизи ожидаемой, прогнозируемой формируемой температуры. ТЭМ 1 отличается конструктивно, от существующих традиционных ТЭМ тем, что схема питания у него не параллельная и не последовательная, а дискретная, т.е. в состав ТЭМ1 входит набор однотипных ТЭМ, имеющих идентичные параметры.

На рис. 2 приведена структура двоичного дискретного формирователя перепада температур. Здесь обозначена структура, позволяющая однотипным модулям соединенным, таким образом, что питание можно подать, либо на первый ТЭМ, либо на ТЭМ второго типа, либо на ТЭМ третьего типа, четвертого, пятого и т.д. сформировать включение либо одного, либо двух, либо четырех, либо восьми, либо любого другого значения количества однотипных ТЭ.

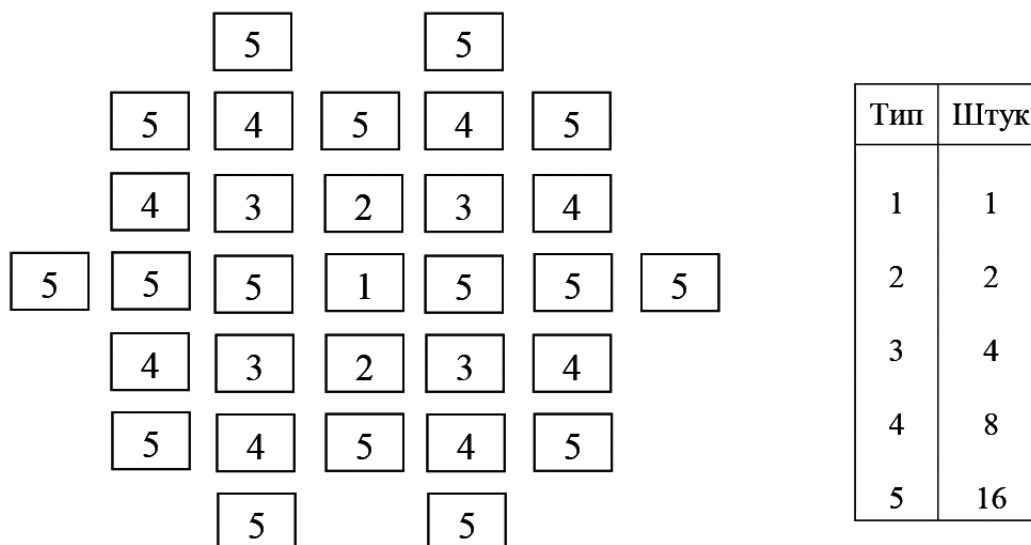


Рис. 2. Структура двоичного дискретного формирователя перепада температур
Fig. 2. The structure of the binary discrete shaper of the temperature difference

Изменение температуры формирования будет регулироваться не изменением тока или напряжением питания тока ТЭ, а просто количеством подключенных однотипных ТЭ, которые питаются от одного и того же стабилизированного источника питания и работают в одних и тех же дискретных режимах, таких, что - либо он включен и формирует определенный тепловой поток, либо он выключен и ничего не формирует. Количество включенных или выключенных ТЭ позволяет реализовать соответствующий перепад температуры:

$$Q = cm(T_2 - T_1) \quad (1)$$

где T_1 – температура плавления, T_2 – это температура которую мы собираемся сформировать, c – теплоемкость всего устройства в целом, который тепловой поток должен нагреть на соответствующий перепад температуры, m – масса этого тела.

Общее тепло, которое вырабатывается ТЭМ 1 по двоичной логике определяется из выражения:

$$Q = 2^n X_n Q_9 + + 2^2 X_2 Q_9 + 2^1 X_1 Q_9 + 2^0 X_0 Q_9 \quad (2)$$

где Q_9 – является эталонной задаваемой мощностью теплового воздействия, X_n – разряды двоичной логики, принимающие значения 1 или 0.

По формуле (2) можно определить какое количество тепла будет сформировано соответствующим количеством ТЭМ.

Двоичная логика позволяет посылкой из ПЭВМ логических уровней 0 и 1 по соответствующим разрядам формировать больший или меньший тепловой поток через ТЭМ 1. Этот суммарный тепловой поток, подставленный в вышеприведенные формулы, приведет к соответствующему перепаду температур относительно температуры плавления.

Таким образом, дискретно формируется необходимая температура. При условии, когда температура плавления близка к формируемой температуре будут изменяться только младшие

разряды. Количество разрядов в этом случае может быть не значительным, но даже при 10 разрядах точность формирования составит 2^{10} (1024) различных дискретных значений.

Подобная структура, двоичной дискретизации позволяет реализовать путем перебора количества включенных ТЭМ точное дозированное формирование тепловых потоков в ТЭМ 1.

При таком подходе непосредственно с ПЭВМ можно сформировать на ТЭМ 1 точное значение температуры в первом спае относительно второго спае, являющегося опорным для температуры плавления.

Вместо двоичной логики возможно использование троичной логики за счет реверса питания ТЭМ 1 (рис. 3).

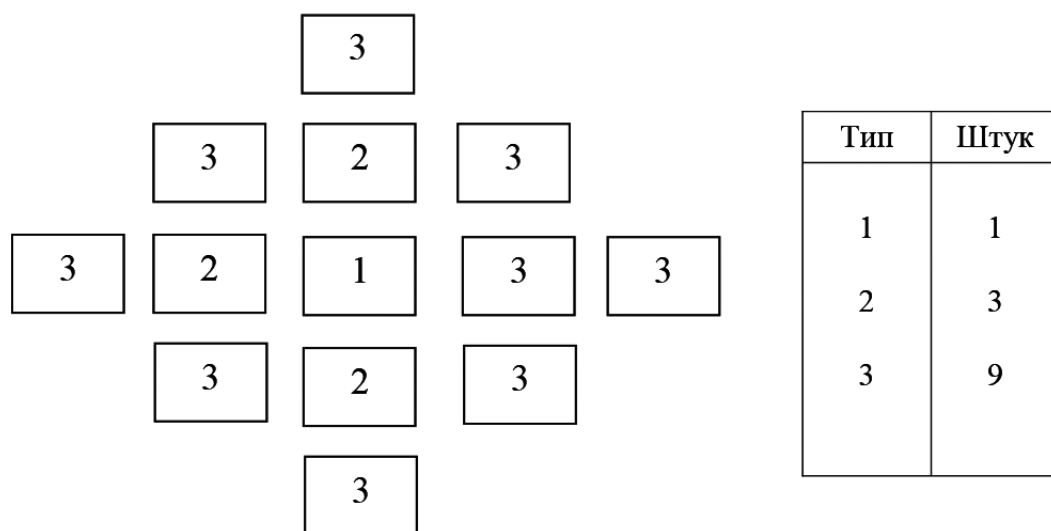


Рис. 3. Троичная логика
Fig. 3. Trinity logic

В этом случае понадобится не один источник питания, который параллельно подключается ко всем ТЭМ (либо не подключается к ним), а два источника питания на каждый ТЭМ или группу ТЭМ. Причем группа ТЭМ соответствует для троичной логики одному набору, трем наборам, девяти наборам и т.д.

Соответственно можно получить любое дозированное значение температуры, как тепловой поток по направлению к первому спаю, так и от него.

Суммарный тепловой поток даст нам результирующее значение точной величины температуры на первом спае ТЭМ 1:

$$Q_x = 3^n X_n Q_3 + \dots + 3^2 X_2 Q_3 + 3^1 X_1 Q_3 + 3^0 X_0 Q_3, \quad (3)$$

где Q_3 – является эталонной задаваемой мощностью теплового воздействия; X_n – разряды троичной логики, принимающие значения +1, 0, -1.

При таком подходе исчезают погрешности в аналоговом преобразовании, так как современные технологии позволяют получать идентичные параметры отдельных ТЭМ [16]. Количество включенных ТЭМ, работающих в одинаковых условиях от одного и того же источника питания позволяют реализовать точное значение температуры в каждом спае.

Требования к плавящемуся веществу заключаются в следующем. Температура плавления этого вещества должна быть не так далека от температуры измеряемой, иначе это приведет к большому перепаду температур между первым и вторым спаем и переведет ТЭМ 1 из режима работы при максимальном холодильном коэффициенте в режим нелинейной максимальной холодопроизводительности, что нежелательно скажется на точности.

В случае если температура в первом и втором спае приблизительно равны и отличаются только в пределах не большого диапазона значений, то точность формирования будет гораздо

выше, за счет того, что ТЭМ 1 работает в облегченном режиме (с учетом его дискретной структуры точность значительно повышается).

Другими требованиями к плавящемуся веществу являются поддержание стабильной температуры в течение всего цикла работы температурного аналого-цифрового преобразователя (ТЦАП). Плавящееся вещество может также внести погрешность за счет возникновения границы между расплавленным и еще твердым веществом. Снижение этой погрешности возможно за счет использования следующего режима.

На рис.4 приведен график плавления вещества. Температура плавления при отводе тепла от плавящегося вещества, с помощью ТЭМ 2 поддерживается какое-то время постоянной, а затем начинает снижаться.

Этот момент легко зафиксировать с помощью даже грубых температурных датчиков и если в этот момент включить реверс ТЭМ 2, то можно и часть затвердевшего и переохлажденного вещества вернуть в состояние плавления, либо найти точку на границе перегиба между тем состоянием, когда все вещество затвердело и находится еще на границе температуры плавления и между тем наклоном графика, когда все вещество начинает (уже в твердой форме) охлаждаться дальше.

Реверс ТЭМ 2 позволяет, либо вернуть вещество в состояние плавления, либо начинать границу расплава вблизи спая, что видно по рис. 5.

На точности измерения это не скажется, так как точность измерения зависит от того, чтобы возле спая плавящееся вещество было в твердом состоянии на весь цикл измерения.

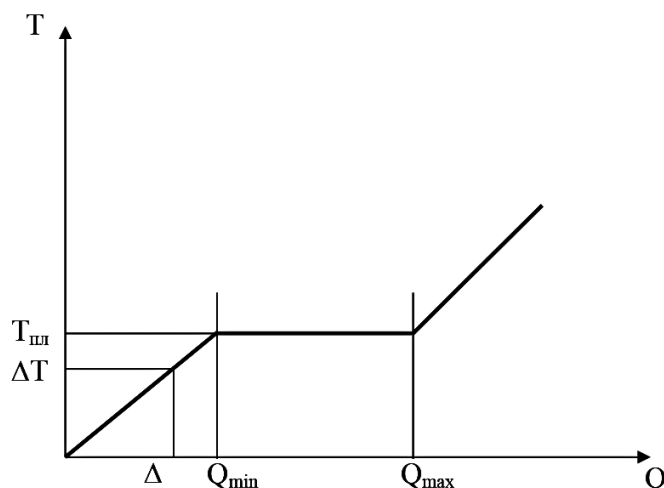


Рис. 4. График плавления вещества, находящегося в состоянии фазового перехода

Fig. 4. Graph of melting of a substance in a state of phase transition

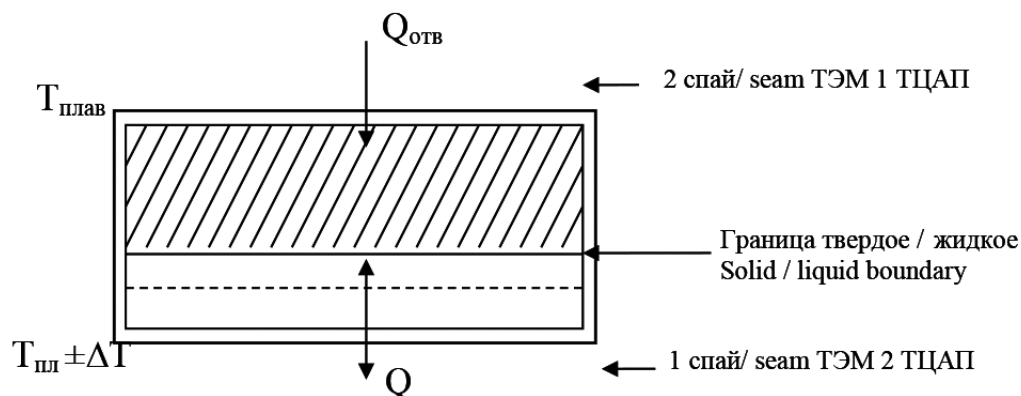


Рис. 5. Схема границы расплава вещества, находящегося в состоянии фазового перехода

Fig. 5. Scheme of the boundary of a melt of a substance in a state of phase transition

Так как процесс будет происходить быстро, то вещество 3, находящееся в состоянии фазового перехода, не успеет расплавиться при работе ТЭМ 1.

В этом случае можно будет пренебречь всеми нелинейными явлениями возникающие при расчетах с учетом границы между твердой и жидкой фазами вещества, а принять допущение, что все вещество 3 в состоянии фазового перехода находится в твердой форме на границе зоны плавления (рис. 6).

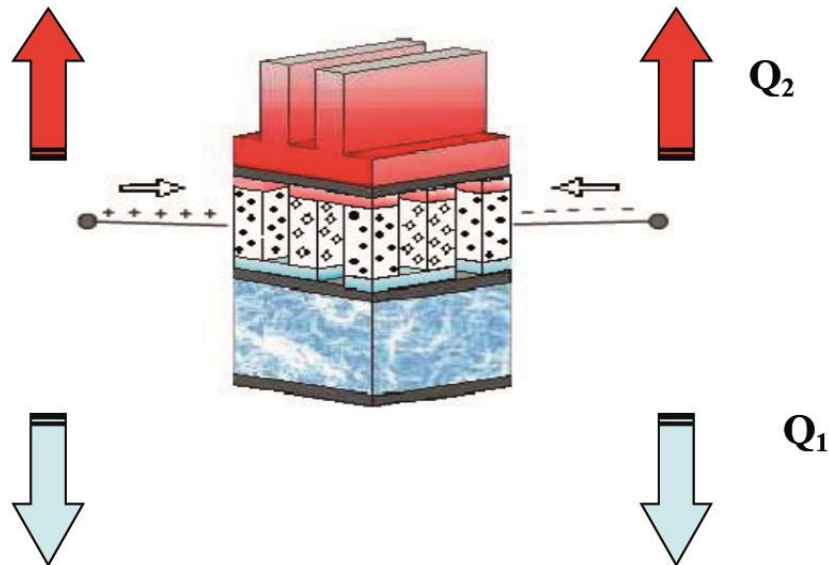


Рис. 6. Схема работы термоэлектрического модуля 2 температурного аналого-цифрового преобразователя

Fig. 6. Scheme of operation of thermoelectric module 2 of temperature analog-to-digital converter

Фактически это позволяет устранить систематические погрешности в процессе формирования теплового потока, также этот режим легко поддается калибровке. Отсюда и требования к ТЭМ 2: в его задачу входит как поддержание режима охлаждения плавящегося вещества, так и реверс тока, когда это вещество может быть нагрето до исходного состояния.

Следовательно, в задачу ТЭМ 2 входит только лишь создание опорной температуры в веществе, находящемся в фазовом состоянии перехода, для того, чтобы обеспечить нормальную работу ТЭМ 1. Отвод тепла осуществляется с помощью теплоотвода 4 в окружающую среду, но в процессе измерения теплоотвод может просто накапливать тепло, необходимое для работы измерителя в целом [18-20].

В ходе проведения теплофизических исследований необходимо измерять температуру тел, для чего в свою очередь был разработан температурный аналого-цифровой преобразователь (ТАЦП), в котором используется метод тепловой компенсации, когда к ТЭМ 1 ТЦАП добавляется еще один ТЭМ - температурный компаратор, в задачу которого входит фиксация момента равенства температур формируемой ТЭМ 1 ТЦАП и измеряемой.

Исследование можно проводить в следующей последовательности: предварительно, если известна ориентировочно температура, которую мы хотим измерить с высокой точностью, что можно сделать более грубыми измерителями (либо это известно из предыдущих циклов измерения), можно подготовить ТЭМ 1 ТЦАП к этому измерению, т.е. задать такое значение температуры в первом спале относительно второго, которое будет приблизительно равно измеряемой температуре.

Перед тем как коснуться объекта измерения, плавящее вещество необходимо также привести в исходное состояние. Для этого ТЭМ 2 ТЦАП до прикосновения к объекту измерения включается в режим охлаждения плавящегося вещества и фиксирует начало изменения температуры. Как только температура стала ниже температуры плавления, ТЭМ 2 кратковременно включается в режим нагрева плавящегося вещества, чтобы вернуть его в состояние, при

котором все плавящееся вещество находится в твердом состоянии и его температура равняется температуре плавления (рис. 5).

После чего можно прикоснуться к объекту измерения и сравнить на температурном компараторе возникновение разности потенциалов. Если разность потенциалов на температурном компараторе отсутствует, то можно констатировать факт, что температура на первом спае ТЭМ 1 ТЦАП, которая дискретно задавалась на ПЭВМ в виде двоичного кода или троичного, соответствует измеряемой температуре. Тем самым можно с высокой точностью измерить температуру в объекте измерения.

Наиболее целесообразно это делать с помощью светоизлучающего термоэлектрического устройства, которое способно практически мгновенно со скоростью света отводить энергию от своего спае в окружающую среду в виде излучения [1-4]. Чем выше частота излучения от инфракрасного до ультрафиолета, тем большие мощности можно отводить [5-6]. Причём, такое устройство позволит стабилизировать границу расплава или кипения в контейнере, находящимся в контакте с цифровым термоэлектрическим устройством. Вместо жидкости или твердого тела можно использовать фазовый переход в виде сублимации, когда вещество сразу из твердой фазы переходит в газообразную [15-17].

Такой подход ценен тем, что здесь одновременно совмещён процесс и плавления, и кипения, и недостатки одного метода компенсируется другим. При этом в энергетическом плане такое явление в 2 раза более энергоэффективно.

В качестве примера можно привести кристаллы йода, которые способны возгоняться из твёрдой фазы сразу в газообразную [8]. Термомодуль с излучением способен возвращать из газообразной фазы его опять в твёрдую фазу, поддерживая стабильный процесс преобразования и измерения [15]. Тот термомодуль, который цифровой, находится в одном контакте одним спаем с плавящимся при 0 градусов льдом воды, должен работать в условиях, когда собственный теплоперенос не осуществляется, так как компаратор в момент равенства температур не должен проводить тепло ни в одну, ни в другой сторону; при разности температур теплопроводности теплоперенос отсутствует, а, значит, он будет отсутствовать и у находящегося в контакте с ним термомодулем. Это также является положительным моментом, так как в таких условиях меньше проявляются нелинейные параметры термоэлектрических устройств [10].

Вывод. Предлагаемый датчик позволяет с высокой точностью осуществить измерения температур в широком диапазоне с малой инерционностью. Изготовить такой датчик можно по современным технологиям на 3D принтере микроскопических размеров. Это также снизит инерционность работы таких датчиков; количество таких датчиков можно сделать очень большим на единицу площади, и такие датчики позволят измерять температуру не в одной точке, а на поверхности, увеличивая точность со статистической точки зрения. Перспективными областями применения таких датчиков является медицина, гражданская и военная техника, космонавтика.

Библиографический список:

1. Патент РФ №2405230, МПК: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Способ отвода тепла от тепловыделяющих электронных компонентов в виде излучения / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.//опубл. 27.11.2010. Бюл. №33.
2. Патент РФ №2487436. Светотранзистор/ Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.//опубл. 10.07.2013. Бюл. №19
3. Патент РФ на изобретение №2507613. Каскадное светоизлучающее термоэлектрическое устройство / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.//опубл. 20.02.2014. Бюл. №5.
4. Патент РФ на изобретение №2507632. Светотранзистор с высоким быстродействием / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д., Юсуфов Ш.А.//опубл. 20.02.2014.
5. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. СПб.: Политехника, 2005.
6. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Охлаждение радиоэлектронных систем: учебное пособие. Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2012. 165 с.
7. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Термоэлектрическое охлаждение тепловыделяющих компонентов микроэлектронной техники. М.: «Академия», 2012; 136 с.

8. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М. Тонкопленочные термоэлектрические устройства с отводом тепла в виде излучения для охлаждения микросистемной техники // Научное приборостроение. 2013. Т.23. №3. С.120-124.
9. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. Высокоэффективные полупроводниковые термоэлектрические устройства и приборы. Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2014. 112 с.
10. Исмаилов Т.А. Гаджиев Х.М. Микроэлектронные компоненты с интегральным использованием эффекта Пельтье и оптического излучения. Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВО «ДГТУ», 2015. 112 с.
11. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Магомедова П.А., Челушкина Т.А. Энергоэффективный теплоотвод на основе многокаскадного термоэлектрического устройства с применением диодов Ганна // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. Т. 39. № 4. С. 14-20.
12. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А. Применение полупроводниковых термоэлектрических устройств для охлаждения тепловыделяющих компонентов цифровых активных фазированных антенных решеток // Неделя науки - 2016. Материалы XXXVII итоговой научно-технической конференции ДГТУ. 2016. С. 56-57.
13. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Магомедова П.А., Челушкин Д.А. Энергоэффективный полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос спирального типа // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. Т. 41. № 2. С. 49-60.
14. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Т.2. Термоэлектрические преобразователи энергии. Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. 386 с.
15. Вихрова О. В., Данилов Ю. А., Дроздов Ю. Н., Звонков Б. Н., Iikawa F., Brasil M. J. S. P. Свойства квантово-размерных структур GaAs/InGaAs, содержащих δ -Mn-легированные слои // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. № 2. С. 9-12.
16. Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Шкурко А.С. Излучающие полупроводниковые электронные приборы в цифровых активных фазированных антенных решетках // Перспективы модернизации современной науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2015. С. 14-15.
17. Дмитриев А. И., Таланцев А. Д., Зайцев С. В., Данилов Ю. А., Дорохин М. В., Звонков Б. Н., Коплак О. В., Моргунов Р. Б. Фотолюминесцентный отклик квантовой ямы на изменение магнитного поля δ -слоя Mn в гетероструктурах InGaAs/GaAs // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2011. Т. 140. № 1. С. 158-169.
18. Дорохин М. В., Данилов Ю. А. Измерение поляризационных характеристик излучения наногетероструктур: учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011.
19. Holub M., Bhattacharya P. Spin-polarized light-emitting diodes and lasers. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2007. Vol. 40. No. 2. pp. R179-R203.
20. Govorov A. O., Kalameitsev A. V. Optical properties of a semiconductor quantum dot with a single magnetic impurity: photoinduced spin orientation. *Physical Review B*. 2005. Vol. 71. No. 3. pp. 035338-1-5.

References:

1. RF patent No. 2405230, IPC: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Method for removing heat from heat-generating electronic components in the form of radiation / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Publ. 11/27/2010. Bul. No. 33. (In Russ)
2. RF patent №2487436. Light transistor / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // Publ. 10.07.2013. Bul. No. 19(In Russ)
3. RF patent for invention №2507613. Cascade light-emitting thermoelectric device .Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. publ. 02/20/2014. Bul. No. 5. (In Russ)
4. RF patent for invention №2507632. Light transistor with high speed. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Nezhvedilov T.D., Yusufov Sh.A., publ. 02/20/2014. (In Russ)
5. Ismailov T.A. Thermoelectric semiconductor devices and heat transfer intensifiers. SPb .:[Politekhnik] *Polytechnic*, 2005. (In Russ)
6. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Cooling of radio electronic systems: a tutorial. Makhachkala: IPC DSTU, 2012 . 165 p. (In Russ)
7. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Thermoelectric cooling of heat-generating components of microelectronic technology. M .: *Academy*, 2012; 136. (In Russ)
8. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Thin-film thermoelectric devices with heat removal in the form of radiation for cooling microsystem technology. *Scientific instrument-making*. 2013; 23 (3): 120-124. (In Russ)
9. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Highly efficient semiconductor thermoelectric devices and devices. Makhachkala: IPC FGBOU VPO "DSTU", 2014; 112. (In Russ)
10. Ismailov T.A. Gadzhiev Kh.M. Microelectronic components with integrated use of the Peltier effect and optical radiation. - Makhachkala: IPC FGBOU VO "DSTU", 2015; 112. (In Russ)
11. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Magomedova P.A., Chelushkina T.A. Energy-efficient heat removal based on a multistage thermoelectric device using Gunn diodes. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2015; 39(4): 14-20. (In Russ)
12. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Chelushkina T.A. Application of semiconductor thermoelectric devices for cooling the heat-generating components of digital active phased antenna arrays. *Science Week - 2016. Materials of the XXXVII final scientific and technical conference of DSTU*. 2016; 56-57. (In Russ)
13. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Magomedova P.A., Chelushkin D.A. Energy efficient semiconductor thermoelectric heat pump of spiral type. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2016; 41 (2): 49-60. (In Russ)
14. Anatyuchuk L.I. *Thermoelectricity*. T.2. Thermoelectric energy converters. Kiev, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity, 2003; 386.
15. Vikhrova O.V., Danilov Yu. A., Drozdov Yu. N., Zvonkov B.N., Iikawa F., Brasil MJSP Properties of quantum-well GaAs / InGaAs structures containing δ <Mn> -doped layers . *Surface. X-ray, synchrotron and neutron research*. 2007; 2: 9-12. (In Russ)
16. Gadzhiev Kh.M., Chelushkina T.A., Shkurko A.S. Radiating semiconductor electronic devices in digital active phased antenna arrays. Perspectives of modernization of modern science. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. 2015; 14-15. (In Russ)

17. Dmitriev A.I., Talantsev A.D., Zaitsev S.V., Danilov Yu.A., Dorokhin M.V., Zvonkov B.N., Koplak O.V., Morgunov R.B. Photoluminescent Response of a quantum well to a change in the magnetic field of the Mn δ -layer in InGaAs / GaAs heterostructures. [Zhurnal eksperimental'noy i teoreticheskoy fiziki] *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. 2011; 140(1): 158-169.
18. Dorokhin M.V., Danilov Yu. A. Measurement of polarization characteristics of radiation of nanoheterostructures: a training manual. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2011. (In Russ)
19. Holub M., Bhattacharya P. Spin-polarized light-emitting diodes and lasers. [Journal of Physics D] *Applied Physics Journal of Physics D: Applied Physics*. 2007; 40 (2): R179-R203.
20. Govorov A. O., Kalameitsev A. V. Optical properties of a semiconductor quantum dot with a single magnetic impurity: photoinduced spin orientation. [Journal of Physics D] *Physical Review B*. 2005; 71(3): 035338-1-5.

Сведения об авторах:

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

Челушкина Татьяна Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники, tatyana.chelushkina@yandex.ru

Гаджиев Даниял Солтанович, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники, Danik.g.s@mail.ru

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

Курбанов Ислам Магомедович, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники, m.i.kurbanow@mail.ru

Information about authors:

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

Tatyana A. Chelushkina, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics, tatyana.chelushkina@yandex.ru

Daniyal S. Gadzhiev, Postgraduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering, Danik.g.s@mail.ru

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

Islam M. Kurbanov, Postgraduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering, m.i.kurbanow@mail.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 13.10.2021.

Одобрена после рецензирования / Revised 02.11.2021.

Принята в печать /Accepted for publication 03.11.2021.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING
УДК 621.362
DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-16-26

Оригинальная статья / Original Paper

Оптимизация тепловых режимов резонаторов сверхвысокочастотных цифровых активных фазированных антенных решеток
Х.М. Гаджиев, А.А. Акимов, Э.А. Абдурафиков, Р.Ш. Асалиев, А.М. Магомедов
Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является моделирование резонаторов для сверхвысокочастотных цифровых активных фазированных антенных решеток (ЦАФАР) сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона, что позволит оптимизировать параметры антенной системы для более достоверной пеленгации с высокой надежностью любых летательных аппаратов. **Метод.** Использование в качестве резонаторов односторонних поверхностей в форме Мебиуса позволяют реализовать новый тип резонаторов СВЧ диапазона в виде интегрированной ёмкости и двухвитковой индуктивности. Параметры такого резонатора позволяют реализовать бегущую или стоячую волну в зависимости от геометрических размеров. **Результат.** Применение инновационных резонаторов для сверхвысокочастотных цифровых активных фазированных антенных решеток СВЧ диапазона с р-і-п диодами для изменения площади конденсатора позволяет реализовать двухчастотный метод кодово-импульсной модуляции. На основе таких резонаторов можно при одном положении р-і-п диодов реализовать стоячую волну, а при другом, бегущую волну. Такие электромагнитные волны, передаваясь ЦАФАР, могут запеленговать объекты в режиме невидимости. **Вывод.** К применению традиционных резонаторов для ЦАФАР СВЧ диапазона позволяет дискретно регулировать параметры этих резонаторов за счёт включения - выключения р-і-п диодов положительным и отрицательным напряжением для управления частотными свойствами резонаторов и задания режимов бегущей или стоячей волны.

Ключевые слова: резонатор, радиолокация, цифровая активная фазированная антенная решетка, тепловой режим, электромагнитное излучение, линия задержки

Для цитирования: Х.М. Гаджиев, А.А. Акимов, Э.А. Абдурафиков, Р.Ш. Асалиев, А.М. Магомедов. Оптимизация тепловых режимов резонаторов сверхвысокочастотных цифровых активных фазированных антенных решеток. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 16-26. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-16-26

**Optimization of thermal regimes of microwave resonators
digital active phased array antenna**
Kh.M. Gadzhiev, A.A. Akimov, E.A. Abdurafikov, R. Sh. Asaliev, A.M. Magomedov
Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to simulate resonators for microwave digital active phased antenna arrays (DFAAR) in the microwave range, which will optimize the parameters of the antenna system for more reliable direction finding with high reliability of any aircraft. **Method.** The use of one-sided surfaces in the Mobius shape as resonators makes it possible to implement a new type of microwave resonators in the form of an integrated capacitance and a two-turn inductance. The parameters of such a resonator make it possible to realize a traveling or standing wave, depending on the geometric dimensions. **Result.** The use of innovative resonators for microwave DFAAR with p-i-

n diodes to change the area of the capacitor makes it possible to implement a two-frequency method of pulse-code modulation. On the basis of such resonators, it is possible to realize a standing wave at one position of the p-i-n diodes, and a traveling wave at the other. Such electromagnetic waves, transmitted by the DFAAR, can track objects in the stealth mode. **Conclusion.** The use of traditional resonators for DFAAR of the microwave range allows you to discretely adjust the parameters of these resonators by turning on / off p-i-n diodes with positive and negative voltages to control the frequency properties of the resonators and set the traveling or standing wave modes.

Keywords: resonator, radar, digital active phased antenna array (DFAAR), thermal conditions, electromagnetic radiation, delay line

For citation: Kh.M. Gadzhiev, A.A. Akimov, E.A. Abdurafikov, R.Sh. Asaliev, A.M. Magomedov. Optimization of thermal regimes of microwave resonators digital active phased array antenna. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (4): 16-26. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-16-26

Введение. В современном мире огромную роль играют транспортные средства, перемещающиеся как по земле, так по воде и воздуху, а также в космическом пространстве. Одним из важных факторов перемещения в пространстве является определение точных координат и согласование своих траекторий движения с окружающими транспортными средствами. Для этого существуют различные способы по определению координат на местности для распределения транспортных потоков. Наиболее часто применяется способ радиолокации [1-6].

Современный радиолокатор представляет очень сложное устройство с широкими функциональными возможностями [7,15-21]. Вершиной в этой области является цифровая активная фазированная антенная решетка (ЦАФАР) [8,9], позволяющая за счет электронного сканирования охватить заданный участок небосклона и определить одновременно несколько целей, распределив их по отдельным зонам своей поверхности.

Функционирует ЦАФАР следующим образом: приёмо-передающие модули расположены на плоскости в заданных точках таким образом, что принимает и передает сигнал при помощи электронных задержек [10].

Диаграмма направленности может быть наклонена в любом направлении. Это осуществляется за счет интерференции излучаемых или принимаемых волн [11]. Такой способ имеет определенные недостатки и преимущества. В качестве достоинств можно сказать, что осуществляется быстрая перестройка с пеленгуемых целей в любом направлении [9].

Электронное управление линией задержки позволяет процессору осуществлять сканирование небесного свода в заданном секторе для определения различных целей. Таким образом, основные составные элементы ЦАФАР - это приёмо-передающие устройства с входными цепями вибраторами, расположенными в плоскости; это модуляторы для цифровых решеток, кодово-импульсные модуляторы по частоте, амплитуде или фазе, или фазо-манипулированному сигналу и это линии задержки, позволяющие осуществить в электронном виде более поздний или более ранний прием или передачу радиосигнала с вибраторов [10]. Такой подход является традиционным развитием обычных параболических локаторов или локаторов другой формы (рупорный, спиральный и т.д.) [8].

Постановка задачи. Современные технологии позволяют реализовать инновационные электронные структуры за счет применения 3D принтеров и новых принципов модуляции [14]. Так, например, большой интерес представляют односторонние поверхности в форме листа Мебиуса [13]. Если изготовить входную цепь ЦАФАР в форме такой односторонней поверхности, то можно таким образом подобрать распределенные параметры емкости и индуктивности, что резонансная частота сможет уложиться целое четное или не четное количество полуволн для того, чтобы создать режим бегущей волны или стоячей волны [12]. Также с помощью применения *p-i-n*-диодов можно таким образом изменять параметры резонатора, что емкость может быть увеличена или уменьшена дискретно, тем самым, можно реализовать два режима работы колебательного контура с большей частотой и меньшей частотой, т.е. осуществить кодо-

во-импульсную частотную модуляцию. Причем частота контура может быть изменена таким образом, что на одной частоте в контуре будет создаваться стоячая волна, а на другой частоте - бегущая волна [7].

Эти режимы будут отличаться тем, что излучаемая электромагнитная волна из этого контура будет иметь либо стационарный характер, либо плоскость поляризации этой волны будет совершать круговое вращение, которое не позволит обычным приемным структурам осуществить пеленгацию этого сигнала, а для этого потребуются только аналогичные структуры, позволяющие принять вращающийся поляризационный сигнал, т.е. такой локатор на основе таких резонаторов способен передавать и принимать сигналы незаметно для локаторов других систем и конструкций [7].

Методы исследования. Резонатор представляет собой замкнутую поверхность Мебиуса, образованную микрополосковой структурой в виде металл-диэлектрик-металл, представленную на рис. 1. Такой конструкцией решается техническая задача повышения резонансных характеристик колебательного контура в режимах бегущей и стоячей волны с изменением плоскости поляризации электромагнитного колебания.

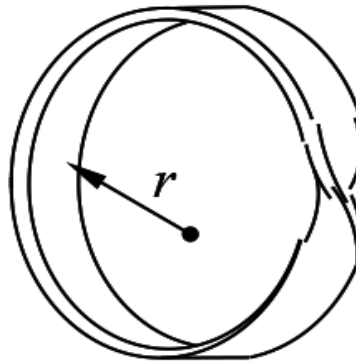


Рис. 1. Резонатор в виде замкнутой поверхности Мебиуса, образованной микрополосковой структурой в виде металл-диэлектрик-металл

Fig. 1. A resonator in the form of a closed Möbius surface formed by a microstrip structure in the form of a metal-dielectric-metal

В резонаторе используется поверхность Мебиуса структуры металл-диэлектрик-металл, причем в каждом поперечном сечении такой поверхности имеется емкостная составляющая, образованная прямоугольным диэлектриком, покрытого с двух противоположных сторон металлическими обкладками. Замыкание в виде односторонней поверхности Мебиуса из этих двух металлических обкладок формирует одну металлическую обкладку в виде двух витков короткозамкнутой индуктивности.

Резонатор сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний в виде поверхности Мебиуса структуры металл-диэлектрик-металл представляет собой замкнутую микрополосковую структуру с перекрученными обкладками на один поворот 180 градусов.

На рис. 2 изображен разрез кольца Мебиуса, на котором показаны геометрические размеры в виде радиуса поперечного сечения r и обозначена половина длины витка индуктивности в виде $l/2$. Также показано, как металлические обкладки 1 вокруг диэлектрического слоя 2 формируют емкостную составляющую контура, и таким образом внешняя обкладка переходит во внутреннюю, а внутренняя во внешнюю. При этом две металлические обкладки превращаются в одну, которая имеет форму индуктивности, состоящей из двух витков, замкнутых друг на друга. Кроме того, показано каким образом р-и-п-диоды позволяют подключать или отключать дополнительную обкладку. Лента Мебиуса может быть уже (диоды закрыты) или шире (диоды открыты) в зависимости от полярности поданного постоянного напряжения на диоды между внутренней основной и внешней дополнительной обкладками.

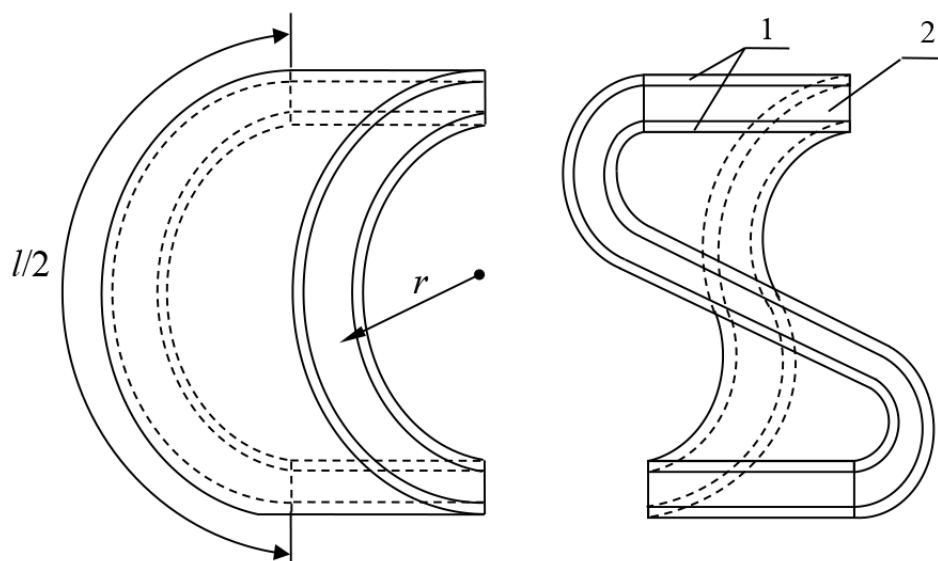


Рис. 2. Разрез кольца Мебиуса с геометрическими размерами в виде радиуса поперечного сечения r и половины длины витка индуктивности в виде $l/2$

Fig. 2. Section of the Moebius ring with geometric dimensions in the form of the cross-sectional radius r and half the length of the inductance loop in the form of $l/2$

На рис. 3 поясняется формирование колебательного контура из емкости и двухвитковой индуктивности и приведены толщина h и ширина d емкости с указанием металлической обкладки 1 и диэлектрического слоя 2.

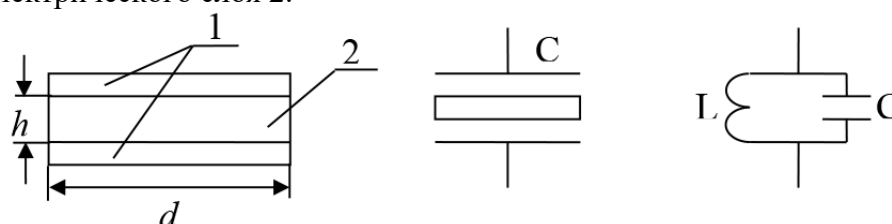


Рис. 3. Формирование колебательного контура из емкости C и двухвитковой индуктивности L , где толщина h и ширина d емкости с указанием металлической обкладки 1 и диэлектрического слоя 2

Fig. 3. Formation of an oscillatory circuit from a capacitance C and a two-turn inductance L , where the thickness h and width d of the capacitance, indicating the metal plate 1 and dielectric layer 2

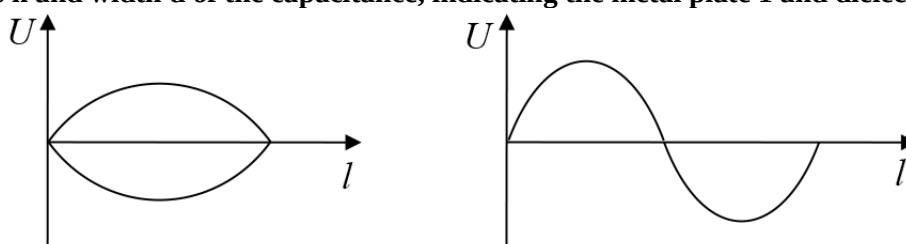


Рис. 4. Виды колебаний: стоячая и бегущая волны

Fig. 4. Vibration modes: standing and traveling waves

На рис. 4 изображены оба вида колебаний: стоячая и бегущая волны. По оси абсцисс откладывается длина двухвитковой индуктивности, а по оси ординат откладывается уровень генерируемого колебания. Изменение индуктивности будет сопровождаться изменениями и емкости контура, т.к. все параметры индуктивности одновременно являются и параметрами емкости. Некоторые параметры емкости могут быть изменены без влияния на величину индуктивности, так, при изменении ширины или толщины диэлектрика и обкладок, параметры индуктивности будут сохраняться, а у емкости будут изменяться.

Таким образом, имеется возможность независимого подбора частоты электромагнитных колебаний в резонаторе за счет изменения отдельно параметров емкости. Расчет электрофизических параметров резонатора (индуктивности, емкости и частоты) можно провести по следующим формулам [7]:

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 \cdot S}{l}, \quad (1)$$

где L – индуктивность, μ_0 – магнитная постоянная, μ – относительная магнитная проницаемость, N – число витков, S – площадь сечения контура, l – длина катушки.

$$\text{Если} \quad S = \pi \cdot r^2, \quad (2)$$

$$l = 2 \cdot \pi \cdot r \Rightarrow r = \frac{l}{2\pi}, \quad (3)$$

тогда, после подстановки получим:

$$S = \frac{\pi \cdot l^2}{4\pi^2} = \frac{l^2}{4\pi}. \quad (4)$$

Подставив данное значение в формулу (1) индуктивности для $N=2$ виткам, получим:

$$L = \mu_0 \mu \frac{2^2 \cdot \frac{l^2}{4\pi}}{l} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot l}{\pi}. \quad (5)$$

Емкость колебательного контура резонатора равна:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l \cdot d}{h}, \quad (6)$$

где C – емкость, ε – диэлектрическая проницаемость, ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, h – толщина диэлектрика, l – длина обкладки, d – ширина обкладки емкости.

Подставляя эти значения в формулу по вычислению частоты колебательного контура

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (7)$$

получим:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l^2 \cdot d}{\pi \cdot h}}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{h}{\pi \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot d}}. \quad (8)$$

С учетом формулы скорости электромагнитных колебаний

$$c = \lambda \cdot f \quad (9)$$

можно найти длину волны:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{\frac{c}{1}}{\frac{1}{2 \cdot l} \sqrt{\frac{h}{\pi \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot d}}} = 2c \cdot l \sqrt{\frac{\pi \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot d}{h}}. \quad (10)$$

Таким образом, можно определить длину волны колебания и сравнить ее с размерами резонатора для подбора либо режима бегущей волны, либо режима стоячей волны. После расчета требуемых параметров резонатора СВЧ, его можно изготовить при помощи аддитивных технологий на 3D принтере.

Обсуждение результатов. Резонатор сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний в виде поверхности Мебиуса структуры металл-диэлектрик-металл может быть применен в системах связи и радиолокации [9]. Целесообразно использовать резонатор во входных цепях ЦАФАР. Причем важным преимуществом является то, что электромагнитные колебания такого

контура могут быть восприняты аналогичным контуром, а не традиционными резонаторами СВЧ диапазона, что позволит защитить передаваемую и принимаемую информацию от помех и несанкционированного доступа.

Рассмотрим ещё один частный случай применения односторонних поверхностей Мебиуса, предназначенных для генерации, преобразования, приема и передачи электромагнитных колебаний с кодово-импульсной модуляцией частоты.

Данный контур представляет полноценный колебательный контур, состоящий из емкости и индуктивности с возможностью изменения величины емкости для дискретного изменения частоты колебаний. Особенностью представленного модулятора является его способность генерировать стоячую или бегущую волну при кодово-импульсной модуляции за счет изменения емкостных характеристик колебательного контура в виде двух структур металл-диэлектрик-металл с возможностью их объединения или разъединения при помощи $p-i-n$ -диодов.

Модулятор представляет собой замкнутую поверхность Мебиуса, образованную многослойной структурой в виде металл-диэлектрик-металл- $p-i-n$ -диоды-металл-диэлектрик-металл, представленную на рис. 2 (геометрические размеры обозначены как радиус поперечного сечения r и половина длины витка индуктивности в виде $l/2$). Изменение резонансных характеристик в режимах бегущей и стоячей волны происходит за счет подключения или отключения дополнительных обкладок к емкости в модуляторе при помощи $p-i-n$ -диодов.

В модуляторе используется поверхность Мебиуса многослойной структуры металл-диэлектрик-металл- $p-i-n$ -диоды-металл-диэлектрик-металл, причем в каждом сечении такой поверхности имеется емкостная составляющая, образованная прямоугольным диэлектриком, с двух противоположных сторон покрытых металлическими обкладками.

Через $p-i-n$ -диоды имеется возможность подключения или отключения дополнительной обкладки таким образом, что емкость будет дискретно увеличиваться или уменьшаться (индуктивность при этом будет оставаться неизменной). Замыкание в виде односторонней поверхности Мебиуса из этих двух металлических обкладок формирует одну металлическую обкладку в виде двух витков короткозамкнутой индуктивности.

На рис. 5 поясняется формирование колебательного контура из емкости и двухвитковой индуктивности с применением $p-i-n$ -диодов для осуществления технического результата в виде изменения резонансных характеристик в режимах бегущей и стоячей волны за счет подключения или отключения дополнительных обкладок к емкости в модуляторе при помощи $p-i-n$ -диодов.

Работает модулятор следующим образом: в любом сечении модулятора присутствует емкостная компонента в виде двух металлических обкладок 1 по противоположным сторонам диэлектрической поверхности 2. Величина емкости зависит от диэлектрической проницаемости изолятора его толщины h (расстояние между металлическими обкладками), ширины обкладок d и длины l , причем длина обкладки соответствует длине одного витка контура. При открытых $p-i-n$ -диодах обкладка будет шире на величину Δd , а емкость больше.

Индуктивность представляет собой двухвитковую короткозамкнутую конструкцию соленоида, индуцирующего магнитное поле в зависимости от магнитной проницаемости диэлектрика, величины поперечного сечения контура и длины металлической обкладки. Индуктивность и емкость формируют совместно колебательный контур.

В зависимости от геометрических размеров контура в нем генерируются либо бегущая волна (если по длине обкладки помещается целая волна колебания), либо стоячая волна (если по длине обкладки помещается половина волны колебания).

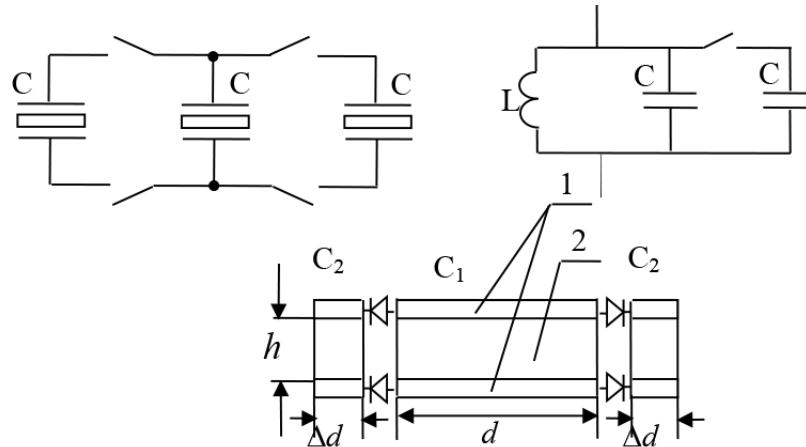


Рис. 5. Формирование колебательного контура из емкости и двухвитковой индуктивности с применением *p-i-n*-диодов

Fig. 5. Formation of an oscillatory circuit from a capacitance and a two-turn inductance using *p-i-n*-diodes

Так как ширина обкладки не влияет на индуктивность, то открыты или закрыты *p-i-n*-диоды, также не влияет на величину индуктивности. Индуктивность и емкость формируют совместно колебательный контур. При изменении ширины или толщины диэлектрика и обкладок параметры индуктивности будут сохраняться, а у емкости будут изменяться.

Таким образом, имеется возможность независимого подбора частоты электромагнитных колебаний в модуляторе. За счет подключения дополнительной обкладки при помощи *p-i-n*-диодов, емкость может быть дискретно изменена, что, в свою очередь, приведет к изменению резонансной частоты контура и позволит реализовать кодово-импульсную частотную модуляцию.

Модулятор сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний в виде поверхности Мебиуса многослойной структуры металл-диэлектрик-металл-*p-i-n*-диоды-металл-диэлектрик-металл с дискретным изменением частоты колебаний может быть применен в системах связи и радиолокации [2]. Целесообразно использовать модулятор во входных цепях ЦАФАР.

Также применение односторонних поверхностей Мебиуса возможно в линиях задержки электромагнитных колебаний в составе ЦАФАР в виде связанных колебательных контуров с индукционной и емкостной связью в форме многослойной односторонней поверхности Мебиуса [12].

Особенностью заявленных связанных колебательных контуров сверхвысокочастотного диапазона в виде многослойной поверхности Мебиуса является высокая степень индукционной и емкостной связи, позволяющей повысить резонансные характеристики связанных контуров при использовании в линиях задержки в составе ЦАФАР.

Техническим результатом является увеличение добротности резонансной системы из двух связанных колебательных контура за счет более высокой степени индуктивной и емкостной связи.

Указанный технический результат достигается тем, что связанные колебательные контура в виде поверхности Мебиуса имеют структуру металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл. Причем в каждом сечении такой поверхности имеется емкостная составляющая, образованная прямоугольным диэлектриком с двух противоположных сторон, покрытых металлическими обкладками для каждого из двух контуров. Замыкание в виде односторонней поверхности Мебиуса из этих двух металлических обкладок формирует одну металлическую обкладку в виде двух витков короткозамкнутой индуктивности для каждого из двух контуров.

Связанные колебательные контура представляют собой замкнутую многослойную поверхность Мебиуса, образованную микрополосковой структурой в виде металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл, представленную на рис. 6, а в виде первой по-

ловины кольца Мебиуса с завитком (на 180 градусов) и на рис. 6, б в виде второй половины – без завитка.

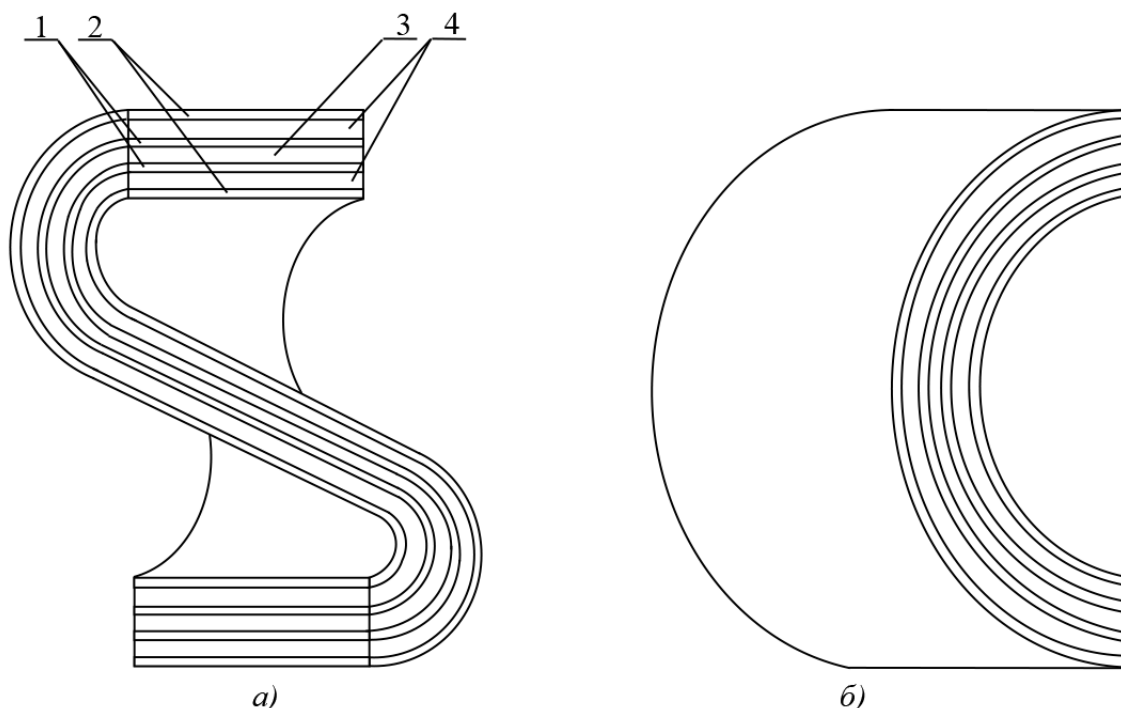


Рис. 6. Связанные колебательные контура в виде замкнутой многослойной поверхности Мебиуса, образованной микрополосковой структурой в виде металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл:

а - в виде первой половины кольца Мебиуса с завитком (на 180 градусов);

б - в виде второй половины кольца Мебиуса без завитка

Fig. 6. Coupled oscillatory circuits in the form of a closed multilayer Mobius surface formed by a microstrip structure in the form of metal-dielectric-metal-dielectric-metal-dielectric-metal:

a - in the form of the first half of the Mobius ring with a curl (180 degrees);

b - in the form of the second half of the Mobius ring without curl

Топологически конструкции колебательных контуров представляют собой две многослойные поверхности Мебиуса, вложенные друг в друга, причем один контур расположен внутри другого таким образом, что внутренний контур полностью обхватывается внешним контуром. Связанные колебательные контура реализуют одновременно индуктивную и емкостную связи за счет того, что конструктивно два витка обоих индуктивностей и все обкладки емкостей расположены в пространстве таким образом, что общими являются магнитные поля индуктивностей и электрические поля емкостей.

На рис. 6 показан внутренний контур, сформированный из двух металлических обкладок 1 и диэлектрика между ними 3. В каждом сечении внутреннего контура имеется емкостная составляющая, а изготовление в виде односторонней многослойной поверхности Мебиуса, превращает обкладки конденсатора в два витка индуктивности (замкнутые друг на друга) за счет поворота поверхности на 180 градусов.

Таким образом, первый контур, состоящий из металлических обкладок 1 и диэлектрика 3, имеет свойство параллельного колебательного контура LC . На рис. 6 показан внешний контур, сформированный из металлических обкладок 2 и диэлектрических поверхностей между ними 4. Внешний контур также как и внутренний обладает резонансными характеристиками. Двухвитковая индуктивность внешнего контура в точности соответствует двухвитковой индуктивности внутреннего контура, и их магнитные поля копируют друг друга.

Емкостная составляющая внутреннего и внешнего связанных контуров имеет отличия. Величина емкости зависит от площади обкладок, расстояния между обкладками и диэлектриче-

ской проницаемости среды между обкладками. Площадь обкладок у обоих контуров практически одинакова, а вот расстояние между обкладками различно. Емкость внутреннего контура зависит от толщины диэлектрического слоя 3, а емкость внешнего контура зависит и от толщины диэлектрического слоя 3, и от двукратной толщины диэлектрического слоя 4 (влиянием металлических обкладок 1 можно пренебречь). Подбор диэлектрических материалов и толщины диэлектрических поверхностей обоих контуров позволяет изготовить связанные контуры с одинаковыми резонансными частотами или отличающимися друг от друга в зависимости от предъявленных требований. Помимо индуктивной связи между контурами существует многократная емкостная связь между обкладками конденсаторов.

На рис.7 приведена схема замещения, на которой показаны все типы индуктивной и емкостной связей. Связанные колебательные контура сверхвысокочастотного диапазона в виде многослойной поверхности Мебиуса можно изготовить при помощи аддитивных технологий на 3D принтере [14].

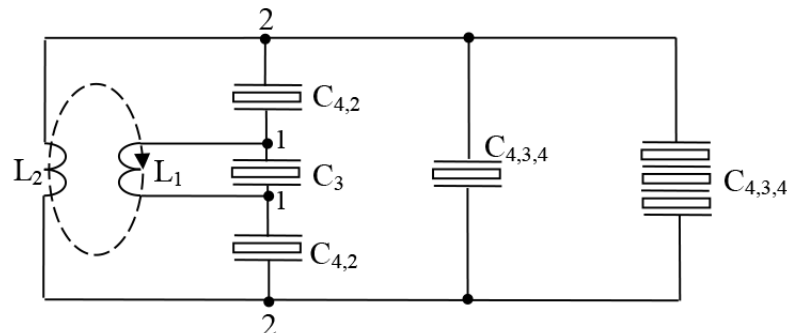


Рис. 7. Схема замещения со всеми типами индуктивной и емкостной связей

Fig. 7. Equivalent circuit with all types of inductive and capacitive coupling

Связанные колебательные контура сверхвысокочастотного диапазона в виде многослойной поверхности Мебиуса структуры металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл могут быть применены в системах связи и радиолокации [2]. Целесообразно использовать связанные колебательные контуры в линиях задержки ЦАФАР.

Вывод. Реализация ЦАФАР на базе резонансных структур в виде односторонних поверхностей типа Мебиус позволяет инновационно модернизировать как входную цепь антенной фазированной решетки, так и модулятор на $p-i-n$ -диодах для осуществления цифровой частотной модуляции с реализацией режимов бегущей и стоящей волны, так и усовершенствовать и сделать более компактными линии задержки на базе вложенных контуров с эффектом трансформации. Инновационная ЦАФАР будет способна осуществлять приём-передачу сигналов незаметно для обычных антенных структур, тем самым осуществляя скрытное наблюдение за небесной сферой, что является важным преимуществом при ведении боевых действий.

Библиографический список:

1. Патент RU №2358284. МПК: G01S 13/08. Устройство устранения неоднозначных измерений дальности до целей, находящихся за пределами рабочей зоны радиолокационной станции / Беляков Е.С., Кострова Т.Г., Антуфьев Р.В., Костров В.В.//опубл. 10.06.2009. Бюл. №16.
2. Патент RU №2149421. МПК: G01S 13/04. Способ радиолокационного обнаружения и сопровождения объектов и РЛС для его реализации / Беляев Б.Г., Голубев Г.Н., Жибинов В.А., Щекотов Ю.П.//опубл. 20.05.2000. Бюл. №14.
3. Патент RU №2389039. МПК: G01S 13/58. Способ измерения радиальной скорости воздушной цели в режиме перестройки частоты от импульса к импульсу по случайному закону при пониженном отношении сигнал-шум / Митрофанов Д.Г., Силаев Н.В., Майоров Д.А., Тулузаков В.Г., Немцов А.В.//опубл. 20.05.2010. Бюл. №13.
4. Патент RU №2341813. МПК: G01S 13/04. Подвижная наземная двухкоординатная РЛС кругового обзора метрового диапазона/ Башев В.В., Грачев О.Д., Зачепицкий А.А., Зяблов Н.Е., Кокурошников С.М., Малков М.А.// опубл. 20.12.2008. Бюл. №35.
5. Патент RU №2302077. МПК: H04B 1/04. Способ обработки сигнала / Анташев А.Б., Анташев В.Б., Анташев Д.А., Анташев П.В.//опубл. 27.06.2007. Бюл. №18.
6. Патент RU №2326401. МПК: G01S 13/34, H04D 7/00. Способ обнаружения сигнала / Анташев А.Б., Анташев В.Б., Анташев Д.А., Анташев П.В., Дементьев Р.С.//опубл. 10.06.2008. Бюл. №16.
7. Патент РФ № 2616440, МПК H03C 7/02. Кодово-импульсный модулятор сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний в виде многослойной поверхности Мебиуса с $p-i-n$ -диодами / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Крячко А.Ф., Шкурко А.С., Челушкин Д.А.//опубл. 14.04.2017, Бюл. №11.

8. Патент РФ № 2627983, МПК H01Q 15/18. Антенна в форме углового отражателя сверхвысокочастотного диапазона с р-і-п-диодами для передачи дискретной информации / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Крячко А.Ф., Магомедов С.М., Шкурко А.С. //опубл. 22.05.2017, Бюл. №23.
9. Патент РФ № 2642515, МПК H01Q 3/00. Способ формирования эллиптической диаграммы направленности для активной фазированной антенной решетки / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Крячко А.Ф., Саркаров Т.Э., Шкурко А.С. //опубл. 26.01.2018, Бюл. №3.
10. Патент РФ № 2680850, МПК H01Q 3/00, B64G 1/10. Способ формирования эллиптической диаграммы направленности цифровой активной фазированной антенной решетки на базе «стаи» микроспутников с применением сверхрегенеративных приемопередающих устройств / Гаджиев Х.М., Иванченко А.А., Челушкина Т.А., Акимов А.А., Темирханов Р.С. //опубл. 28.02.2019, Бюл. №7.
11. Патент РФ № 2684664, МПК G01S 15/02. Программно-управляемая гидроакустическая ЦАФАР на базе «стаи» морских микродронов / Гаджиев Х.М., Иванченко А.А., Челушкина Т.А., Астахов М.И., Максимов А.Г., Акимов А.А. //опубл. 11.04.2019, Бюл. №11.
12. Патент РФ № 2690693, МПК H01P 1/00. Фрактальные взаимосвязанные резонаторы сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний в виде диэлектрических трехгранных односторонних поверхностей с металлическими обкладками / Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Иванченко Ж.Е., Иванченко М.А. //опубл. 05.06.2019, Бюл. №16.
13. Патент РФ № 2701047, МПК H03C 7/02. Резонатор сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний в виде диэлектрической трехгранной односторонней поверхности с металлическими обкладками / Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Иванченко Ж.Е., Иванченко М.А. //опубл. 24.09.2019, Бюл. №27.
14. Патент РФ № 2702019, МПК B41J 2/003. D-принтер для печати изделий, состоящих из различных по электрофизическим свойствам материалов / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Каблов Е.Н., Челушкина Т.А., Шкурко А.С. //опубл. 03.10.2019, Бюл. №28.
15. Вопросы перспективной радиолокации. Под ред. Соколова М. М.: Радиотехника. 2003. 512 с.
16. Перунов Ю.М., Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба: радиотехническая разведка. М.: Вузовская книга. 2016. 190 с.
17. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. М.: Радиотехника. 2009. 288 с.
18. Литвинов Н.Н., Лаврентьев А.М. Анализ. Возможности маскировки зондирующих сигналов радиолокационных станций группировки противовоздушной обороны //Вестник воздушно-космической обороны. М.: ПАО «НПО «Алмаз». 2017. № 1 (13). С. 38-43.
19. Sobolev V.S., Feshenko A.A. Accurate Cramer-Rao Bounds for a Laser Doppler anemometer//IEEE transactions on instrumentation and measurement. 2006. Vol. 55. № 2. pp. 659-665.
20. Parkinson B., Spilker J. Global Positioning System: Theory and Practice. V. I, II. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1996.
21. Rodrigo F. Leandro. Precise point positioning with GPS a new approach for positioning, atmospheric studies, and signal analysis//Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick. 2009.

References:

1. Patent RU No. 2358284. IPC: G01S 13/08. Device for eliminating ambiguous range measurements to targets outside the working area of the radar station / Belyakov E.S., Kostrova T.G., Antufiev R.V., Kostrov V.V. Publ. 10.06.2009. Bul. No. 16. (In Russ)
2. Patent RU No. 2149421. IPC: G01S 13/04. Method of radar detection and tracking of objects and radar for its implementation / Belyaev B.G., Golubev G.N., Zhibinov V.A., Schekotov Yu.P. Publ. 05/20/2000. Bul. No.14. (In Russ)
3. Patent RU No. 2389039. IPC: G01S 13/58. Method for measuring the radial velocity of an air target in the mode of frequency tuning from pulse to pulse according to a random law with a reduced signal-to-noise ratio / Mitrofanov D.G., Silaev N.V., Mayorov D.A., Tuluzakov V.G., Nemtsov A. V. Publ. 20.05.2010. Bul. No.13. (In Russ)
4. Patent RU No. 2341813. IPC: G01S 13/04. Mobile ground-based two-coordinate radar with a circular view of the meter range / Bashev V.V., Grachev O.D., Zachepitsky A.A., Zyablov N.E., Kokuroshnikov S.M., Malkov M.A. Publ. 12/20/2008. Bul. No. 35. (In Russ)
5. Patent RU No. 2302077. IPC: H04B 1/04. Signal processing method / Antashev A.B., Antashev V.B., Antashev D.A., Antashev P.V. Publ. June 27, 2007. Bul. No. 18. (In Russ)
6. Patent RU No. 2326401. IPC: G01S 13/34, H04D 7/00. Signal detection method / Antashev A.B., Antashev V.B., Antashev D.A., Antashev P.V., Dementyev R.S. Publ. 10.06.2008. Bul. No. 16. (In Russ)
7. RF patent No. 2616440, IPC H03C 7/02. Pulse-code modulator of microwave electromagnetic oscillations in the form of a multilayer Mobius surface with p-i-n-diodes / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Kryachko A.F., Shkurko A.S., Chelushkin D.A. // publ. 04/14/2017, Bul. N 11. (In Russ)
8. RF patent No. 2627983, IPC H01Q 15/18. Antenna in the form of a corner reflector of the microwave with p-i-n-diodes for transmitting discrete information / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Kryachko A.F., Magomedov S.M., Shkurko A.S. publ. 05/22/2017, Bul. No. 23. (In Russ)
9. RF patent No. 2642515, IPC H01Q 3/00. A method of forming an elliptical radiation pattern for an active phased antenna array / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Kryachko A.F., Sarkarov T.E., Shkurko A.S. publ. 26.01.2018, Bul. No.3. (In Russ)
10. RF patent No. 2680850, IPC H01Q 3/00, B64G 1/10. A method of forming an elliptical radiation pattern of a digital active phased antenna array based on a "flock" of microsatellites using super-regenerative transceiver devices / Gadzhiev Kh.M., Ivanchenko A.A., Chelushkina T.A., Akimov A.A., Temirkhanov R.S. ..publ. 28.02.2019, Bul. No. 7. (In Russ)
11. RF patent No. 2684664, IPC G01S 15/02. Software-controlled hydroacoustic CAFAR based on the "flock" of marine microdrones / Gadzhiev Kh.M., Ivanchenko A.A., Chelushkina T.A., Astakhov M.I., Maksimov A.G., Akimov A.A. // publ. 04/11/2019, Bul. No. 11. (In Russ)

12. RF patent No. 2690693, IPC H01P 1/00. Fractal interconnected resonators of microwave electromagnetic oscillations in the form of dielectric trihedral one-sided surfaces with metal plates / Gadzhiev Kh.M., Chelushkina T.A., Ivanchenko Zh.E., Ivanchenko M.A. // publ. 06/05/2019, Bul. No. 16. (In Russ)
13. RF patent No. 2701047, IPC H03C 7/02. Resonator of microwave electromagnetic oscillations in the form of a dielectric trihedral one-sided surface with metal plates / Gadzhiev Kh.M., Chelushkina T.A., Ivanchenko Zh.E., Ivanchenko M.A. publ. 09.24.2019, Bul. No. 27. (In Russ)
14. RF patent No. 2702019, IPC B41J 2/003. D-printer for printing products consisting of materials of various electrophysical properties / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Kablov E.N., Chelushkina T.A., Shkurko A.S. publ. 03.10.2019, Bul. No. 28. (In Russ)
15. Ed. Sokolov M. Problems of advanced radar. [Radiotekhnika] *Radio engineering*. 2003; 512. (In Russ)
16. Perunov Yu.M., Kupriyanov A.I. Electronic warfare: electronic intelligence. [Vuzovskaya kniga] *University book*. 2016; 190 (In Russ).
17. Radzievsky V.G., Trifonov P.A. Processing of ultra-wideband signals and interference. [Radiotekhnika] *Radio engineering*. 2009; 288 (In Russ).
18. Litvinov N.N., Lavrent'ev A.M. Analysis. Possibilities of masking the sounding signals of radar stations of the air defense grouping [Vestnik vozdushno-kosmicheskoy oborony] *Bulletin of Aerospace Defense*. М.: PJSC NPO Almaz. 2017; 1 (13): 38-43. (In Russ)
19. Sobolev V.S., Feshenko A.A. Accurate Cramer-Rao Bounds for a Laser Doppler anemometer. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. 2006; 55(2): 659-665.
20. Parkinson B., Spilker J. Global Positioning System: Theory and Practice. V. I, II. Washington, DC: *American Institute of Aeronautics and Astronautics*. 1996.
21. Rodrigo F. Leandro. Precise point positioning with GPS a new approach for positioning, atmospheric studies, and signal analysis. *Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick*. 2009.

Сведения об авторах:

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

Акимов Альфред Акимович, аспирант кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники, doudagestan@rtm.ru

Абдурафиков Эльдар Абдулгамидович, аспирант кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники, eldar392@rambler.ru

Асалиев Рустам Шамилович, аспирант кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники, aslaliev96@mail.ru

Магомедов Анвар Мурадович, аспирант кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники, anvar@astral-rd.ru

Information about the authors:

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

Alfred A. Akimov, Postgraduate Student, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics, doudagestan@rtm.ru

Eldar A. Abdurafikov, Postgraduate Student, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics, eldar392@rambler.ru

Rustam Sh. Asaliev, Postgraduate Student, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics, aslaliev96@mail.ru

Anvar M. Magomedov, Postgraduate Student, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics, anvar@astral-rd.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 22.10.2021.

Одобрена после рецензирования/Reviced 15. 11. 2021.

Принята в печать/Accepted for publication 15. 11. 2021.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК: 658.52011

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-27-33

Оригинальная статья / Original Paper

**Частотное разделение сигнала датчика
по контролируемым и мешающим параметрам**

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

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

Резюме. Цель. Целью исследования является возможность получения импеданса по контролируемому и мешающему параметрам на примере конденсаторного датчика. **Метод.** Исследование основано на определении аналитической связи между изменением импеданса датчика и частотой тока, в которой возбуждается емкость конденсатора. **Результат.** Определив сопротивление отдельных элементов цепи можно найти импеданс эквивалентной схемы на любой фиксированной частоте. Получено уравнение импеданса датчика, отражающее зависимость выходного сигнала от изменения, как контролируемой влажности, так и мешающего параметра – диэлектрической проницаемости нефти на любой частоте в исследуемом диапазоне. Доказано существование частотного параметра разделения информации, содержащейся в выходном сигнале измерительной схемы. **Вывод.** При возможности параметрического разделения сигнала в выходную величину датчика можно автоматически вводить коррекцию на изменение диэлектрической проницаемости «сухой» нефти, и осуществлять непрерывное измерение контролируемой влажности.

Ключевые слова: датчик, пластина, нефть, емкость конденсатора, многопараметровый принцип, влагомер, чувствительность

Для цитирования: Т. Г. Гасанов, Э. З. Батманов, М. Р. Гусейнов. Частотное разделение сигнала датчика по контролируемым и мешающим параметрам. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4): 27-33. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-27-33

Frequency division sensor signal by controlled and interfering parameters

T.G. Hasanov, E.Z. Batmanov, M.R. Guseinov

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

Abstract. Objective. The aim of the study is the possibility of obtaining the impedance of the controlled and interfering parameters using the example of a capacitor sensor. **Method.** The study is based on the determination of the analytical relationship between the change in the impedance of the sensor and the frequency of the current in which the capacitance of the capacitor is excited. **Result.** Having determined the resistance of individual circuit elements, you can find the impedance of the equivalent circuit at any fixed frequency. An equation for the impedance of the sensor is obtained, reflecting the dependence of the output signal on the change in both the controlled humidity and the interfering parameter - the dielectric constant of oil at any frequency in the studied range. The existence of the frequency parameter for the separation of information contained in the output signal of the measuring circuit has been proved. **Conclusion.** If the parametric separation of the signal is possible, the output value of the sensor can be automatically corrected for the change in the dielectric constant of the "dry" oil, and continuous measurement of the controlled moisture can be carried out.

Keywords: sensor, plate, oil, capacitor capacity, multi-parameter principle, moisture meter, sensitivity

For citation: T.G. Hasanov, E.Z. Batmanov, M.R. Guseinov. Frequency division sensor signal by controlled and interfering parameters. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48 (4): 27-33. DOI: 10.21822 / 2073-6185-2021-48-4-27-33

Введение. В последние годы быстро совершенствуются и внедряются в производство приборы автоматического контроля состава и структуры материалов, основанные на многопараметровом принципе. Сущность этого принципа заключается в непрерывном измерении одного или нескольких параметров материала в условиях их изменения, путем электрической отстройки от влияния других переменных параметров, повышающих погрешность контроля, в связи с чем, эффективность применения и широкого использования многопараметровых приборов заметно повышается [1-12]. При оптимальном регулировании автоматическое устройство не только поддерживает заданное значение регулируемой величины, но и одновременно определяет каким оно должно быть, чтобы регулируемый процесс протекал, как наилучший (оптимальный) для обеспечения данного технологического процесса. К примеру, в Ростовской государственной академии сельскохозяйственного машиностроения ранее проводились работы по созданию двухчастотного влагомера нефти [1-12].

Постановка задачи. Учитывая, что теоретическое исследование данного вопроса представляет научный интерес не только во влагометрии, но и в других отраслях знаний, занимающихся контролем состава диэлектрических жидкостей, в работе приведена возможность частотного исследования.

Методы исследования. Известно, что большой практический интерес представляет аналитическая связь между изменением импеданса датчика и частотой тока, в которой возбуждается емкость конденсатора с исследуемым образцом обводненной нефти.

Зависимость между электропроводимостью материала и его влажностью может быть представлена формулой (1)

$$\lg R = a - \epsilon w \quad (1)$$

где R – активное сопротивление пары измерительных электродов, между которыми находится проба вещества; a и ϵ – постоянные, зависящие от измерительного устройства, условий измерения и свойств исследуемого материала; w – влажность образца.

Для практических целей формула (1) неудобна, так как требует предварительного определения величин « a » и « ϵ ».

Приведем выполненный анализ импеданса датчика, который отличается наглядностью расчета. Как известно из курса электротехники, электрическая емкость плоского конденсатора выражается формулой:

$$C = 0,089 \frac{\epsilon S}{\delta} \quad (2)$$

C – электрическая емкость, ϕ ; S – площадь взаимного перекрытия пластин конденсатора, см^2 ; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды (относительная); δ – расстояние между пластинами, см .

В наиболее распространенных типах емкостных датчиков используется зависимость электрической емкости от расстояния между пластинами.

На рис.1 приведена схема емкостного датчика перемещения (а) и его характеристика (б), представляющая собой зависимость емкости датчика от расстояния между пластинами. В схеме с емкостным датчиком происходит преобразование перемещения подвижной части датчика, осуществляющего под действием силы P , в электрическую выходную величину (частоту, ток, напряжение), зависящую от входной величины.

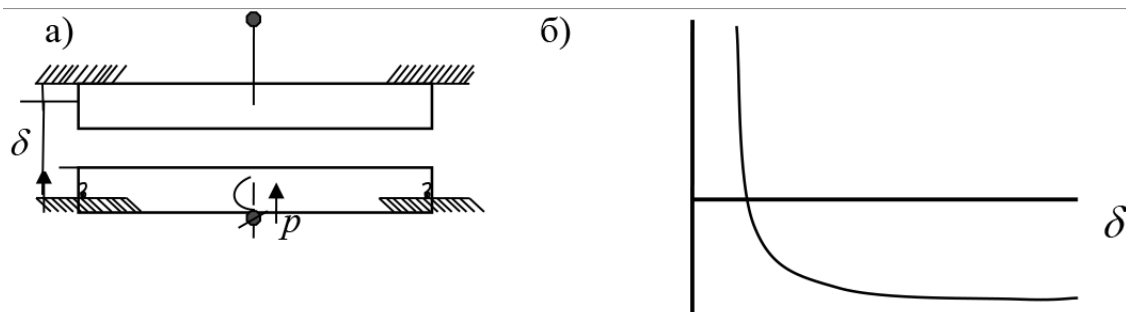


Рис.1. Емкостный датчик перемещения с переменным зазором:

а) схема датчика; б) характеристика датчика

Fig.1. Variable gap capacitive displacement sensor:

а) sensor circuit; б) sensor characteristic

На рис. 2 приведена схема использования емкостного датчика, изображенного на рис. 1. Здесь при перемещении пластины датчика изменяется его емкость, ток, проходящий через него, а, следовательно, меняется и напряжение U_n нагрузки R_n (это напряжение U_n является выходной величиной). Такая схема зависит от напряжения и частоты источника питания или усилителя.

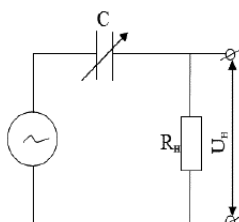


Рис. 2. Электрическая схема включения емкостного датчика перемещения

Fig. 2. Wiring diagram for connecting a capacitive displacement sensor

Устанавливая исследуемый образец между пластинами, мы переводим его как бы в состояние емкостного дифференциального датчика (рис. 3), обладающего большой чувствительностью. Дифференциальный датчик конструктивно представляет собой конденсатор с подвижной средней пластиной.

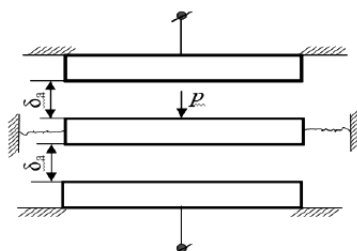


Рис. 3. Схема емкостного дифференциального датчика перемещения с переменным зазором

Fig. 3. Schematic of a capacitive differential displacement transducer with variable gap

Чувствительность такого датчика удваивается, так как при перемещении средней пластины под действием некоторой силы P емкость одной половины датчика возрастает, а емкость другой половины падает.

Емкостные датчики обладают большой величиной реактивного сопротивления. Действительно, емкость датчика составляет в среднем 10-100 пф ($1 \text{ нф} = 10^{-12} \text{ ф}$).

Реактивное сопротивление такого датчика (для $C=100$ пф при частоте $f=50$ Гц).

$$x_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-12}} = \frac{10^{12}}{3,14 \cdot 10^4} = 30 \cdot 10^6 \text{ ом}$$

Емкостные датчики включаются в мостовую схему, или резонансную схему с усилителями. Достоинствами емкостных датчиков является потребность очень малых усилий для перемещения подвижной части (ротора) емкостного датчика, высокая чувствительность, относительно малые габариты и вес, а также малая величина сил притяжения между пластинами.

Обсуждение результатов. Основные области применения емкостных датчиков: преобразование в электрический параметр быстро меняющихся величин – давлений, вибраций, ускорений, измерение перемещений, размеров деталей [10-20]. Предположим, что в измерительный конденсаторный датчик загружена исследуемая проба обводненной нефти с известным процентным содержанием воды. Надо образно всю воду, равномерно распределенную в нефти по всему объему конденсатора, собрать к одной обкладке. Это будет равносильно сближению обкладок конденсатора и росту его емкости. Такой метод расчета ε показывает хорошее совпадение значений диэлектрической проницаемости полученных аналитически с экспериментальными значениями.

Таким образом, использование зависимости вида $Z=f(c)$ оказывается более удобным при расчете импеданса датчика, чем зависимость $Z=f(\varepsilon)$, при которой диэлектрическая проницаемость рассматриваемой дисперсной системы пришлось бы представлять в виде суммы двух составляющих, чтобы не терялась физика явления.

При этом, зная толщину выделенной воды W и толщину слоя «обезвоженной нефти» $1-W$, можно построить эквивалентную электрическую схему датчика, которую при высоких частотах можно представить в виде зависимости со следующими показателями, где R – активное сопротивление слоя воды, Ом; x_{c1} – реактивное сопротивление воды, Ом; x_{c2} – реактивное сопротивление слоя нефти, Ом.

Активное сопротивление толщины воды в датчике можно вычислить по формуле:

$$R = \rho \frac{Wl}{S} \quad (3)$$

где ρ – удельное сопротивление воды, в ом/см; W – влажность нефти, в %; l – расстояние между обкладками конденсатора, см.; S – площадь обкладки конденсатора, см².

Емкость измерительного конденсатора, когда между его обкладками расположена вода, выражается формулой:

$$C_1 = 0,089 \frac{\varepsilon_1 \delta}{Wl} \quad (4)$$

где ε_1 – диэлектрическая проницаемость воды; C_1 – емкость конденсатора, пф.

Определив емкость измерительного конденсатора, нетрудно найти его реактивное сопротивление, которое можно представить в виде:

$$x_{ci} = \frac{Wl}{0,176nf\varepsilon_1\delta} \quad (5)$$

где f – частота входного сигнала, Гц.

Аналогичным же образом можно написать выражения емкости и реактивного сопротивления для случая, когда между обкладками конденсатора расположена «сухая» нефть:

$$C_2 = 0,089 \frac{\varepsilon_2 \delta}{(1-W)l} \quad (6)$$

где ε_2 – диэлектрическая проницаемость нефти.

$$x_{c2} = \frac{(1-W)l}{0,176nf\varepsilon_2\delta} \quad (7)$$

Таким образом, определив сопротивление отдельных элементов цепи по известным формулам электротехники, можно найти импеданс эквивалентной схемы на любой фиксированной частоте

$$Z = \sqrt{\frac{\rho^2 W^2 l^2}{S^2} + \frac{l^2}{0,176^2 n^2 f^2 S^2} \left(\frac{W}{\varepsilon_1} - \frac{(1-W)}{\varepsilon_2} \right)^2} \quad (8)$$

Учитывая общеизвестную линейную зависимость между плотностью нефти и ее диэлектрической проницаемостью, в уравнении (8) эти величины взаимно заменены, т.е. вместо плотности нефти написана ее диэлектрическая проницаемость.

Как видно из последнего уравнения, импеданс датчика с обводненной нефтью является сложной функцией, зависящей не только от частоты подаваемого на вход датчика сигнала, но так же и от параметров внутреннего порядка: влагосодержания и диэлектрической проницаемости. На основании уравнения (8) построены характеристики импеданса датчика на частотах (0,5-16 МГц). Представленные характеристики наглядно иллюстрируют зависимость импеданса датчика, как от частоты сигнала, так и от влажности нефти. В уравнении (8) параметрами состояния, подлежащим частотному разделению, являются обводненность нефти W_1 , которую в дальнейшем будем называть контролируемым параметром и ее диэлектрическая проницаемость ϵ , которую будем называть мешающим параметром.

Для выяснения существования частотного разделения сигнала датчика по контролируемому и мешающему параметрам определим частные производные частотных характеристик импеданса по переменным параметрам материала.

Упростим выражение импеданса, обозначив через

$$\mu = \frac{\rho^2 l^2}{S^2} \quad (9)$$

$$\text{и } Z = \frac{l^2}{0,176^2 n^2 f^2 S^2}$$

Тогда уравнение (8) принимает вид

$$Z = \sqrt{\mu W^2 + Z \left(\frac{W}{\epsilon_1} - \frac{(1-W)}{\epsilon_2} \right)^2} \quad (10)$$

Определим частные производные частотных характеристик импеданса датчика, назовем их передаточными коэффициентами и обозначим через a_i и ϵ_i

$$a_i = \frac{\partial Z}{\partial W} = \frac{\mu W + Z \left(\frac{W}{\epsilon_1} - \frac{(1-W)}{\epsilon_2} \right) \left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \right)}{\sqrt{\mu W^2 + Z \left(\frac{W}{\epsilon_1} - \frac{(1-W)}{\epsilon_2} \right)^2}} \text{ при } f = f_i \text{ и } \epsilon_2 = \text{const} \quad (11)$$

$$\epsilon_i = \frac{\partial Z}{\partial \epsilon_2} = \frac{Z \left(\frac{W}{\epsilon_1} - \frac{(1-W)}{\epsilon_2} \right) \frac{(1-W)}{\epsilon_2^2}}{\sqrt{\mu W^2 + Z \left(\frac{W}{\epsilon_1} - \frac{(1-W)}{\epsilon_2} \right)^2}} \text{ при } f = f_i \text{ и } W = \text{const} \quad (12)$$

Эти коэффициенты являются показателями чувствительности выходного сигнала к изменению состояния переменных параметров W и ϵ_2 .

Коэффициенты передачи зависят от частоты входного сигнала датчика. Большая величина передаточного коэффициента говорит о большом влиянии данного параметра на выходной сигнал датчика, а меньшая величина – о малом влиянии.

Вычисляя на всем исследуемом диапазоне частот значения передаточных коэффициентов можно получить их частотные характеристики. При этом необходимым и обязательным условием возможности частотного разделения сигнала по переменным компонентам материала является отсутствие пропорциональности передаточных коэффициентов на одноименных частотах. Иначе говоря, при увеличении частоты сигнала от 0 до бесконечности законы изменения передаточных коэффициентов должны быть не едины.

$$\text{При } f \rightarrow 0, a_i \rightarrow \sqrt{\mu}, \epsilon_i \rightarrow 0 \quad (13)$$

Эти выражения доказывают, что сигнал датчика с обводненной нефтью может быть разделен по влажности и по диэлектрической проницаемости «сухой» нефти частотным способом. Наряду с изложенным, определение возможности существования параметрического разделения

сигнала можно производить и другим способом. Для этого необходимо разделить значения передаточных коэффициентов на одноименных частотах. Если полученное при этом выражение зависит от частоты, то это является достаточным свидетельством возможности разделения сигнала по переменным компонентам материала.

$$\frac{a_i}{\varepsilon_i} = \frac{\mu W}{Z \left(\frac{W}{\varepsilon_1} - \frac{(1-W)}{\varepsilon_2} \right) \frac{(1-W)}{\varepsilon_2^2}} + \frac{\varepsilon_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{\varepsilon_1(1-W)} \text{ при } f = f_i \quad (14)$$

Таким образом, зависимость последнего выражения от частоты сигнала очевидна, так как является функцией частоты.

Вывод. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Получено уравнение импеданса датчика, отражающее зависимость выходного сигнала от изменения, как контролируемой влажности, так и мешающего параметра – диэлектрической проницаемости нефти на любой частоте в исследуемом диапазоне.

2. Доказано существование частотного параметра разделения информации, содержащейся в выходном сигнале измерительной схемы, исходя из аналитических частотных характеристик.

3. Если при производстве автоматического контроля влагосодержания нефти диэлектрическим способом большое время тратится на то, чтобы настроить прибор на новую партию нефти, то на основании полученных результатов данной работы можно считать, что при возможности параметрического разделения сигнала в выходную величину датчика можно автоматически вводить коррекцию на изменение диэлектрической проницаемости «сухой» нефти, и осуществлять непрерывное измерение контролируемой влажности.

Библиографический список:

1. M. Kretschmar and S. Welsby. Capacitive and Inductive Displacement Sensors, in Sensor Technology Handbook, J. Wilson editor, Newnes: Burlington. MA. 2005.
2. C. A. Grimes, E. C. Dickey, and M. V. Pishko, Encyclopedia of Sensors (10-Volume Set), American Scientific Publishers. ISBN 1-58883-056-X Sensors — Open access journal of MDPI. 2006.
3. M. Pohanka, O. Pavlis, and P. Skladal. Rapid Characterization of Monoclonal Antibodies using the Piezoelectric Immunosensor. *Sensors* 2007; 7: 341—353.
4. Clifford K. Ho, Alex Robinson, David R. Miller and Mary J. Davis. Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring. *Sensors* 2005; 5: 4-37.
5. Абдулханова М. Технологии производства материалов и изделий и автоматизация технологических процессов на предприятиях дорожного строительства: Учебное пособие// М. Абдулханова, В.А. Воробьев. М.: Солон-пресс, 2014. 564 с.
6. Волосухин В.А. Автоматизация расчетов стержневых систем гидротехнического строительства: Учебное пособие / В.А. Волосухин, А.З. Зарифьян, С.И. Евтушенко и др. М.: АСВ, 2007. 160 с.
7. Виноградов, В.М. Автоматизация технологических процессов и производств. Введение в специальность: Учебное пособие / В.М. Виноградов, А.А. Черепашин. М.: Форум, 2018. 305 с.
8. Еремеев С.В. Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли: Учебное пособие / С.В. Еремеев. СПб.: Лань, 2018. 136 с.
9. В. Люкк. Методы измерения влажности, ОНТИ, Ленинград, 1962.
10. Ш.М. Таукин. Датчики и схемы влагомеров и уровнемеров для нефтехимической промышленности. Издательство «Ишим», 1965.
11. Клепиков В.В. Автоматизация производственных процессов: Учебное пособие / В.В. Клепиков, А.Г. Схиртладзе, Н.М. Султан-заде. М.: Инфра-М, 2019. 351 с.
12. Мясковский И.Г. Основы автоматизации производства. М., Высшая школа, 1968.
13. Ермоленко, А.Д. Автоматизация процессов нефтепереработки /А.Д. Ермоленко, О.Н. Кашин, Н.В. Лисицын и др. Вологда: Инфра-Инженерия, 2012. 304 с.
14. Ермоленко, А.Д. Автоматизация процессов нефтепереработки /А.Д. Ермоленко. М.: Профессия, 2012. 304 с.
15. Ермоленко, А.Д. Автоматизация процессов нефтепереработки / А.Д. Ермоленко. М.: Профессия, 2015. 304 с.
16. Бармин А.В. Радарные системы контроля уровня//Современные технологии автоматизации. № 4, 2002.
17. Зубарев Ю.М. Автоматизация координатных измерений в машиностроении: Учебное пособие / Ю.М. Зубарев, С.В. Косаревский. СПб.: Лань, 2016. 160 с.
18. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств. Учебное пособие /А.А. Иванов. - М.: Форум, 2012. 224 с.
19. Иванов А.А. Автоматизация технол. проц. и произв. Учебное пособие /А.А. Иванов. М.: Форум, 2018. 272 с.
20. Литвак В.И. Фотоэлектрические датчики в системах контроля, управления и регулирования. М.: Наука, 1966. 410 с.

References:

1. M. Kretschmar and S. Welsby. Capacitive and Inductive Displacement Sensors, in Sensor Technology Handbook, J. Wilson editor, Newnes: Burlington, MA. 2005.
2. C. A. Grimes, E. C. Dickey, and M. V. Pishko, Encyclopedia of Sensors (10-Volume Set), American Scientific Publishers. ISBN 1-58883-056-X *Sensors - Open access journal of MDPI*. 2006.
3. M. Pohanka, O. Pavlis, and P. Skladal. Rapid Characterization of Monoclonal Antibodies using the Piezoelectric Immunosensor. *Sensors* 2007; 7: 341-353.
4. Clifford K. Ho, Alex Robinson, David R. Miller and Mary J. Davis. Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring. *Sensors* 2005; 5: 4-37.
5. Abdulkhanova M. Technologies for the production of materials and products and automation of technological processes at road construction enterprises: Textbook . M. Abdulkhanova, V.A. Vorobiev. M.: Solon-press, 2014; 564.
6. Volosukhin V.A. Automation of calculations of rod systems in hydraulic engineering: Textbook . V.A. Volosukhin, A.Z. Zari-fyan, S.I. Evtushenko et al. ASV. 2007;160.
7. Vinogradov, V.M. Automation of technological processes and production. Introduction to the specialty: Textbook / V.M. Vinogradov, A.A. Cherepakhin. M.: Forum, 2018; 305.
8. Ereemeev S.V. Automation of technological processes and production in the oil and gas industry: Textbook / S.V. Ereemeev. SPb.: Lan, 2018; 136.
9. V. Lukk. Moisture measurement methods, ONTI, Leningrad, 1962.
10. Sh.M. Taukin. Sensors and circuits of moisture meters and level meters for the petrochemical industry. Ishim Publishing House, 1965.
11. Klepikov V.V. Automation of production processes: Textbook . V.V. Klepikov, A.G. Skhirtladze, N.M. Sultan-zade. Infra-M, 2019; 351.
12. Myaskovsky I.G. Basics of production automation. [Vysshaya shkola] High School, 1968.
13. Ermolenko A. D. Automation of oil refining processes. A.D. Ermolenko, O. N. Kashin, N.V. Lisitsyn et al. Vologda: [Infra-Inzheneriya] Infra-Engineering, 2012; 304.
14. Ermolenko A.D. Automation of oil refining processes. A.D. Ermolenko. [Professiya] Profession. 2012; 304.
15. Ermolenko A. D. Automation of oil refining processes. A.D. Ermolenko. [Professiya] Profession., 2015; 304.
16. Barmin A.V. Radar level control systems. [Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii] Modern automation technologies. 2002; 4.
17. Zubarev Yu.M. Automation of coordinate measurements in mechanical engineering: Textbook. Yu.M. Zubarev, S.V. Kosarev-sky. SPb.: Lan, 2016; 160.
18. Ivanov A.A. Automation of technological processes and production: Textbook. A.A. Ivanov. M.: Forum. 2012; 224.
19. Ivanov A.A. Technological automation percent and production textbook. A.A. Ivanov. M.: Forum. 2018; 272.
20. Litvak V.I. Photoelectric sensors in monitoring, control and regulation systems. M.: [Nauka] Science, 1966; 410.

Сведения об авторах.

Гасанов Тельман Гамзатович, кандидат технических наук, доцент кафедры организации и безопасности движения, batmanov.1978@mail.ru.

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

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

Information about authors:

Telman G. Gasanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Organization and Traffic Safety, batmanov.1978@mail.ru.

Edward Z. Batmanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Dean of the Faculty of Law and Transport Management, batmanov.1978@mail.ru.

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

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 30.10.2021.

Одобрена после рецензирования / Reviced 18.11.2021.

Принята в печать /Accepted for publication 19.11.2021.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-34-43

Оригинальная статья /Original Paper

**Экспериментальные исследования термоэлектрического устройства
для остановки кровотока методом локального замораживания зоны кровотока**
О.В. Евдулов¹, Н.А. Набиев¹, Р.А.-М. Магомадов², Р.Г. Митаров¹

¹Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия,

²Грозненский государственный нефтяной технический университет
им.М.Д. Милионщикова,

364051 г. Грозный, проспект им. Х.А. Исаева, 100, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является обобщение результатов проведенных экспериментальных исследований, методики проведения измерений, а также конструкции лабораторного стенда для проведения натурных испытаний термоэлектрического устройства (ТЭУ) для остановки кровотока методом локального замораживания зоны кровотока. **Метод.** Описан экспериментальный стенд и методика проведения измерений лабораторного образца ТЭУ для остановки кровотока методом локального замораживания зоны кровотока. Экспериментальный стенд выполнен на основе измерительного оборудования лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств Дагестанского государственного технического университета. **Результат.** Получены графики зависимости изменения во времени температуры контрольных точек лабораторного образца термоэлектрического устройства для остановки кровотока методом локального замораживания зоны кровотока при различных токах питания термоэлектрической батареи (ТЭБ). Контрольными точками являлись холодные и горячие спаи ТЭБ, имитатор биологического объекта. **Вывод.** С увеличением площади кровотока требуется больше времени для его прекращения. Увеличение диаметра отверстия с кровотоком в среднем на 1 мм увеличивает продолжительность образования тромба, прекращающего кровотечение в среднем на 20 с. Установлено, что для обеспечения эффективной работы термоэлектрического устройства достаточным является использование промышленно выпускаемой термоэлектрической батареи марки ICE-71.

Ключевые слова: остановка кровотока, локальное замораживание, термоэлектрическое устройство, термоэлектрическая батарея, экспериментальный стенд, методика измерений, температура, натурные испытания

Для цитирования: О.В. Евдулов, Н.А. Набиев, Р.А.-М. Магомадов, Р.Г. Митаров. Экспериментальные исследования термоэлектрического устройства для остановки кровотока методом локального замораживания зоны кровотока. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021;48(4):34-43. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-34-43

**Experimental studies of a thermoelectric device for stopping bleeding
by the method of local freezing of the blood flow zone**

O.V. Evdulov¹, N.A. Nabiev¹, R.A.-M. Magomadov², R.G. Mitarov¹

¹Daghestan State Technical University,
170 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²M.D. Milyonshchikov Grozny State Oil Technical University,
100 H.A. Isaeva Ave., Grozny 2364051, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the article is to highlight the results of experimental studies, the measurement technique, as well as the design of a laboratory stand for carrying out field tests

of a thermoelectric device (TEC) for stopping bleeding by the method of local freezing of the blood flow zone. **Method.** An experimental stand and a technique for carrying out measurements of a laboratory sample of a TEU for stopping bleeding by the method of local freezing of the blood flow zone are described. The experimental stand is made on the basis of the measuring equipment of the laboratory of semiconductor thermoelectric devices and devices of Daghestan State Technical University. **Result.** The graphs of the time dependence of the temperature change of the control points of the laboratory sample of TEC for stopping bleeding by the method of local freezing of the blood flow zone at various supply currents of the thermoelectric battery (TEB) were obtained. The control points were cold and hot junctions of TEB, a simulator of a biological object. **Conclusion.** The data obtained show that with an increase in the area of blood flow, it takes more time to stop it. An increase in the diameter of the hole with blood flow by an average of 1 mm increases the duration of thrombus formation, which stops bleeding by an average of 20 s. During the experiment, it was found that to ensure the efficient operation of the TEU, it is sufficient to use the commercially available TEB brand ICE-71.

Keywords: stopping bleeding, local freezing, thermoelectric device, thermoelectric battery, experimental stand, measurement technique, temperature, field tests

For citation: O.V. Evdulov, N.A. Nabiev, R.A.-M. Magomadov, R.G. Mitarov. Designs of thermoelectric devices for extracting foreign objects from the human body by freezing. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48 (4): 34-43. DOI: 10.21822 /2073-6185-2021-48-4-34-43

Введение. Оперативная остановка кровотечения при различного рода поражениях человеческого организма является одним из ключевых факторов, обеспечивающих спасение жизни пациенту [1-3]. Разработка методик и технических средств для ее реализации является одной из важнейших задач медицинской практики, а эффективное использование методов остановки кровотечения необходимо не только медицинскому работнику, но и каждому человеку для оказания само- и взаимопомощи.

При анализе литературных источников установлено, что методы остановки кровотечения делятся на четыре основные группы: механические, химические, биологические и термические [4-15]. При обширных ранениях и сильных кровотечениях одновременно или последовательно применяются несколько методов из перечисленных в различных комбинациях. Для оперативной и временной остановки кровотока наиболее простым способом является механический. Другими методами остановки крови является химический или биологический (использование лекарственных средств, например таких, как криопреципитат, дицинон, кальция глюконат, викасол, протамина сульфат и др.). Однако, в первом случае, может наблюдаться низкая эффективность остановки крови, связанная, например, с плохой свертываемостью, во втором - с недоступностью соответствующих лекарственных препаратов.

В этой связи актуально использование новых методов остановки кровопотерь, к которым относится термический метод, основанный на локальном охлаждении зоны кровотечения. В [16-18] предложен метод остановки кровотечения, в котором в качестве источника холода использовано ТЭУ. Разработана его математическая модель [19], описывающая необходимые режимы работы и ограничения по использованию прибора. Для подтверждения адекватности математической модели проведены экспериментальные исследования лабораторного образца устройства.

Постановка задачи. Целью настоящего исследования является освещение полученных данных экспериментальных исследований, методики проведения измерений, а также конструкции лабораторного стенда для проведения натурных испытаний разработанного прибора.

Методы исследования. Для проведения экспериментальных исследований ТЭУ для остановки кровотечения методом локального замораживания зоны кровотока собран стенд, принципиальная схема которого изображена на рис.1.

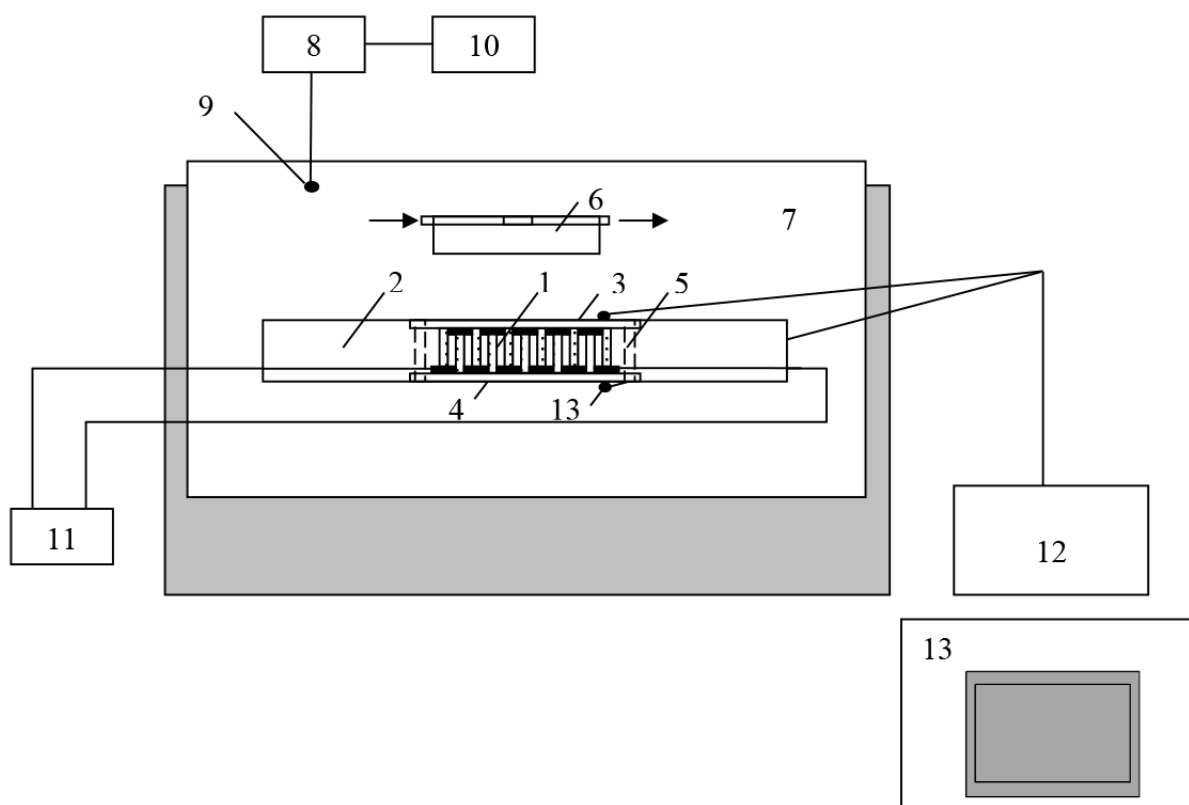


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental stand

Объектом экспериментальных исследований являлся опытный образец системы (рис.2), состоящий из исполнительного элемента - ТЭБ 1, закрепленного на фиксирующем приспособлении 2, представляющем собой ремень из кожаного материала с застежкой типа Hook & Loop.



Рис. 2. Внешний вид лабораторного образца термоэлектрического устройства для остановки кровотечения

Fig. 2. External view of a laboratory sample of a thermoelectric device for stopping bleeding

Рабочая поверхность ТЭБ приведена в тепловой контакт с тепловыравнивающей пластиной 3, а поверхность, противоположная рабочей - с теплосъемной пластиной 4, выполняющей функции воздушного теплоотвода. ТЭБ, тепловыравнивающая, теплосъемная пластина и фиксирующее приспособление связаны между собой креплениями 5 в виде болтового соединения. Геометрические размеры опытного образца ТЭУ указаны на рис.3, где показан эскизный чертеж прибора. В качестве источника холода использовалась ТЭБ марки ICE-71 (производство ООО «Криотерм» (г. Санкт-Петербург) [20]. При проведении натурных испытаний лабораторный образец ТЭУ приводился в плотный механический и тепловой контакт с объектом воздействия - имитатором биологического объекта с зоной кровотока 6.

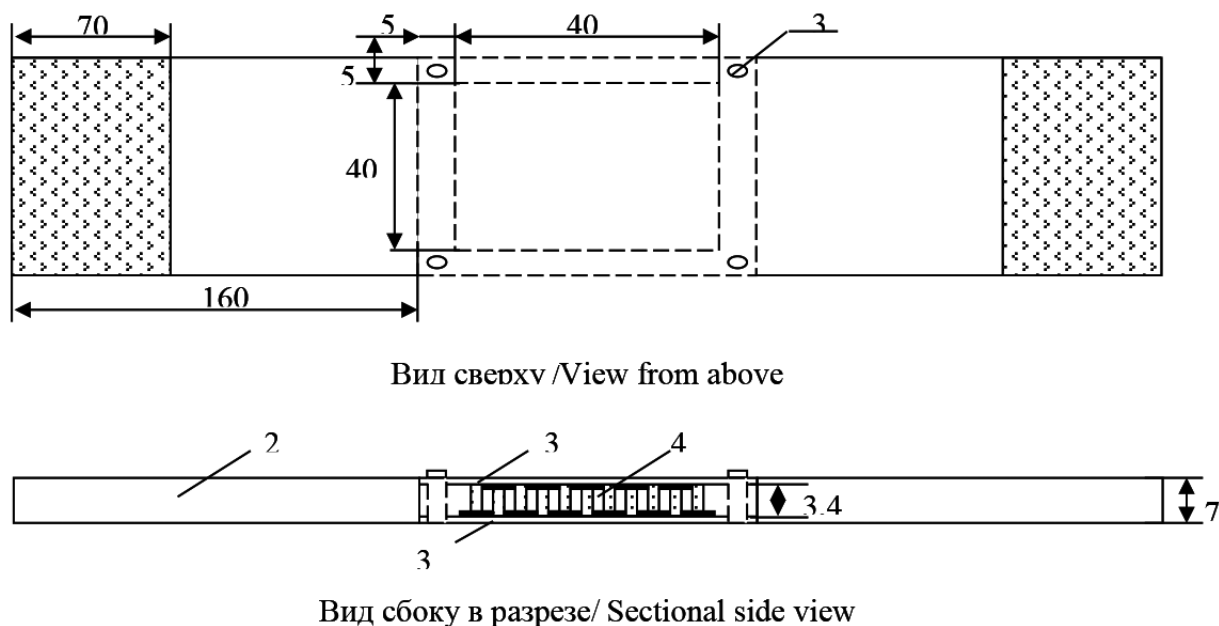


Рис. 3. Эскизный рисунок лабораторного образца термоэлектрического устройства для остановки кровотечения с основными геометрическими размерами

Fig. 3. Sketch drawing of a laboratory sample of a thermoelectric device for stopping bleeding with basic geometric dimensions

Имитатор биологического объекта представлял собой некоторый объем, заполненный силиконом, внутри которого непосредственно у его поверхности вдоль всей длины размещалась медицинская трубка, по которой прокачивалась вода. На верхней поверхности медицинской трубки проделывались отверстия различного диаметра, имитирующие область кровотечения.

При проведении натурных испытаний лабораторный образец ТЭУ помещался в климатическую камеру 7 с термостатируемым рабочим объемом. Диапазон устанавливаемых температур в климатической камере варьируется в пределах 283÷343 К с погрешностью стабилизации температуры не более 1 К при относительной влажности 30÷98%. Температура и относительная влажность воздуха в камере регулировались управляющим блоком 8, связанным с датчиками температуры и влажности 9, показания которых выводятся на соответствующее цифровое табло 10. При проведении натурных испытаний ТЭУ питание ТЭБ осуществлялось источником электрической энергии 11. Величины питающего электрического тока и напряжения в источнике энергии контролируются встроенными в него амперметром и вольтметром. Для измерения температуры в требуемых точках системы использовался многоканальный измеритель температуры ИРТМ 2402/ М3 12, подключенный к ПЭВМ 13. В ходе эксперимента определялись ток и напряжение на ТЭБ, температура в контрольных точках опытного образца ТЭУ, температура в объеме климатической камеры. Измерения температуры проводились медь-константовыми термопарами 13, опорные спаи которых помещались в сосуд Дьюара, а сигнал с рабочих спаев направлялся на измеритель ИРТМ 2402/ М3 и выводился на монитор ПЭВМ.

Термопары устанавливались на опорных и рабочих спаях ТЭБ, в контрольных точках поверхности основания и в окружающей среде. В процессе эксперимента выходные сигналы с термопар регистрировались прибором ИРТМ 2402/М3, предназначенным для многоканального измерения температуры, а также других неэлектрических величин. Перед проведением эксперимента осуществлялась проверка надежности механических, тепловых и электрических контактов. Опыты проводились сериями по четыре раза в идентичных условиях.

Обсуждение результатов. На основе разработанного стенда для проведения натурных испытаний опытного образца ТЭУ был проведен ряд опытов, позволяющих судить о соответствии разработанной математической модели практике. Главной задачей при проведении экс-

периментальных исследований являлось определение зависимости изменения температуры в различных точках исследуемого ТЭУ, а также имитатора биологического объекта от времени при фиксированных значениях тока питания ТЭБ и напора воды в отверстиях, имитирующих область кровотока; фиксация времени, необходимого для прекращения истечения воды из отверстий при оговоренных условиях. Важным являлось сравнение полученных экспериментальных данных с результатами численного эксперимента.

В процессе проведения натурных испытаний устройства задавались следующие исходные данные: температура внутри климатической камеры - 310 К; относительная влажность внутри климатической камеры - 64 %; точность поддержания температуры в климатической камере - 0,5 К; температура поступающей в имитатор биологического объекта воды - 310 К; скорость протекания воды в имитаторе биологического объекта от 100 до 300 мм/с.

На рис. 4-6 представлены зависимости изменения во времени температуры у поверхности имитатора биологического объекта при замораживании области истечения воды при токах питания ТЭБ 4, 6, и 8 А и скорости протекания воды 100 мм/с, 200 мм/с, 300 мм/с соответственно. Наблюдения прекращались при образовании ледяной корки, достаточной для прекращения истечения воды.

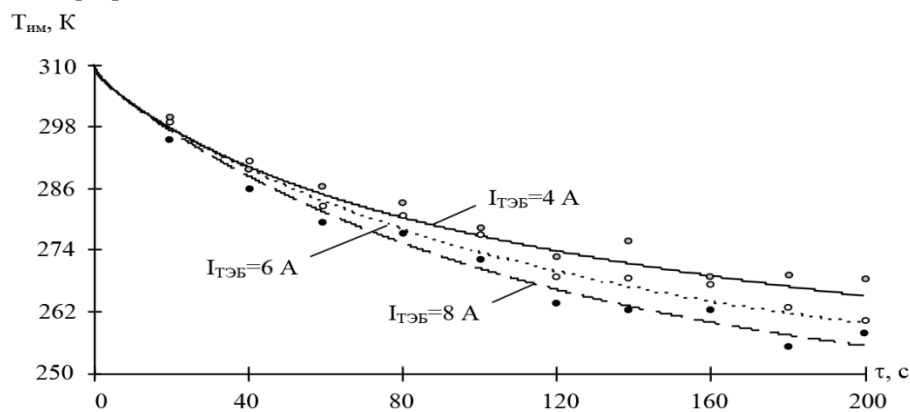


Рис. 4. Зависимость температуры у поверхности имитатора биологического объекта от времени при замораживании области истечения воды для различных значений тока питания ТЭБ и скорости протекания воды 100 мм/с

Fig. 4. Dependence of the temperature at the surface of the biological object simulator on time when freezing the area of water outflow for different values of the thermopile supply current and water flow rate 100 mm/s

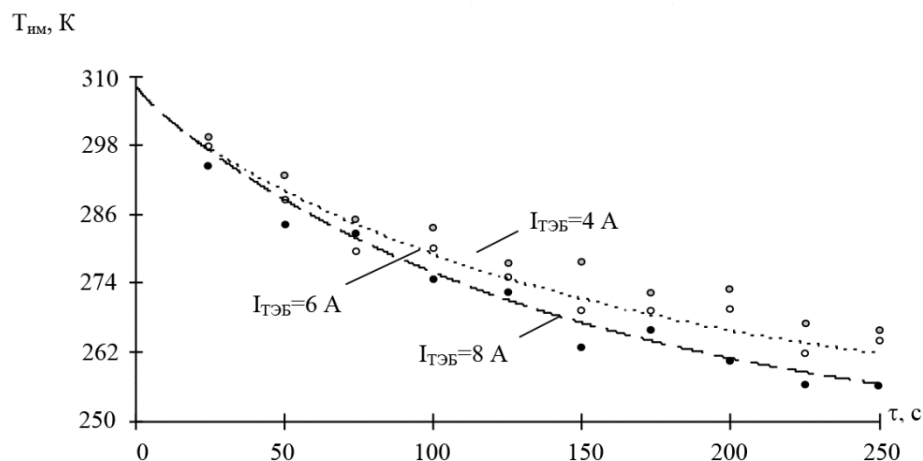


Рис. 5. Зависимость температуры у поверхности имитатора биологического объекта от времени при замораживании области истечения воды для различных значений тока питания ТЭБ и скорости протекания воды 200 мм/с

Fig. 5. Dependence of the temperature at the surface of the biological object simulator on time when freezing the area of water outflow for different values of the thermopile supply current and water flow rate 200 mm/s

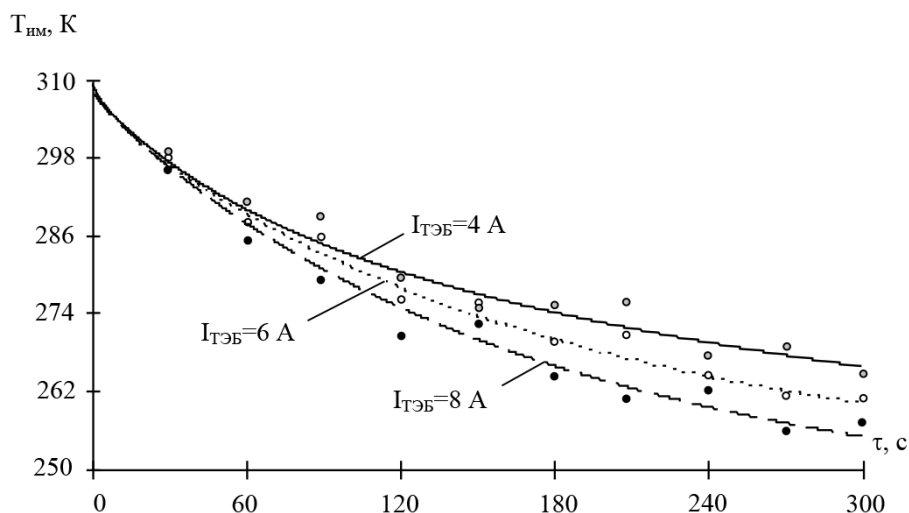


Рис. 6. Зависимость температуры у поверхности имитатора биологического объекта от времени при замораживании области истечения воды для различных значений тока питания ТЭБ и скорости протекания воды 300 мм/с

Fig. 6. Dependence of the temperature at the surface of the biological object simulator on time when the area of water outflow is frozen for different values of the thermopile supply current and the water flow rate of 300 mm/s

На рис.7 представлены результаты измерений продолжительности образования ледяной корки, прекращающей истечение воды, от различных значений тока питания ТЭБ при диаметре отверстий 3, 5 и 7 мм и скорости протекания воды 100 мм/с.

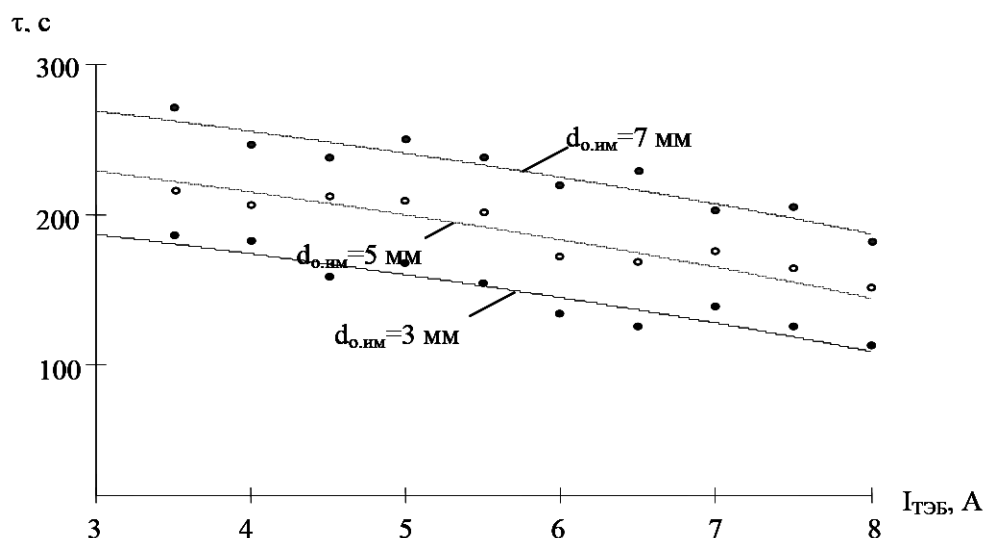


Рис. 7. Зависимость продолжительности образования ледяной корки, прекращающей истечение воды от тока питания ТЭБ для различных значений диаметра отверстия с истекающей водой

Fig. 7. Dependence of the duration of the formation of an ice crust that stops the outflow of water from the thermopile supply current for different values of the diameter of the hole with outflowing water

Полученные данные показывают, что с увеличением диаметра отверстия требуется большее время для прекращения истечения воды. При повышении диаметра отверстия с истекающей водой в среднем на 1 мм в данных условиях продолжительность образования ледяной корки увеличивается в среднем на 20 с. Данное обстоятельство очевидно, т. к. с увеличением диаметра отверстия растет площадь истечения воды, при этом, соответственно уменьшается плотность теплового потока от ТЭБ. В данных условиях, как и выше по тексту, может быть рекомендовано применение на практике ТЭБ различной мощности, при этом в конструкции си-

стемы желательно предусмотреть возможность замены одного типа термобатареи на другой в зависимости от условий эксплуатации и требуемой холодопроизводительности.

При анализе характеристик разработанного ТЭУ с целью оценки надежности ее работы определены значения температуры на горячих спаев ТЭБ в различных режимах ее работы.

С этой целью построены зависимости, изображенные на рис.8, отражающие изменение температуры горячих спаев ТЭБ во времени при различных значениях тока питания ТЭБ. Согласно представленным графикам следует, что значение температуры горячих спаев ТЭБ (марки ICE-71) находится в приемлемых пределах вплоть до максимального значения тока питания (при токе питания 8 А температура горячего спаев ТЭБ составляет 333 К при температуре окружающей среды 310 К).

Данное обстоятельство определяет достаточно эффективный теплосъем в рассматриваемых условиях с горячих спаев ТЭБ и дает основание полагать о надежной работе разработанной системы при проведении мероприятий по остановке кровотока методом локального замораживания зоны кровотока.

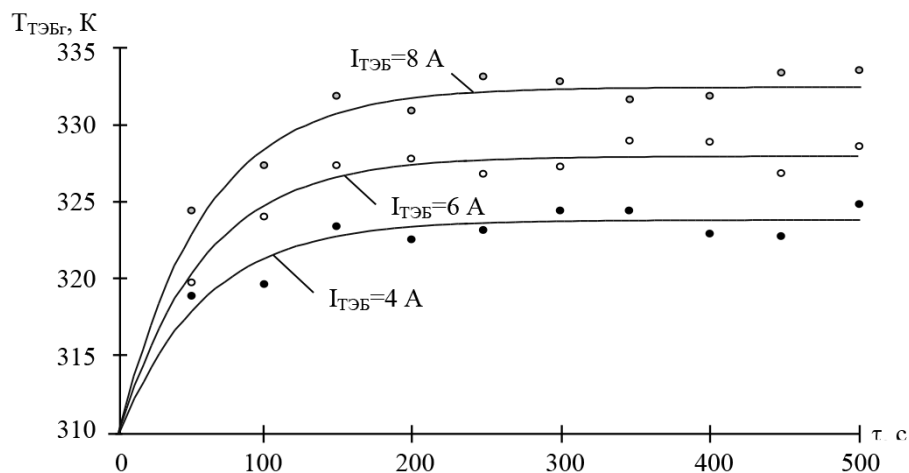


Рис. 8. Зависимость изменения температуры горячих спаев ТЭБ во времени при различных значениях тока питания

Fig. 8. Time dependence of temperature change of thermopile hot junctions at different values of supply current

По результатам экспериментов проведено сопоставление расчетных и опытных данных. На рис.8-9 помимо экспериментальных точек представлены также результаты теоретических изысканий.

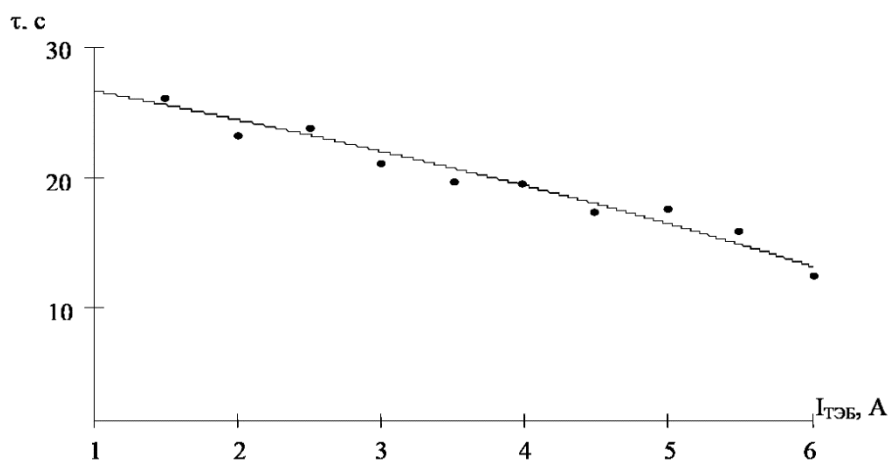


Рис. 9. Зависимость продолжительности размораживания ледяной корки от тока питания термоэлектрической батареи

Fig. 9. Dependence of the duration of defrosting of the ice crust on the thermopile supply current

Представленные данные определяют приемлемую точность математической модели ТЭС. Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 9 %. Наибольшее отклонение расчетных данных от опыта наблюдается на промежутке времени, связанном с выходом прибора на режим, что определяется влиянием окружающей среды и неидеальной тепловой изоляцией системы «прибор - имитатор биологического объекта», а также некоторым разбросом параметров ТЭБ и измерительных приборов.

Вывод. В настоящее время в практике оказания первой медицинской помощи, связанной с остановкой кровотечения, эффективным является использование новых методов, основанных на локальном замораживании зоны кровотока.

Существующие технические средства, реализующие данный метод имеют определенные недостатки: сложность использования в полевых условиях, где сказывается отсутствие постоянного источника холода, дискомфортность процедуры остановки кровотечения, риск обморожения тканей. Эффективным техническим средством для остановки кровотечения методом локального замораживания является ТЭУ специальной конструкции, дающее возможность обеспечивать высокую интенсивность охлаждения, сокращая продолжительность образования тромба, прекращающего кровоток, реверс тока, что дает возможность устранить болезненные ощущения при съеме прибора с поврежденного участка.

Проведены экспериментальные исследования устройства. В результате натурных испытаний прибора установлено, что для обеспечения эффективной работы прибора достаточным является использование промышленно выпускаемой ТЭБ марки ICE-71.

Библиографический список:

1. Корнеев А.В. Первая медицинская помощь / А.В. Корнеев. Донецк: БАО, 2013. 240 с.
2. Коношков А.С. Диагностическая и лечебная тактика при посттравматических носовых кровотечениях / А.С. Коношков К.В. Летягин // Российская оториноларингология. 2012. №1. С.99-102.
3. Левчук И.П. Медицина катастроф / И.П. Левчук, Н.В. Третьяков. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2011. 246 с.
4. Чередников Е.Ф. Опыт инновационного подхода к решению проблемы острых желудочно-кишечных кровотечений /Е.Ф. Чередников [и др.]//Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2010. Т.3, №4. С. 436-437.
5. Чередников Е.Ф. Современные направления профилактики и лечения больных с желудочно-кишечными кровотечениями в условиях центра / Е.Ф. Чередников [и др.] //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014 Т.13, №2. С. 426-430.
6. Яромиш И.В. Скорая и неотложная медицинская помощь /И.В. Яромиш. Минск: Вышэйшая школа. 2010. 289 с.
7. Ball C.G. A decade's experience with balloon catheter tamponade for the emergency control of hemorrhage / C.G. Ball, A.D. Wyrzykowski, J.M. Nicholas . *Journal Trauma*. 2011; 70 (2): 330-333.
8. Cherednikov, E.F. The role of etiopathogenetic aspects in prediction and prevention of discontinuous-hemorrhagic (Mallory-Weiss) syndrome / E.F. Cherednikov. *The EPMA Journal*. 2016;7: 7-15.
9. Hua Zhang Effect of Chinese tuina massage therapy on resting state brain functional network of patients with chronic neck pain / Zhang Hua, Chen Hong, Wang Hao, Li Duoduo, Jia Baolin, Tan Zhongjian, Zheng Bin, Weng Zhiwen. *Journal of traditional Chinese medical sciences*. 2015; 2: 60-68.
10. Glance L.G. Association between intraoperative blood transfusion and mortality and morbidity in patients undergoing noncardiac surgery. L.G. Glance, A.W. Dick, D.B. Mukamel, [et al.]. *Survey of Anesthesiology*. 2011; 55 (6): 288-289.
11. Görlinger K. Management of hemorrhage in cardiothoracic surgery / K. Görlinger, L. Shore-Lesserson, D. Dirkmann, [et al.] *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2013; 27(4): 20-34.
12. Stokes M.E. Impact of bleeding-related complications and/or blood product transfusions on hospital costs in inpatient surgical patients / M.E. Stokes, X. Ye, M. Shah, [et al.] *BMC health services research*. 2011; 11(1): 135.
13. Tiffany Field. Massage therapy research review / Field Tiffany. *Complementary therapies in clinical practice*. 2016; 24: 154-163.
14. Глыбочко П.В., Николаенко В.Н. и др. Первая медицинская помощь / П.В. Глыбочко, В.Н. Николаенко, [и др.]. М.: Академия. 2013. 305 с.
15. Буренина И.А. Современные методики криотерапии в клинической практике // Вестник современной клинической медицины. 2014. т. 7. С.57-61.

16. Патент РФ на изобретение № 2594821 Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., опубл. 20.08.2016, Бюл. №23.
17. Евдулов О.В. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для остановки кровотечения / О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов, Н.А. Набиев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. Т.44. №1. С. 26-36.
18. Yevdulov O.V. Device for stopping bleeding by local freezing of the blood flow zone / O.V. Yevdulov, Sh.A. Yusuf, N.A. Nabiev // Refrigeration science and technology: 3rd IIR Conference on cold applications in life sciences - cryotherapy and cryopreservation, proceedings. 2018; 3: 68-73.
19. Исмаилов Т.А. Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Набиев Н.А., Т.А. Рагимова // Медицинская техника. 2019. №2. С. 12-14.
20. <http://www.kryotherm.spb.ru> (дата доступа 11.12.2021).

References:

1. Korneev A.V. First medical aid. *Donetsk: BAO*, 2013; 240.
2. Konoshkov A.S. Diagnostic and therapeutic tactics for post-traumatic nosebleeds/A.S. Konoshkov, K.V. Letyagin. [Ros-siyskaya otorinolaringologiya] *Russian otorhinolaryngology*. 2012; 1: 99-102. (In Russ)
3. Levchuk I.P. Medicine of disasters / I.P. Levchuk, N.V. Tretyakov. *GEOTAR-Media*. 2011; 246. (In Russ)
4. Cherednikov E.F. Experience of an innovative approach to solving the problem of acute gastrointestinal bleeding / E.F. Cherednikov [et al.] [Vestnik eksperimental'noy i klinicheskoy khirurgii] *Bulletin of experimental and clinical surgery*. 2010; 3 (4); 436-437. (In Russ)
5. Cherednikov E.F. Modern directions of prevention and treatment of patients with gastrointestinal bleeding in the center / E.F. Cherednikov [et al.] [Sistemnyy analiz i upravleniye v biomeditsinskikh sistemakh] *System analysis and control in biomedical systems*. 2014; 13(2): 426-430. (In Russ)
6. Yaromich I.V. Ambulance and emergency medical care / I.V. Yaromich. Minsk: [Vyšejšaja škola] Higher school. 2010; 289.
7. Ball C.G. A decade's experience with balloon catheter tamponade for the emergency control of hemorrhage / C.G. Ball, A.D. Wyrzykowski, J.M. Nicholas. *Journal Trauma*. 2011; 70 (2): 330-333.
8. Cherednikov, E.F. The role of etiopathogenetic aspects in prediction and prevention of discontinuous-hemorrhagic (Mallory-Weiss) syndrome / E.F. Cherednikov. *The EPMA Journal*. 2016; 7: 7-15.
9. Hua Zhang. Effect of Chinese tuina massage therapy on resting state brain functional network of patients with chronic neck pain / Zhang Hua, Chen Hong, Wang Hao, Li Duoduo, Jia Baolin, Tan Zhongjian, Zheng Bin, Weng Zhiwen. *Journal of traditional Chinese medical sciences*. 2015; 2: 60-68.
10. Glance L.G. Association between intraoperative blood transfusion and mortality and morbidity in patients undergoing noncardiac surgery / L.G. Glance, A.W. Dick, D.B. Mukamel, [et al.]. *Survey of Anesthesiology*. 2011; 55 (6): 288-289.
11. Görlinger, K. Management of hemorrhage in cardiothoracic surgery / K. Görlinger, L. Shore-Lesserson, D. Dirkmann, [et al.] *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2013; 27(4): 20-34.
12. Stokes M.E. Impact of bleeding-related complications and/or blood product transfusions on hospital costs in inpatient surgical patients / M.E. Stokes, X. Ye, M. Shah, [et al.] *BMC health services research*. 2011; 11(1): 135.
13. Tiffany Field. Massage therapy research review/Field Tiffany. *Complementary therapies in clinical practice*. 2016; 24: 154-163.
14. Glybochko P.V., Nikolaenko V.N. et al. First medical aid. [Akademiya] *Academy*. 2013; 305. (In Russ)
15. Burenina I.A. Modern methods of cryotherapy in clinical practice [Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny] *Bulletin of modern clinical medicine*. 2014; 7:57-61. (In Russ)
16. RF patent for invention No. 2594821 Thermoelectric device for stopping bleeding / Ismailov TA, Evdulov OV, Evdulov DV, publ. 08/20/2016, Bul. No. 23. (In Russ)
17. Evdulov O.V. Thermoelectric semiconductor device for stopping bleeding / O.V. Evdulov, D.V. Evdulov, N.A. Nabiev [Vestnik Daghestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2017; 44(1): 26-36. (In Russ)
18. Yevdulov O.V. Device for stopping bleeding by local freezing of the blood flow zone / O.V. Yevdulov, Sh.A. Yusuf, N.A. Nabiev. Refrigeration science and technology: 3rd IIR Conference on cold applications in life sciences - cryotherapy and cryopreservation, proceedings. 2018; 3: 68-73.
19. Ismailov T.A. Thermoelectric device for stopping bleeding/T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, N.A. Nabiev, T.A. Ragimova. [Meditsinskaya tekhnika] *Biomedical Engineering*. 2019; 2:12-14. (In Russ)
20. <http://www.kryotherm.spb.ru> (accessed 12/11/2021).

Сведения об авторах:

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

Набиев Наби Абдулаевич, соискатель кафедры теоретической и общей электротехники, alternativa9372@mail.ru.

Магомадов Рустам Абу-Муслимович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники и электропривода, rustmag_80@mail.ru.

Митаров Ризван Гаджимирзаевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики, ole-ole-ole@rambler.ru

Information about the authors:

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

Nabi A. Nabiev, Applicant, Department of Theoretical and General Electrical Engineering, alternativa9372@mail.ru.

Rustam A.-M. Magomadov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Department of Electrical Engineering and Electric Drive, rustmag_80@mail.ru.

Rizvan G. Mitarov. Dr. Sci. (Physical and Mathematical), Prof., Department of Physics, ole-ole-ole@rambler.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 03.10.2021.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 30.10.2021.

Принята в печать/Accepted for publication 01.11.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 004.89

DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-44-54

Оригинальная статья /Original Paper

**Описание метода нечеткого ситуационного управления
на основе композиционной гибридной модели сложной технической системы**
Д.Ю. Авраменко

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске,
214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, 1, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является обобщение накопленного опыта нечеткого ситуационного управления на основе композиционной гибридной модели сложной технической системы в виде алгоритма и формирование на этой основе рекомендаций по методике формирования и идентификации ситуаций, определяющих параметров и решений для управления сложной технической системой в условиях неполных данных для повышения точности управляющих решений. **Метод.** Исследование основано на моделировании системы в условиях неполноты данных и невозможности получения информации обо всем диапазоне работы системы. Нечеткое ситуационное управление позволяет выработать управляющие решения в соответствии с выбранной стратегией управления и учесть специфику системы благодаря композиционной модели. **Результат.** Предложен алгоритм нечёткого ситуационного управления сложными техническими системами на основе композиционных гибридных моделей. Рассмотрены этапы, особенности, достоинства и недостатки нечёткого ситуационного управления для данного типа систем. Задан порядок определения и однозначной идентификации возникающих нечётких ситуаций для системы, а также рассмотрены методы анализа и выработки типовых стратегий управления. Рассматриваемая в статье композиционная гибридная модель сложной технической системы описывает работу экспериментальной компрессорной установки ЭЦК-55. **Вывод.** К основным достоинствам разработанного нечёткого ситуационного метода управления сложными техническими системами относятся: интеграция системы управления с уже существующими элементами системы; лучшее использование имеющихся ресурсов; адаптивность и надежность метода управления, основанного на нечётких ситуационных сетях и композиционной гибридной модели системы. Определены стратегии управления, позволяющие выполнять требования потребителя по качеству продукта, а также безопасности работы персонала и оборудования, безаварийности производства и экономии ресурсов.

Ключевые слова: нечёткие ситуационные сети, нечёткое ситуационное управление, сложные технические системы, композиционные гибридные модели, нейронные сети, нечёткие сети, компрессорная установка

Для цитирования: Д.Ю. Авраменко. Описание метода нечеткого ситуационного управления на основе композиционной гибридной модели сложной технической системы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 44-54. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-44-54

**Description of the method of fuzzy situational control based on a composite hybrid model
of a complex technical system**

D.Yu. Avramenko

Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk,
214013, Smolensk, Energeticheskyy pr-d, 1, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to generalize the accumulated experience of fuzzy situational control based on a compositional hybrid model of a complex technical system in the form

of an algorithm and, on this basis, to form recommendations on the methodology for the formation and identification of situations, determining parameters and solutions for managing a complex technical system under conditions incomplete data to improve the accuracy of control decisions. **Method.** The use of a compositional hybrid model solves the problem of describing and modeling the system in conditions of incomplete data and the impossibility of obtaining information about the entire range of the system's operation. Fuzzy situational control makes it possible to develop control decisions in accordance with the chosen control strategy and take into account the specifics of the system thanks to the compositional model. **Result.** An algorithm for fuzzy situational control of complex technical systems based on compositional hybrid models is proposed. The stages, features, advantages and disadvantages of fuzzy situational control for this type of systems are considered. The procedure for determining and unambiguously identifying emerging fuzzy situations for the system is given, and a method for analyzing and developing typical control strategies is also considered. The compositional hybrid model of a complex technical system considered in the article describes the operation of the experimental compressor unit ETsK-55. **Conclusion.** The main advantages of the developed fuzzy situational method for managing complex technical systems include: integration of the control system with existing elements of the system; better use of available resources; adaptability and reliability of a control method based on fuzzy situational networks and a composite hybrid model of the system. Management strategies have been defined to meet the customer's requirements for product quality, as well as the safety of personnel and equipment, trouble-free production and saving resources.

Key words: fuzzy situational networks, fuzzy situational control, complex technical systems, composite hybrid models, neural networks, fuzzy networks, compressor unit

For citation: D.Yu. Avramenko. Description of the method of fuzzy situational control based on a composite hybrid model of a complex technical system. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (4): 44-54. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-44-54

Введение. Нечёткие ситуационные сети (НСС) представляют собой нечёткие ориентированные взвешенные графы переходов по нечётким эталонным (типовым) ситуациям. Набор и последовательность управляющих решений из текущей целевой ситуации определяются стратегией управления и нечётким маршрутом в этой сети. Для построения НСС используются нечёткие отношения, а также нечёткие модели типа «нечёткая ситуация – стратегия управления – управляющее решение», определяющие степени соответствия управляющих решений нечётким ситуациям и цели управления [1-4]. Нечёткое ситуационное управление (НСУ) СТС позволяет учитывать специфику композиционного моделирования и различных стратегий ситуационного управления, в зависимости от складывающихся условий и предъявляемых требований.

Описанные в работах [5-8, 9-12] особенности позволяют обосновать целесообразность применения для управления СТС нечёткого ситуационного подхода, позволяющего учитывать специфику композиционного моделирования и различных стратегий ситуационного управления в зависимости от складывающихся условий и предъявляемых требований.

Постановка задачи. Целью исследования является обобщение накопленного опыта нечеткого ситуационного управления (НСУ) на основе композиционной гибридной модели сложной технической системы в виде алгоритма и формирование на этой основе рекомендаций по методике формирования и идентификации ситуаций, определяющих параметров и решений для управления СТС в условиях неполных данных для повышения точности управляющих решений.

Методы исследования. В работе обобщены методы и алгоритмы нечеткого ситуационного управления на основе композиционной гибридной модели (КГМ) сложной технической системы (СТС), а также предложены механизмы идентификации текущей ситуации относительно содержащихся в базе типовых нечётких ситуаций и выбора управляющих воздействий, или последовательности таких воздействий в зависимости от выбранных стратегий управления.

Этапы предлагаемого метода нечеткого ситуационного управления сложной технической системой:

1. Сбор данных о сложной технической системе, выделение технических параметров, описывающих систему.
2. Выделение отдельных ситуаций и определяющих их параметров.
3. Представление каждой ситуации в виде ситуаций второго уровня.
4. Формирование управляющих решений для перехода между ситуациями и их весов для различных стратегий управления.
5. Проверка связей между ситуациями, погрешностей и учет всех необходимых параметров.
6. Построение нечёткой ситуационной сети для управления СТС.
7. Определение целевой нечёткой ситуации СТС.
8. Идентификация нечёткой текущей ситуации, характеризующей состояние СТС.
9. Сопоставление идентифицированной нечёткой текущей ситуации со всеми нечёткими ситуациями НСС.
10. Определение и реализация стратегии ситуационного управления (последовательно-сти управляющих решений) по переводу СТС из текущей в целевую нечёткую ситуацию в соответствии с выбранным критерием эффективности управления.

При функционировании СТС этапы 7–10 циклически повторяются (с учетом степени инерционности системы). При изменении состава показателей и диапазонов их изменений осуществляется построение и настройка НСС (этапы 1–6).

Алгоритм нечёткого ситуационного управления СТС. Предлагаемый метод управления основан на анализе текущей ситуации, получаемого при вводе различных входных данных в модель системы управления. Входными данными является множество параметров, описывающих СТС и процессы, происходящие в ней, выходными данными являются управляемые параметры системы [6].

Результаты функционирования системы оцениваются с помощью моделирования в КГМ СТС. Важным фактором является возможность внесения изменений в структуру нечёткой ситуационной модели и КГМ СТС, что позволяет получать актуальные решения о работе системы в связи с динамическим изменением её характеристик.

Для нечёткого ситуационного управления СТС в условиях реального объекта выполняется декомпозиция системы на отдельные подсистемы, описание которых в зависимости от типа и полноты исходных данных распределяется между различными типами моделей. Далее формируются сами ситуации и переходы между ними. Также необходимо учесть, что ситуации и переходы между ними будут иметь различный вес в зависимости от выбранной стратегии управления. В процессе функционирования системы управления могут корректироваться описания ситуаций, изменяться знания об объекте и методах управления им.

К основным задачам нечёткого ситуационного управления СТС относятся следующие: идентификация текущей ситуации системы, её состояния; формирование действий (управляющих решений) и последовательностей действий в зависимости от ситуаций и выбранных стратегий управления; адаптация сложной технической системы к изменениям условий взаимодействия с окружающей средой и изменению самой СТС с учетом целей функционирования системы и стратегий управления.

В ходе исследования выполнен анализ методов решения этих задач нечёткого ситуационного управления СТС, основанных на композиционном гибридном моделировании системы и построении стратегий управления.

Алгоритм нечёткого ситуационного управления СТС представлен на рис.1.

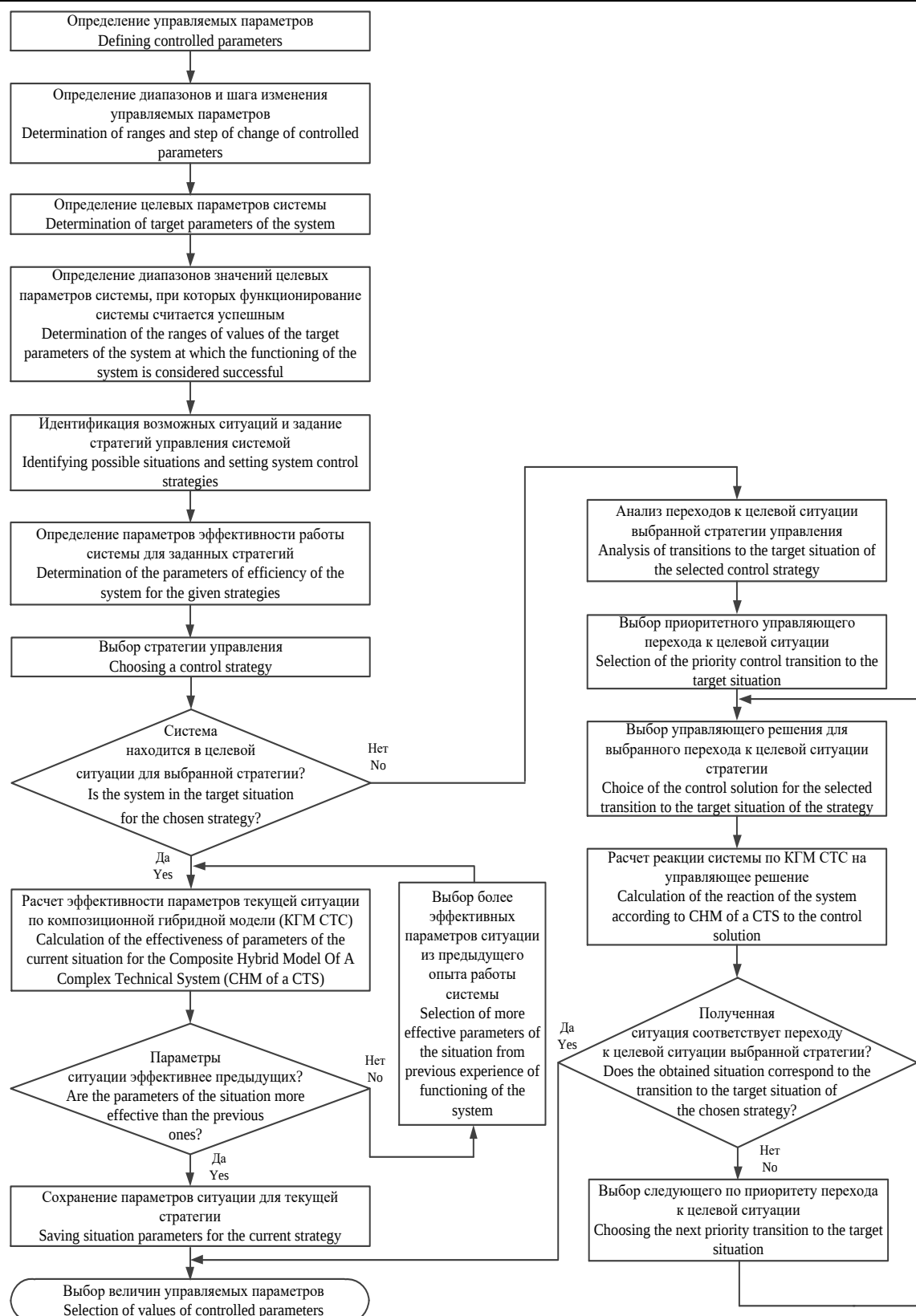


Рис. 1. Алгоритм нечёткого ситуационного управления сложными техническими системами
Fig. 1. Algorithm of fuzzy situational management of complex technical systems

Для обеспечения качества функционирования и эффективного управления системой необходимо выделить из всего списка параметров, описывающих СТС, целевые параметры. Это параметры, с помощью которых оценивают качество работы системы и достижение требуемых значений для продукта. Для управляемых параметров эти диапазоны определяют границы

изменений при поиске оптимальных ситуаций и режимов работы СТС [7]. От изменения значений управляемых параметров зависит, в каком состоянии будет находиться система, каков будет её режим работы и будет ли способна система выполнять свои функции.

Задание и изменение управляемых параметров осуществляется с шагом, который позволяют обеспечить регулирующие органы, задающие эти параметры (например, клапаны, вентили, контакты) и КИПы. Для реализации метода нечёткого ситуационного управления необходимо определить минимальное возможное значение шага изменения для каждого из управляемых параметров [8]. Также необходимо знать и учитывать зоны нечувствительности (дифференциал) прибора.

На управление и анализ работы системы также влияют чувствительные элементы (датчики). Анализ состояния системы производится по показаниям КИП и от их точности, частоты поверки и правильности установки зависят сигналы, поступающие в систему управления и на регулирующие органы.

Идентификация возможных ситуаций и задание стратегий управления системой. Для анализа и идентификации возможных ситуаций необходимо:

- определить целевые и управляемые параметры;
- задать диапазоны изменения значений всех параметров СТС;
- описать и оценить в оговоренных диапазонах нежелательные опасные ситуации и их возможные последствия, а также оптимальные диапазоны параметров для работы;
- учесть меры и управляющие воздействия, смягчающие негативные последствия опасных ситуаций: немедленные и проявляющиеся с течением времени, а также распространяющиеся на соседнее оборудование;
- учесть меры и управляющие воздействия, позволяющие предотвратить опасные ситуации;
- задать терм-множество для каждого параметра;
- выделить значащие целевые параметры, которые однозначно описывают ситуации, возникающие при работе системы;
- при помощи экспертов сформировать все возможные комбинации термов параметров для наиболее частых ситуаций при работе системы, для опасных ситуаций, переходных процессов, разных уровней нагрузки на СТС, ситуаций пуска и остановки оборудования, режимов работы при осуществлении ремонта и замены оборудования;
- для сформированных ситуаций определить возможные переходы между ними и управляющие решения для осуществления этих переходов;
- для каждого перехода присвоить коэффициенты в соответствии с выбранными стратегиями управления.

Целевые параметры — это параметры, показывающие качество работы системы и её эффективность, достижение требуемых характеристик продукта и задач функционирования СТС.

Для СТС можно выбрать одну оптимальную стратегию, но учитывая изменяющиеся условия работы лучше сформировать несколько стратегий в зависимости от особенностей конкретной системы.

Например, центробежный компрессор является опасным оборудованием и в случае перехода в режим помпажа может произойти взрыв и разлетание частей центробежной машины с большой скоростью, что влечет за собой человеческие жертвы и вывод из строя техники без возможности её восстановления. Стратегия безопасности поможет избежать возникновения опасных ситуаций, но для обеспечения качества продукта или экономии на производстве необходимо учитывать еще и другие стратегии, а также и их комбинации.

В процессе формирования возможных комбинаций параметров, задающих ситуации, происходит полный перебор сочетаний термов этих параметров в заданных диапазонах. Значения параметров системы и окружающей среды поступают в систему управления и происходит

идентификация текущей ситуации в соответствии с ситуациями, которые были сформированы с помощью экспертов.

Также текущая ситуация подвергается анализу, проверяется на оптимальность для выбранной стратегии и происходит расчет и поиск более эффективных параметров работы системы для выбранной ситуации в соответствии с целевыми критериями. Итоговое значение показателя эффективности сравнивается с полученными ранее значениями и, в случае если текущий режим функционирования эффективнее предыдущих, сохраняется.

Когда все сочетания вариантов термов параметров проверены, получаем итоговые варианты сформированных ситуаций и формируем их взаимосвязи, возможности переходов и соответствующие управляющие решения.

Для сохранения стабильности системы рекомендуется из предложенных моделью вариантов выбрать такой, при котором изменения управляемых параметров были бы минимальны.

Задачи, решаемые нечёткой ситуационной моделью управления сложной технической системой. Комбинирование модулей КГМ СТС позволяет создать достаточно точную нечёткую ситуационную систему управления в условиях неполной и разрозненной информации о сложной системе.

Нечёткая ситуационная система управления на основе КГМ позволяет решать несколько основных задач и подзадач:

Контроль (приоритетная задача): осуществление постоянного мониторинга работы системы в фоновом режиме, путем сбора и расчета данных, поступающих с датчиков, КИП и приборов; постоянство анализа динамики изменения параметров в сторону критических значений и прогнозирование возможных аварийных ситуаций на основе анализа работы системы; оповещение персонала и выработка рекомендаций по регулированию в случае нештатных ситуаций; включение средств управления и контроля, прекращающих и предотвращающих развитие аварийных ситуаций; обеспечение высокого уровня безопасности технологического процесса.

Управление: контроль и выработка рекомендаций по управлению производственными процессами, а также поддержание их качества на регламентированном уровне; постоянство анализа динамики изменения параметров в сторону критических значений и прогнозирование возможных аварийных ситуаций; уменьшение амплитуды колебаний рабочих параметров; поддержание режима работы близкого к оптимальному, с учетом безопасности, качества и экономичности процессов; обеспечение высокого уровня безопасности технологического процесса; повышение ресурса оборудования за счет уменьшения числа остановов и пусков, учета нагрузок и износа, точной диагностики и своевременного ремонта.

Проектирование: поиск оптимальных конструкций и режимов работы оборудования с учетом заданных пользователем характеристик; помощь проектировщикам при проведении расчетных исследований – сужение зоны поиска оптимальных конструкций и уменьшение объема расчетов.

Моделирование: расчет характеристик в промежуточных областях, не охваченных экспериментальными испытаниями; поиск оптимальных режимов работы и конструкций оборудования; оценка реакции системы на изменение параметров по модели до воздействия на саму систему; экономия средств на испытаниях натурных моделей; расчет характеристик для подбора оборудования, с возможностью фиксации части параметров СТС.

Обучение персонала: отработка алгоритма действий персонала в случае нештатных и аварийных ситуаций; знакомство нового персонала с технологическими процессами в системе и спецификой её работы; более точная диагностика системы позволяет персоналу запоминать ключевые ситуации и способы их устранения; обучение персонала управлению и регулированию сложной системы; сокращение времени обучения персонала; экономия средств на испытаниях натурных моделей; увеличение ресурса оборудования, его ремонтпригодности; сокращение ошибок при работе персонала с СТС.

Достоинства нечёткого ситуационного управления СТС на основе композиционной гибридной модели:

Интеграция. Для создания системы управления исходят из уже имеющейся системы регулирования рабочих процессов и управления на нижнем уровне (например, аварийная защита оборудования), добавляя к ней управление более высокого уровня и осуществляя тем самым интеграцию всего управления системой.

Лучшее использование имеющихся ресурсов. При изменении текущей ситуации система управления стремится вернуть систему к оптимальному режиму работы, тем самым уменьшая затраты на единицу выработки (например, при максимальном КПД компрессора на выработку сжатого газа с заданными характеристиками затрачивается меньше электрической энергии). За счет декомпозиции модели СТС вычислительные мощности системы управления не перегружаются. Нечёткий ситуационный подход также позволяет снять излишнюю нагрузку с оператора за счет предварительного анализа текущей ситуации и облегчает диагностику оборудования для обслуживающего персонала.

Преодоление ограниченных возможностей элементов системы. Иногда задача, подлежащая выполнению, такова, что её нельзя решить применением ни одного из имеющихся управляющих воздействий, например, ограничения в работе конкретного элемента. Однако нечёткий ситуационный подход за счет возможности управляющего перехода, составленного из нескольких управляющих решений, позволяет привести систему в нужное состояние с учетом предпочтительной стратегии управления. Глобальная задача перехода из текущей ситуации в оптимальную образует последовательность переходов и управляющих решений.

Стратификация. Модели СТС можно получить на основе стратификации с учетом физических подсистем, управленческих и экономических аспектов и т. п. А задачи, являющиеся целью функционирования системы, могут быть конкретизированы путем установления последовательностей необходимых подзадач (управляющих решений).

Адаптивность и надежность. Декомпозиция модели СТС позволяет локализовать изменения в процедурах управления и их последствий и обеспечить надежность работы, снизить затраты времени на принятие решений в нестандартных ситуациях, а также локализовать неисправности системы за счет анализа расхождений между показаниями КИПов системы и результатами, рассчитанными моделью.

Композиционную модель адаптируют к изменениям в структуре СТС, замене оборудования и изменению её параметров. Дообучение и замена блоков модели позволяют максимально точно описывать характеристики СТС. Причем при появлении расхождений изменяется не вся модель, а только отдельные части.

Нечёткий ситуационный подход позволяет по мере накопления знаний о работе СТС определять новые ситуации или объединять в классы схожие ситуации. Достоинством данного метода является его высокая адаптивность, которая обеспечивается нечётким ситуационным подходом и композиционной гибридной моделью СТС.

Однако, не смотря на перечисленные достоинства, существует ряд факторов, ограничивающих применение нечётких ситуационных сетей и основанных на них методов для моделирования сложных технических систем, а именно: сложность создания нечётких ситуационных сетей и анализа информации о системе; сложность внесения изменений в НСС при добавлении или исключении ситуаций и управляющих решений, а также сложность генерации дополнительных ситуаций при условии недостижимости целевой ситуации; недостаточные возможности для учета взаимозависимости нечётких ситуационных признаков, что может приводить к некорректному анализу влияния управляющих решений; сложность совместного учета различных типов взаимодействия при моделировании системы, большая работа по проверке адекватности НСС реальной системе.

Указанные факторы позволяют обосновать целесообразность разработки нечётких ситуационных моделей и основанных на них методов управления сложными техническими системами. Для учета и проверки взаимозависимости параметров в модель управления системы

включена композиционная гибридная модель, учитывающая влияние управляющих решений на систему до внесения изменений в функционирование СТС. Сложность создания и внесения изменений в НСС сопоставима по сложности с созданием системы управления и моделей СТС другими способами.

Обсуждение результатов. Эффективность использования предложенного метода нечёткого ситуационного управления центробежными компрессорами оценивалась с помощью экспериментального стенда ЭЦК-55 (экспериментальный центробежный компрессор, мощность электропривода 55 кВт).

По результатам проведенных исследований в качестве признаков для нечёткого ситуационного управления рассматриваемым центробежным компрессором выделены следующие: p_1 – давление сжатого газа после компрессора; p_2 – температура сжатого газа после компрессора; p_3 – расход сжатого газа; p_4 – p_6 – температура, давление и влажность газа после охладителей и осушителей перед выдачей потребителю, соответственно.

Для иллюстрации нечёткого ситуационного управления компрессорной установкой представлен фрагмент построенной НСУС (рис.2).

Рассмотрено 38 различных вариантов геометрии проточной части стенда (СПЧ), испытания проводились при нескольких значениях числа Маха (M_u). Всего произведены замеры 75 экспериментов, каждый включает 5-6 измерений при различных значениях условного коэффициента расхода Φ [5, 9 -12].

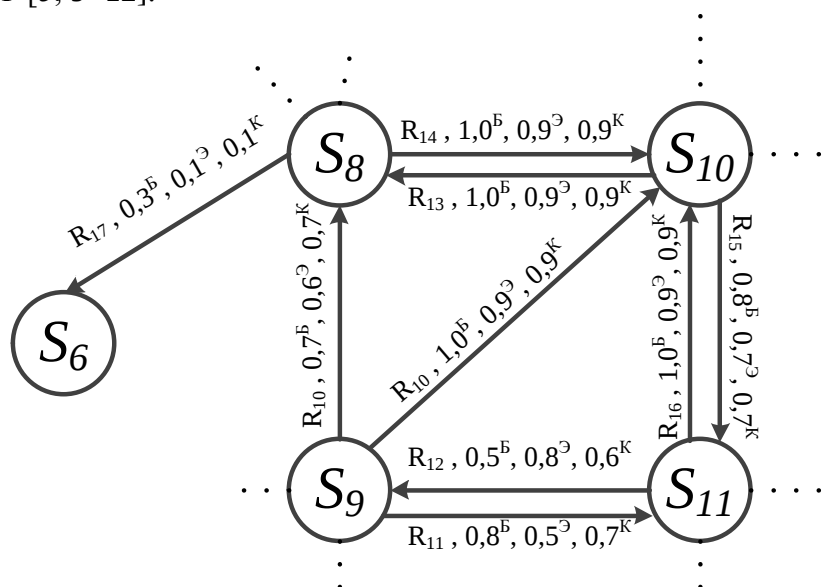


Рис. 2. Фрагмент нечёткой ситуационной управляющей сети для управления компрессорной установкой

Fig. 2. Fragment of a fuzzy situational control network for controlling a compressor unit

Целевыми параметрами являлись характеристики коэффициента напора ψ и КПД η , рис. 3 (рассматривается одно значение по Φ).

На рис. 3 использованы следующие обозначения: *Опер-р* – экспериментальные данные (управление осуществлялось оператором без использования предложенного метода), учитывались следующие стратегии нечёткого ситуационного управления: *B* – «Безопасность», *E* – «Экономия», *K* – «Качество», *B_K* – «Безопасность – Качество», *B_E* – «Безопасность – Экономия». Данные с учетом стратегий, получены в результате использования метода нечёткого ситуационного управления.

Гистограммы (рис. 3) иллюстрируют результаты применения описанных выше стратегий нечёткого ситуационного управления компрессорной установкой.

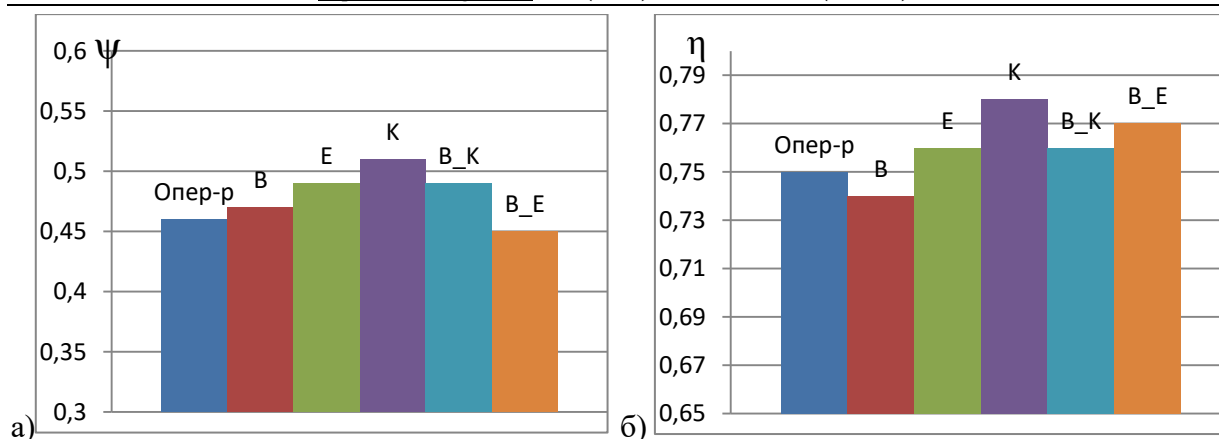


Рис. 3. Результат применения стратегий управления системой
Fig. 3. The result of applying system control strategies

Средняя относительная погрешность по всем проведенным испытаниям при нечётком ситуационном управлении составила 3,5% для значений КПД и 2,8 % для коэффициента напора.

Разработанная нечёткая ситуационная система управления компрессорной установкой на основе композиционных гибридных моделей используется при проведении испытаний модельных ступеней центробежных компрессоров на экспериментальном стенде ЭЦК-55.

Результаты оценки эффективности использования предложенного метода нечёткого ситуационного управления, проведенной с использованием стенда ЭЦК-55 для испытания модельных ступеней, подтверждают целесообразность использования данного метода для СТС рассматриваемого класса.

Приведенные результаты нечеткого ситуационного управления на основе композиционной гибридной модели сложной технической системы наглядно показывают преимущества данного метода перед обычным управлением СТС. Это согласуется с результатами, полученными зарубежными коллегами о нечетком ситуационном управлении и гибридном моделировании в различных научных областях – энергетические системы, водный транспорт, процессы в финансах и химической промышленности [13-21].

Однако именно применение нечётких ситуационных сетей в совокупности с КГМ позволяет осуществлять оптимальное управление с учетом выбранных стратегий, а также максимально точно описывать СТС и анализировать влияние управляющих решений на её работу.

Вывод. Разработан нечёткий ситуационный метод управления сложными техническими системами, к основным достоинствам которого относятся: интеграция системы управления с уже существующими элементами системы, лучшее использование имеющихся ресурсов, а также адаптивность и надежность метода управления, основанного на нечётких ситуационных сетях и композиционной гибридной модели системы.

Выделены стратегии управления, позволяющие выполнять требования потребителя по качеству продукта, а также безопасности работы персонала и оборудования, безаварийности производства и экономии ресурсов.

Такая система управления позволяет решать несколько основных задач: контроля и управления СТС, проектирования, моделирования и обучения персонала.

Библиографический список:

1. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
2. Поспелов Д.А. Большие системы. Ситуационное управление. М.: Знание, 1975. 64 с.
3. McCarthy J. Actions and other events in situation calculus // In Proc. of Proceedings of the Eighth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR-2002), 2002. pp. 615-628.
4. Ситчихин А.Н. Иерархические ситуационные модели с предысторией для автоматизированной поддержки решений в сложных системах. Автореферат дисс. канд. техн. наук.: Уфа, 2002. 20 с.

5. Борисов В. В., Авраменко Д. Ю. Нечеткое ситуационное управление сложными системами на основе их композиционного гибридного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 3. С. 207-237. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-3-207-237.
6. Majors M. Stori J. Cho D. -I. Neural network control of automatic terms // IEEE Control Systems. 1994. V. 14. N 3. pp. 31-36.
7. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений. Наука, 1987. 350с.
8. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос. 2002.
9. Никифоров А.Г., Авраменко Д.Ю. Подготовка экспериментальных данных для нейросетевого моделирования характеристик центробежных компрессоров // Научно-технические ведомости, СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 4. С. 61-71. DOI: 10.18721/JEST.240406.
10. Попова Д.Ю., Борисов В.В. Элементы и режимы работы композиционной модели сложной технической системы // XVI Всероссийская науч. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение». Тезисы докладов. М.: МГППУ, 2018. 13 марта 2018 г. С. 191- 194.
11. D. Popova. Neuro-Fuzzy Modeling of Compressor Unit Performance//3 Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications RPC 2018 (Третья Российско-Тихоокеанская конференция по компьютерным технологиям и приложениям). Владивосток. 18-25 августа 2018. DOI: 10.1109/RPC. 2018. 8482214
12. D. Avramenko, A. Nikiforov, A. Kuchumov, S. Terentev, Yu. Galerkin, O. Solovyeva. Vaneless diffusers characteristics simulating by means of neural networks // 11th International Conference on "Compressors and their Systems". – London. September 9-11, 2019. DOI:10.1088/1757-899X/604/1/012046.
13. Bei Sun, Chunhua Yang, Yalin Wang, Weihua Gui, Ian Craig, Laurentz Olivier. A comprehensive hybrid first principles/machine learning modeling framework for complex industrial processes. *Journal of Process Control*. V. 86, February 2020, P. 30-43. DOI:10.1016/j.jprocont.2019.11.012.
14. Andrew A.Evstifeev, Margarita A.Zaeva. Method of Applying Fuzzy Situational Network to Assess the Risk of the Industrial Equipment Failure // *Procedia Computer Science*. V. 190, 2021, P. 241-245. DOI: 10.1016/j.procs.2021.06.030.
15. Anatolii Kargin, Sergej Panchenko, Aleksejs Vasiljevs, Tetyana Petrenko. Implementation of cognitive perception functions in fuzzy situational control model. *Procedia Computer Science*. 2019; 149: 231-238. DOI: 10.1016/j.procs.2019.01.128.
16. Pavel Yu. Buchatskiy; Vladimir S. Simankov; Andrey V. Shopin. Approach to Managing an Autonomous Energy Complex with Renewable Energy Sources based on Fuzzy Models. 2019 International Russian Automation Conference. September 2019. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867728
17. Annamária R. Várkonyi-Kóczy; Imre J. Rudas. TS fuzzy modeling based anytime control methodology for situational control // 2011 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference. Hangzhou, China – May 10-12, 2011. DOI: 10.1109/IMTC.2011.5944354
18. Pegah Amini, Mehdi Khashei. A soft intelligent allocation-based hybrid model for uncertain complex time series forecasting // *Applied Soft Computing*, V. 84, November 2019, 105736. DOI: 10.1016/j.asoc.2019.105736.
19. Ruxin Gao, Yahui Zhang, David Kennedy. Application of the dynamic condensation approach to the hybrid FE-SEA model of mid-frequency vibration in complex built-up systems // *Computers & Structures*, V. 228, February 2020, 106156. DOI: 10.1016/j.compstruc.2019;106156.
20. Sultan Alqahtani, Tarek Echekki. A data-based hybrid model for complex fuel chemistry acceleration at high temperatures // *Combustion and Flame*, V. 223, January 2021, P. 142-152. DOI: 10.1016/j.combustflame.2020.09.022.
21. Slimane Ouhmad, Abderrahim Beni-Hssane, Abdelmajid Hajami. The hybrid neural model to strengthen the e-nose restricted in real complex conditions. *Procedia Computer Science*, 2018; 107-113. DOI: 10.1016/j.procs.2018.07.150.

References:

1. Melikhov A.N., Bershtein L.S., Korovin S.Ya. Situational advising systems with fuzzy logic. [Nauka]. *Science*. 1990; 272 (In Russ)
2. Pospelov D.A. Large systems. Situational management. [Znaniye] *Knowledge*. 1975; 64. (In Russ)
3. McCarthy J. Actions and other events in situation calculus // In Proc. of Proceedings of the Eighth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR-2002), 2002; 615-628.
4. Sitchikhin A.N. Historical hierarchical situational models for automated decision support in complex systems. Abstract dissertation. PHD. : Ufa, 2002; 20. (In Russ)
5. Borisov V. V., Avramenko D. Yu. Fuzzy situational control of complex systems based on their compositional hybrid modeling. [Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti] *Control Systems, Communications and Security*. 2021; 3: 207-237. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-3-207-237. (In Russ)
6. Majors M. Stori J. Cho D. -I. Neural network control of automatic terms. *IEEE Control Systems*. 1994; 14(3): 31-36.
7. Makarov I.M. The theory of choice and decision making. [Nauka]. *Science*. 1987; 350. (In Russ)
8. Larichev O.I. Theory and methods of decision making. *Logos*. 2002. (In Russ)
9. Nikiforov A.G., Avramenko D.Yu. Preparation of experimental data for neural network modeling of characteristics of centrifugal compressors. [Nauchno-tehnicheskiye vedomosti, SPbPU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki] *Scientific and technical statements, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Natural and engineering sciences*. 2018; 24(4): 61-71. DOI: 10.18721/JEST.240406. (In Russ)
10. Popova D.Yu., Borisov V.V. Elements and modes of operation of a compositional model of a complex technical system. XVI All-Russian Scientific Conference. "Neurocomputers and their application". Abstracts of reports. MGPPU, 2018.13 March 2018; 191-194. (In Russ)
11. Popova D. Neuro-Fuzzy Modeling of Compressor Unit Performance. 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications RPC 2018. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482214

12. Avramenko D., Nikiforov A., Kuchumov A., Terentev S., Galerkin Yu., Solovyeva O. Vaneless diffusers characteristics simulating by means of neural networks. 11th International Conference on "Compressors and their Systems". London. September 9-11, 2019. DOI:10.1088/1757-899X/604/1/012046.
13. Bei Sun, Chunhua Yang, Yalin Wang, Weihua Gui, Ian Craig, Laurentz Olivier. A comprehensive hybrid first principles/machine learning modeling framework for complex industrial processes. *Journal of Process Control*. February 2020; 86: 30-43. DOI:10.1016/j.jprocont.2019.11.012.
14. Andrew A.Evstifeev, Margarita A.Zaeva. Method of Applying Fuzzy Situational Network to Assess the Risk of the Industrial Equipment Failure. *Procedia Computer Science*. 2021; 190: 241-245. DOI: 10.1016/j.procs.2021.06.030.
15. Anatolii Kargin, Sergej Panchenko, Aleksejs Vasiljevs, Tetyana Petrenko. Implementation of cognitive perception functions in fuzzy situational control model. *Procedia Computer Science*. 2019; 149: 231-238. DOI: 10.1016/j.procs.2019.01.128.
16. Pavel Yu. Buchatskiy; Vladimir S. Simankov; Andrey V. Shopin. Approach to Managing an Autonomous Energy Complex with Renewable Energy Sources based on Fuzzy Models. 2019 International Russian Automation Conference. September 2019. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867728
17. Annamária R. Várkonyi-Kóczy; Imre J. Rudas. TS fuzzy modeling based anytime control methodology for situational control. 2011 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference. Hangzhou, China – May 10-12, 2011. DOI: 10.1109/IMTC.2011.5944354
18. Pegah Amini, Mehdi Khashei. A soft intelligent allocation-based hybrid model for uncertain complex time series forecasting. *Applied Soft Computing*. November 2019; 84: 105736. DOI: 10.1016/j.asoc.2019.105736.
19. Ruxin Gao, Yahui Zhang, David Kennedy. Application of the dynamic condensation approach to the hybrid FE-SEA model of mid-frequency vibration in complex built-up systems. *Computers & Structures*. V. 228, February 2020, 106156. DOI: 10.1016/j.compstruc. 2019;106156.
20. Sultan Alqahtani, Tarek Echekki. A data-based hybrid model for complex fuel chemistry acceleration at high temperatures. *Combustion and Flame*, V. 223, January 2021; 142-152. DOI: 10.1016/j.combustflame.2020.09.022.
21. Slimane Ouhmad, Abderrahim Beni-Hssane, Abdelmajid Hajami. The hybrid neural model to strengthen the e-nose restricted in real complex conditions. *Procedia Computer Science*. 2018; 107-113. DOI: 10.1016/j.procs.2018.07.150.

Сведения об авторе:

Авраменко Дарья Юрьевна, аспирант, кафедра управления и интеллектуальных технологий; Leyzi-small@yandex.ru; ORCID 0000-0002-0363-4389

Information about the authors:

Daria Yu. Avramenko, Postgraduate Student, Department of Management and Intelligent Technologies; Leyzi-small@yandex.ru; ORCID 0000-0002-0363-4389

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 15.10.2021.

Одобрена после рецензирования / Revised 20.11.2021.

Принята в печать /Accepted for publication 20.11.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 519.7: 004.05

DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-55-63

Оригинальная статья/Original Paper

**Методика анализа рисков нарушения информационной безопасности
на основе количественной оценки ущерба
в информационно-технических системах органов внутренних дел**

И.В.Алексин

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

Резюме. Цель. Оценка последствий наступления случаев ущерба в информационно-технических системах (ИТС) органов внутренних дел (ОВД) требует применения анализа рисков наступления ущерба в результате реализации угроз информационной безопасности. **Метод.** Исследование основано на методах аналитического и математического моделирования с применением аппарата систем массового обслуживания. Для ИТС из-за высокой технологической сложности, высоких затрат на приобретение, обслуживание оборудования и выплаты заработной платы сотрудникам необходимо применение процедуры анализа рисков ИТС ОВД. Применяемый подход к определению мер безопасности информации, обеспечивающих определенный уровень защищенности функционирования ИТС ОВД, является нормативным, поскольку на данный момент в недостаточной степени развит метод количественной оценки ущерба. Развитие данного научного применения позволило бы установить целесообразное значение показателя допустимого риска реализации угроз безопасности информации. **Результат.** Приведена методика анализа рисков нарушения информационной безопасности на основе количественной оценки ущерба ИТС ОВД. **Вывод.** Направление данного исследования актуально и требует дальнейшей проработки с целью совершенствования метода оценки наступления ущерба в ИТС органов внутренних дел.

Ключевые слова: информационно-техническая система органа внутренних дел, система массового обслуживания, вероятность наступления ущерба, ресурс, угроза

Для цитирования: И.В. Алексин. Методика анализа рисков нарушения информационной безопасности на основе количественной оценки ущерба в информационно-технических системах органов внутренних дел. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 55-63. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-55-63

**Methodology of information security risk analysis based on quantitative assessment of
damages in information and technical systems bodies of the internal affairs**

I.V. Alekhin

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

Abstract. Objective. Assessment of the consequences of the occurrence of damage cases in the information and technical systems (ITS) of the internal affairs bodies (ATS) requires the use of an analysis of the risks of damage as a result of the implementation of information security threats. **Method.** In order to analyze the processes occurring in the ITS, as a rule, mathematical modeling is used. For ITS, due to the high technological complexity, high costs for the acquisition, maintenance of equipment and payment of wages to employees, it is necessary to apply the procedure for analyzing the risks of ITS ITS. The security of the functioning of the ITS ITS is normative, since at the moment the method of quantitative assessment of damages is insufficiently developed. The development of this scientific application would make it possible to establish the appropriate value of the indicator of the

permissible risk of the implementation of threats to information security. Analytical and mathematical modeling using the apparatus of queuing systems. **Result.** A technique for analyzing the risks of information security violations based on a quantitative assessment of the damages of the ITS of ATS is given. **Conclusion.** The direction of this study is relevant and requires further elaboration in order to improve the method for assessing the occurrence of damage in the ITS of the internal affairs bodies.

Keywords: information and technical system of the internal affairs body, queuing system, probability of damage, resource, threat

For citation: I.V. Alekhin. Methodology of information security risk analysis based on quantitative assessment of damages in information and technical systems bodies of the internal affairs. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48 (4): 55-63. DOI: 10.21822 / 2073-6185-2021-48-4-55-63

Введение. В практической деятельности возникают обстоятельства, при которых отдельные государственные информационные системы остаются неаттестованными из-за недостаточного финансирования [3], что является обязательным в соответствии с [4]. В [5] право и обязанность определения актуальных типов угроз лежит на операторе персональных данных, либо организации подрядчике. Заметим также, что в п. 10 [6] указано, что возможна корректировка отдельных выбранных мер по обеспечению безопасности персональных данных. Кроме того, в процессе эксплуатации аттестованной информационной системы также возникают нештатные ситуации. Так, при использовании в информационных системах новых информационных технологий и выявлении дополнительных угроз безопасности персональным данным, для которых не определены меры обеспечения их безопасности, должны разрабатываться компенсирующие меры, например, средства виртуализации. В [4] рассматривается понятие ущерба, разбивая его на три категории, что создает небольшую матричную градацию и ставит определение ущерба в прямую зависимость от мнения экспертов.

Широкое использование информационных систем в различных государственных организациях Российской Федерации влечет за собой обязательное выполнение требований по защите информации, содержащейся в таких системах. Из федерального закона № 3-ФЗ «О полиции» от 07.02.2011, следует, что Министерство внутренних дел обязано использовать в процессе выполнения возложенных государственных функций широкий набор информационных технологий и информационных систем с целью получения, накопления и обработки информации. В соответствии с положениями Методики оценки угроз безопасности информации, утвержденной ФСТЭК России 05.02.2021, на этапе определения негативных последствий от реализации (возникновения) угроз безопасности информации исходными данными выступают результаты оценки рисков (ущерба). Затем, на основе анализа исходных данных определяются событие или группы событий, наступление которых в результате реализации (возникновения) угроз безопасности информации может привести к возникновению финансовых, производственных, репутационных или иных рисков (видов ущерба) организации.

Постановка задачи. В ИТС ОВД существует потенциальная опасность наступления случаев ущерба от реализации уязвимостей. Концепция обеспечения информационной безопасности органов внутренних дел Российской Федерации до 2020 года (Концепция), утвержденная приказом МВД России от 14.03.2012 № 169, указывает направление деятельности по обеспечению информационной безопасности ОВД проведение оценки уязвимости и рисков информации при имеющемся множестве угроз и каналов утечки. В соответствии Концепцией целью обеспечения информационной безопасности ОВД является достижение с использованием методов технической защиты информации необходимого уровня защиты, а основной задачей обеспечения информационной безопасности ОВД является создание и развитие информационной безопасности ОВД с учетом технологии «облачной архитектуры». Проблемой, требующей решения, является количественная оценка рисков наступления ущерба, потому что она влияет на дальнейшие мероприятия по обработке риска.

Таким образом, целесообразно разработать методику оценки рисков наступления ущерба в ИТС ОВД, учитывающую финансовые затраты на организационно-технические мероприятия по обеспечению информационной безопасности. Эффективное использование финансовых ресурсов позволит поддерживать на достаточном уровне показатель допустимого риска. На этапе ввода в эксплуатацию, а также последующего использования, требуются значительные финансовые затраты, включающие: оплату труда ведомственных специалистов; оплату услуг привлекаемых лицензированных юридических лиц; закупку лицензированного программного обеспечения; закупку средств защиты информации; оплату технической поддержки и обновлений программного обеспечения.

Методы исследования. Анализ [7] позволил привести схему, которую целесообразно усовершенствовать финансовым показателем затрат (рис.1).

Одним из аспектов совершенствования методики является дополнение стандартной цепочки жизни ИТС ОВД ежегодным анализом рисков классов угроз. В блоке «Результаты оценки риска», подчиненных какому-либо закону распределения плотности вероятности наступления ущерба, можно существенно повысить защищенность ИТС ОВД, актуализируя риски в наиболее значимом интервале риска и сопоставляя с объемом финансовых средств в текущем году.

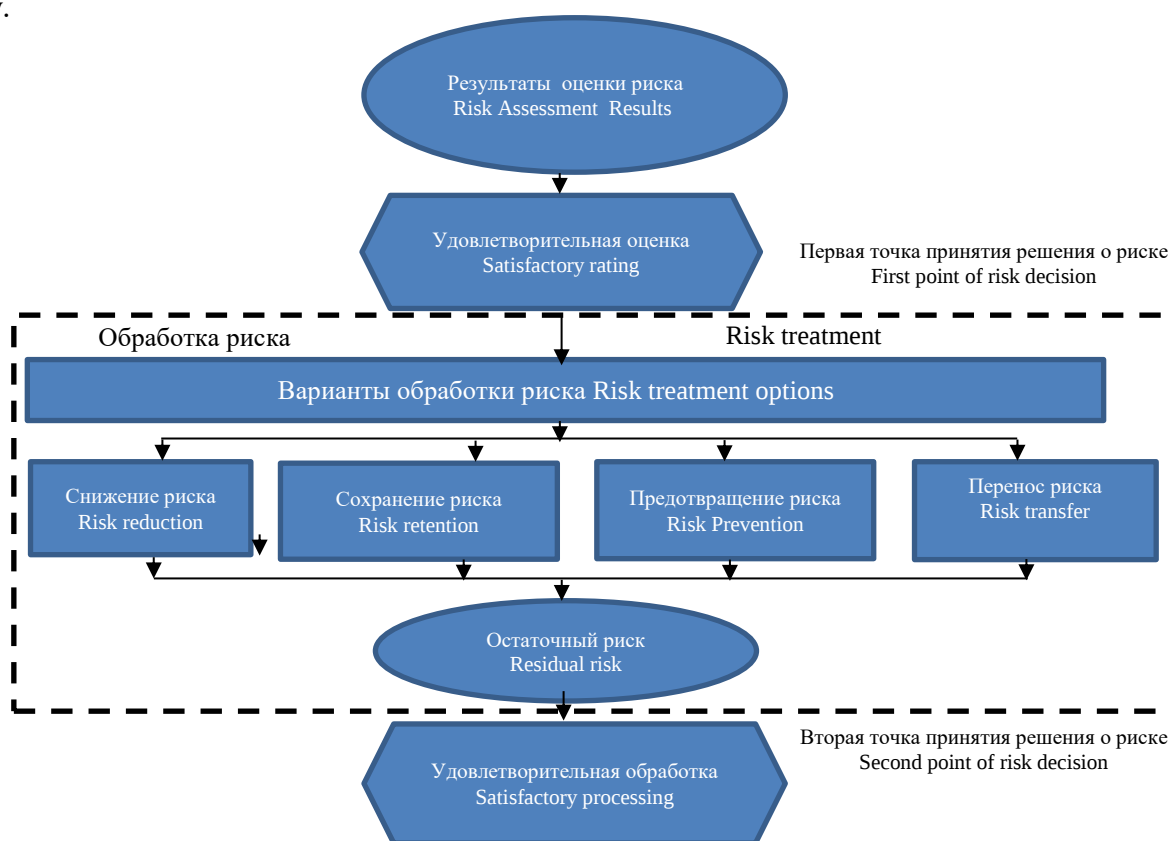


Рис. 1. Процесс обработки риска

Fig. 1. Risk treatment process

Такой подход позволит повысить реальную защищенность информационных ресурсов. Как показывает практика, вирусные атаки успешно происходят в криптографически защищенных сетях [8]. Необходимо проводить постоянные мероприятия, для которых требуются человеческие и финансовые ресурсы.

Вместе с тем, параметризация приведенных распределений [9] совместно с финансовой составляющей является крайне важным аспектом. Дополним данный алгоритм опубликованным ранее математическим аппаратом [9]. Введем новые понятия: коэффициент изменения риска:

$$K_{risk} \equiv K_R = \frac{Risk_2}{Risk_1} \equiv \frac{R_2}{R_1}, \quad (1)$$

где $Risk_1 \equiv R_1$ и $Risk_2 \equiv R_2$.

Это — значения риска, соответственно, первоначальные и после проведения организационно-технических мероприятий по защите информации (ОТМЗИ), что соответствует блоку обработка риска.

Отметим, что после проведения ОТМ при $K_R = 0$ угроза отсутствует полностью. Значение коэффициента изменения риска K_R для эффективной защиты от потенциальных угроз должен быть меньше, а желательно гораздо меньше единицы, т.е. $R_2 \ll R_1$.

$$K_R = \frac{R_2}{R_1} \ll 1, \quad (2)$$

В данном коэффициенте следует учесть затраты на ОТМЗИ. Данный параметр целесообразно использовать для анализа эффективности применения тех или иных ОТМЗИ, направленных на повышение защищенности информации, повышение информационной безопасности, уменьшение вероятности возникновения угроз и т.д.

$$K_R(u_1, u_2) \equiv K_R = \frac{R_2}{R_1} = \frac{u_2 P_2(u_2)}{u_1 P_1(u_1)}, \quad (3)$$

здесь R_u и $P_2(u_2)$ — соответственно вероятности наступления ущерба до и после реализации ОТМЗИ по ущербам u_1 и u_2 .

Если величина ущерба не изменяется $u_1 = u_2 = u$ (изменяется только вероятность его наступления), то

$$K_R(u_1, u_2)|_{u_1 = u_2 = u} \equiv K_R = \frac{R_2}{R_1} = \frac{u P_2(u)}{u P_1(u)} = \frac{P_2(u)}{P_1(u)}. \quad (4)$$

Здесь целесообразно учесть материальные затраты на ОТМЗИ. Таким образом введем ещё один коэффициент изменения риска, учитывающий затраты на ОТМЗИ:

$$K_{RC} = \frac{u_2 P_2(u_2) + C}{u_1 P_1(u_1)} = \frac{R_2 + C}{R_1} = \frac{R_{2C}}{R_1}. \quad (5)$$

Затраты (C), например, в рублевом эквиваленте, можно включить (в общем смысле) в величину риска R_2 после ОТМЗИ, т.к. риск по затратам равен величине затрат, умноженной на вероятность возникновения затрат, которая равна единице. R_{2C} — это величина риска после ОТМЗИ, с учетом материальных затрат на ОТМЗИ.

Рассматривая класс угроз «отказ в обслуживании» применительно к деятельности ОВД, можно выделить ряд параметров, отражающих финансовые потери при успешной реализации угрозы — начальный и конечный интегральный показатель ущерба до и после реализации ОТМ-

ЗИ, соответственно, с учётом затрат $\sum_{i=1}^n u$.

В рамках данного научного исследования приведем классификацию ущербов от реализации актуального класса угроз для ИТС ОВД [2]:

1. Ущерб, обусловленный нарушением целостности и доступности пользовательской и технологической информации;

2. Финансовый (материальный) ущерб: упущенная выгода; уничтожение или вывод из строя оборудования; уничтожение иных материальных средств; финансовые затраты: затраты на повторное формирование пользовательских данных, разработку и (или) закупку и установку прикладного или системного программного обеспечения; затраты на защиту информации — закупку, установку, конфигурирование и сопровождение эксплуатации средств защиты, резервирование программных и аппаратных средств, организацию и проведение организационно-

технических мероприятий по защите, обучение персонала и др.; затраты на восстановление, ремонт или замену аппаратного обеспечения, вывод из строя которого вызван нарушениями безопасности информации.

3. Финансовые потери: потери в результате простоя и невозможности использования ИТС ОВД или её элементов; потери, вызванные использованием конфиденциальной информации во вред ОВД или преднамеренной несанкционированной модификацией данных или прикладных программ; штрафы за нарушения установленных договоренностей или правовых норм.

4. Ущерб здоровью людей, вызванный перебоями в управлении силами и средствами ОВД.

5. Экономический (дополнительные трудозатраты) ущерб: трудозатраты на восстановление, ремонт оборудования; трудозатраты на восстановление, настройку прикладного и системного ПО;

6. Моральный ущерб: от снижения или потери деловой репутации организации или физического лица; от невозможности выполнения взятых на себя обязательств перед третьей стороной; от разглашения персональных данных отдельных лиц; от дезорганизации деятельности организации или его отделений; от нарушения правовых норм.

7. Ущерб при чрезвычайных ситуациях.

Обсуждение результатов. На основании вышеизложенного в работе предложена методика анализа рисков ущерба в ИТС ОВД с учетом эффективности финансовых затрат на ОТМЗИ. Методика состоит из реализации следующих этапов:

1. Получение функции плотности вероятности параметра, характеризующего состояние атакованной системы.

2. Оценка тяжести ущерба группой экспертов путем применения метода анализа иерархий для случая DDoS-атаки. С целью уточнения тяжести ущерба оценка производится по семи категориям ущерба.

3. Получение значения интегрального показателя риска до проведения ОТМЗИ.

4. Разработка возможных наборов ОТМЗИ.

5. Получение значений интегрального показателя риска после проведения ОТМЗИ для каждого набора.

6. Расчет интегрального показателя риска после проведения ОТМЗИ. Применение коэффициента с учетом затрат на наборы ОТМЗИ.

7. Определение оптимального набора ОТМЗИ на основе сравнения коэффициентов риска и нахождения искомых значений в полуинтервале $[0;1]$.

Применим методику для модели ИТС ОВД на примере Воронежского института МВД России в связи с высокой важностью доступности образовательных ресурсов в период дистанционного обучения.

Актуальными угрозами будем считать УБИ.140 и УБИ.164, которые возможны для удаленной реализации и высокодоступны. Получим 20 значений плотности вероятности наступления ущерба $P(t)$, используя модель при заданных начальных параметрах.

При этом $P(t_{max}) \rightarrow \min$. Экспертным методом произведем оценку ущерба за сутки по приведенным выше категориям в условных единицах до проведения ОТМЗИ (табл. 1).

Оценку будем производить при помощи программного комплекса, реализованного на языке программирования РНР.

Применение данного программного комплекса позволяет упростить и автоматизировать процесс оценки рисков (ущербов) от реализации угроз информационной безопасности в ИТС ОВД.

Таблица 1. Значения риска до организационно-технических мероприятий по защите информации

Table 1. Risk values before organizational and technical measures to protect information

№ п/п	Интервалы сгруппированных данных, t_i Grouped data intervals		Количество утерянных пакетов, n_i Number of packages lost	Значения функции плотности вероятности наступления ущерба, p_i Values of the loss probability density function	Значения риска Risk values $R_{i \text{ до ОТМЗИ}}$
1.	4,0000	4,2445	0,0001	0,000000061	0,00251
2.	4,2445	4,4890	0,001	0,00000061	0,02509
3.	4,4890	4,7335	0,02	0,0000123	0,50186
4.	4,7335	4,978	0,381	0,000236	9,56041
5.	5,2225	5,467	3,191	0,001977	80,07156
6.	5,467	5,7115	14,731	0,00912	369,6441
7.	5,7115	5,956	43,592	0,027	1093,851
8.	5,956	6,2005	91,945	0,0569674	2307,17
9.	6,2005	6,445	149,155	0,092413	3742,737
10.	6,445	6,6895	196,796	0,12193	4938,19
11.	6,6895	6,934	220,228	0,136	5526,167
12.	6,934	7,1785	215,823	0,1337	5415,633
13.	7,1785	7,423	189,865	0,1176	4764,27
14.	7,423	7,6675	152,883	0,0947	3836,283
15.	7,6675	7,912	114,432	0,07089942	2871,435
16.	7,912	8,1565	80,611	0,04994	2022,767
17.	8,1565	8,401	53,985	0,033448	1354,642
18.	8,401	8,6455	34,655	0,02147	869,5957
19.	8,6455	8,89	21,468	0,0133	538,6952
20.	8,89	9,1345	12,9	0,007997	323,6989

Программно-методический комплекс представляет собой программу для расчёта величины показателей наступления ущерба по семи категориям (рис. 2).

Оценка ущерба от реализации угроз ИБ

Входные данные:

Матрица парных сравнений

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1							
C2							
C3							
C4							
C5							
C6							
C7							

Ввод максимальных значений категорий ущерба

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7

Рассчитать

Рис. 2. Интерфейс программы для расчёта матрицы парных сравнений по семи категориям ущерба

Fig. 2. Program interface for calculating the matrix of paired comparisons for seven categories of damage

Поля ввода предназначены для ввода экспертом оценки значимости категории ущерба попарно, допускаются значения от 1 до 10. Буквами $C_1, \dots, C_7$ обозначены рассматриваемые категории ущерба. После ввода необходимых для расчёта данных необходимо ввести максимальные значения по семи категориям ущерба (рис. 3).

При нажатии кнопки «рассчитать», производится расчёт путем перемножения значимости категории ущерба и соответствующего максимального значения. Вычисленное значение: $U_{\Sigma \text{ до ОТМЗИ}} = 810980 \text{ у.е.}$

Ввод максимальных значений категорий ущерба

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7

Рис. 3. Интерфейс программы для ввода максимальных значений ущерба по 7 категориям
Fig. 3. Program interface for entering maximum damage values in seven categories

Получим значения функции плотности вероятности наступления ущерба путем деления значения количества потерянных пакетов во временном интервале на общее количество потерянных пакетов. Результатом является произведение суммы ущерба по семи категориям и значения функции плотности вероятности наступления ущерба на исследуемом интервале:

$$R_{i \text{ до ОТМЗИ}} = p_i \times U_{\Sigma \text{ до ОТМЗИ}}. \quad (6)$$

На основании этой функции риска получим интегральный показатель риска:

$$R_{\Sigma \text{ до ОТМЗИ}} = \frac{R_1 + \dots + R_n}{n}. \quad (7)$$

На основе построенного графика функции риска убедимся, что ранее выдвинутая гипотеза подтверждается (рис. 4). Полученная функция риска подчиняется закону распределения Вейбулла.

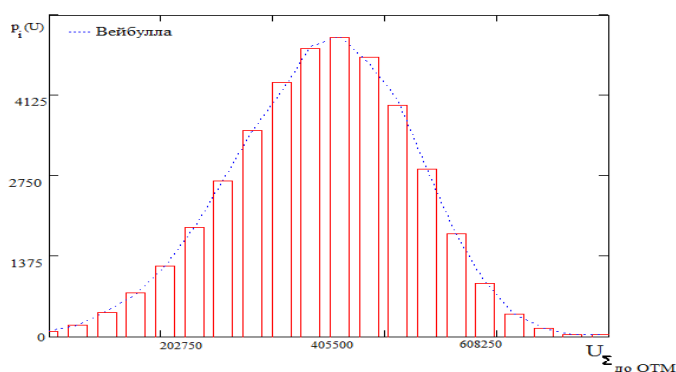


Рис. 4. График распределения функции риска
Fig. 4. Graph of the distribution of the risk function

Применительно к данному случаю предложим два обобщенных набора ОТМЗИ в рамках годового цикла:

1. Улучшение производительности ИТС ОВД силами сотрудников подразделения с целью увеличения пропускной способности серверного и сетевого оборудования.

Оценим стоимость данного набора ОТМЗИ в 110000 у.е. в связи с затратами на модернизацию путем увеличения производительности серверного оборудования, расширения пропускной способности и дублирования канала связи, а также разработки скриптов обработки входящего трафика с целью блокировки ip-адресов злоумышленников и жертв ботнет-сети, направляющих большое количество однотипных запросов.

2. Приобретение специализированных программных решений от организаций, занимающихся подобным на стороне клиента.

Оценку данного набора ОТМЗИ произведем на основе стоимости услуг лаборатории Касперского [10]. Стоимость решения по защите от подобных угроз составит 250000 у.е. В рамках данного вычислительного эксперимента будем считать, что результаты проведенных ОТМЗИ близки. Значение интегрального ущерба на основании экспертной оценки [11, 12] снизится $U_{\Sigma \text{ после ОТМЗИ}} = 14755 \text{ у.е.}$

Также заметим, что со снижением вероятного ущерба уменьшатся и значения риска наступления ущерба после применения ОТМЗИ (табл. 2). С целью точного определения величины затрат C_1 и C_2 на ОТМЗИ разделим затраты на 365 дней. Произведем расчет интегрального показателя риска до проведения ОТМЗИ и после, соответственно, с учетом затрат на наборы ОТМЗИ.

Таблица 2. Значения риска после организационно-технических мероприятий по защите информации

Table 2. Risk values after organizational and technical measures to protect information

№ п/п	Интервалы сгруппированных данных, t_i Grouped data intervals		Количество утерянных пакетов, n_i Number of packages lost	Значения функции плотности вероятности наступления ущерба, p_i Values of the loss probability density function	Значения риска Risk $uesR_{i\text{ после ОТМЗИ}}$
1.	4,0000	4,2445	0,0001	0,00000039	0,0029
2.	4,2445	4,4890	0,001	0,00000039	0,02905
3.	4,4890	4,7335	0,02	0,0000787	0,58091
4.	4,7335	4,978	0,081	0,000319	2,35267
5.	5,2225	5,467	0,191	0,000752	5,54765
6.	5,467	5,7115	1,2	0,004724	34,85433
7.	5,7115	5,956	4,71	0,018543	136,8032
8.	5,956	6,2005	12,945	0,050965	375,9911
9.	6,2005	6,445	26,56	0,104567	771,4425
10.	6,445	6,6895	28,37	0,111693	824,0145
11.	6,6895	6,934	32,341	0,127327	939,3533
12.	6,934	7,1785	33,83	0,133189	982,6017
13.	7,1785	7,423	31,95	0,125787	927,9966
14.	7,423	7,6675	24,83	0,097756	721,1942
15.	7,6675	7,912	20,232	0,079654	587,644
16.	7,912	8,1565	16,99	0,06689	493,4792
17.	8,1565	8,401	10,114	0,039819	293,7639
18.	8,401	8,6455	4,53	0,017835	131,5751
19.	8,6455	8,89	3,8	0,014961	110,372
20.	8,89	9,1345	1,15	0,004528	33,402

Применим коэффициент риска для оценки эффективности примененных наборов ОТМЗИ:

$$R_{\Sigma \text{ до ОТМЗИ}} = 2004,56;$$

$$R_{\Sigma \text{ после ОТМЗИ}} = 737,05;$$

$$K_R = \frac{R_{\Sigma \text{ после ОТМЗИ}} + C_1}{R_{\Sigma \text{ до ОТМЗИ}}} = \frac{737,05 + 301,36}{2004,55} = 0,518.$$

$$K_R = \frac{R_{\Sigma \text{ после ОТМЗИ}} + C_2}{R_{\Sigma \text{ до ОТМЗИ}}} = \frac{737,05 + 684,931}{2004,55} = 0,7093$$

Оба значения находятся в полуинтервале $[0;1]$, что свидетельствует об оптимальности [13, 14]. Первый из двух рассматриваемых наборов ОТМЗИ является оптимальным.

Вывод. Разработана и предложена методика анализа рисков нарушения информационной безопасности на основе количественной оценки ущерба ИТС ОВД. Применение данной методики позволит повысить финансовую эффективность затрат на эксплуатацию и информационную безопасность ИТС ОВД. Эффективное использование финансовых ресурсов позволит поддерживать на достаточном уровне показатель допустимого риска.

Библиографический список:

1. Астахов А. М. Искусство управления информационными рисками. М.: ДМК Пресс, 2010. 312 с.
2. Язов Ю. К., Соловьев С. В. Организация защиты информации в информационных системах от несанкционированного доступа. Монография. Воронеж: Кварта, 2018. 588 с.
3. URL:<https://news.mail.ru/politics/36045077>.
4. Приказ ФСТЭК России от 11.02.2013 № 17 «Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах».
5. Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

6. Приказ ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. N 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационной системе персональных данных».
7. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2010 г. N 632-ст).
8. URL:<https://news2.ru/story/520757/>.
9. Голубинский А. Н. О математических моделях ущербов и рисков возникновения угроз в информационно-технических системах / А. Н. Голубинский, И. В. Алехин // Международная научно-практическая конференция «Охрана, безопасность, связь – 2015»: Сборник материалов. Часть 3. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2016. С. 109–115.
10. URL:<https://store.softline.ru/kaspersky/kl4646raafs-4300>
11. Алехин И. В. К вопросу о вероятности наступления ущерба в результате атаки на информационный ресурс информационно-технических систем органов внутренних дел типа «отказ в обслуживании». Алехин И. В., Бокова О. И., Рогозин Е. А., Коробкин Д. И. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. Т. 45. № 4. С. 68-77. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-68-77
12. Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3ч. / А. И. Орлов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2009 Ч. 2: Экспертные оценки. 2011. 486 с.
13. Голиусов А. А., Дубровин А. С., Лавлинский В. В., Рогозин Е.А. Методические основы проектирования программных систем защиты информации. Воронеж: ВПЭ, 2002. 96 с.
14. Expert assessments in an innovative environment of the optimization of the information security process in the digital educational environment Alekhin I. V., Rogozin E. A., Vorobyov E. I., Belyaev R. V. *Journal of Physics: Conference Series*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020; 12060.

References:

1. Astakhov AM Art of information risk management. Moscow: DMK Press, 2010;312 (In Russ)
2. Yazov Yu. K., Soloviev SV Organization of information protection in information systems from unauthorized access. Monograph. Voronezh: [Kvarta] Quarta, 2018; 588. (In Russ)
3. URL:<https://news.mail.ru/politics/36045077>.
4. Order of the FSTEC of Russia dated 11.02.2013 No. 17 "On approval of the Requirements for the protection of information that does not constitute a state secret contained in state information systems." (In Russ)
5. Decree of the Government of the Russian Federation of 01.11.2012 No. 1119 "On approval of requirements for the protection of personal data during their processing in personal data information systems." (In Russ)
6. Order of the FSTEC of Russia dated February 18, 2013 N 21 "On approval of the composition and content of organizational and technical measures to ensure the security of personal data during their processing in the personal data information system." (In Russ)
7. National standard of the Russian Federation GOST R ISO / IEC 27005-2010 "Information technology. Methods and means of ensuring security. Information security risk management" (approved by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of November 30. 2010; 632(In Russ)
8. URL:<https://news2.ru/story/520757/>.
9. Golubinsky A. N. On mathematical models of damages and risks of threats in information and technical systems / A. N. Golubinsky, I. V. Alekhin // International Scientific and Practical Conference " Security, safety, communications - 2015": Collection materials. Part 3. Voronezh: Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2016; 109–115. (In Russ)
10. URL:<https://store.softline.ru/kaspersky/kl4646raafs-4300>
15. Alekhin I. V. To the question of the probability of damage as a result of an attack on an information resource of information and technical systems of internal affairs bodies of the "denial of service" type Alekhin I. V., Bokova O. I., Rogozin E. A., Korobkin D.I. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki.]Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Science. 2018; 45(4): 68-77. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-68-77 (In Russ)
11. Organizational and economic modeling: textbook: in 3 hours . / AI Orlov. Publishing house of MSTU im. N.E.Bauman. 2009 Part 2: Expert assessments. 2011; 486. (In Russ)
12. Goliusov A.A., Dubrovin A.S., Lavlinsky V.V., Rogozin E.A. Methodological foundations for the design of software information security systems. Voronezh: VRE, 2002; 96. (In Russ)
13. Expert assessments in an innovative environment of the optimization of the information security process in the digital educational environment Alekhin I. V., Rogozin E. A., Vorobyov E. I., Belyaev R. V. In the collection: *Journal of Physics: Conference Series*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020; 12060. (In Russ)

Сведения об авторе:

Алехин Игорь Викторович, старший инженер-электроник отдела информационно-технического обеспечения учебного процесса ialekhin2@mvd.ru

Information about the author:

Igor V. Alekhin, Senior Electronics Engineer, Department of Information and Technical Support of the Educational Process ialekhin2@mvd.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 10.11.2021.

Одобрена после/рецензирования Revised 30.11.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 01.12.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 550.34.01

DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-64-71

Оригинальная статья / Original Paper

Определение координат гипоцентра землетрясения
при известной структуре земной коры

Т.Г. Асланов¹, Ю.А. Сидоркина²

¹Дагестанский государственный технический университет,

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

²Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет),

²105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка методов определения координат гипоцентра землетрясения при известной структуре земной коры. **Метод.** Для решения задачи применяется метод грубой силы (brute force), доверительный интервал, сравнительный метод и перебор возможных вариантов по сетке. **Результат.** Разработан метод определения координат очага землетрясения при известной структуре земной коры с использованием при расчетах в качестве геометрических мест точек различных фигур n -ого порядка. **Вывод.** Предложенный метод, при известной структуре земной коры, дает возможность использовать все известные методы, требующие для расчетов координат гипоцентра землетрясения, информацию о разностях времен пробега сейсмических волн на разнесенные в пространстве сейсмодатчики и разность времен пробега продольной и поперечной сейсмических волн к сейсмодатчику. Точность определения координат гипоцентра землетрясения зависит от качества определения структуры земной коры, на которой наблюдалось сейсмическое событие.

Ключевые слова: сейсмология, сейсмодатчик, сейсмическая волна, скорость, окружность, сфера, гиперболоид, эллипсоид, овал Кассини, структура земли

Для цитирования: Т.Г. Асланов, Ю.А. Сидоркина. Определение координат гипоцентра землетрясения при известной структуре земной коры. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 64-71. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-64-71

Determination of coordinates of the earthquake hypocenter with a known structure
of the earth's crust

T.G. Aslanov¹, Yu.A. Sidorkina²,

¹Daghestan State Technical University,

¹367026, Makhachkala, I. Shamil Ave., 70, Russia,

² N.E. Bauman Moscow State Technical University (National research University),

²5/1 Second Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to develop methods for determining the coordinates of the hypocenter of an earthquake with a known structure of the earth's crust. **Method.** To solve the problem, the brute force method, the confidence interval, the comparative method and the enumeration of possible options on the grid are used. **Result.** A method has been developed for determining the coordinates of an earthquake source with a known structure of the earth's crust using points of various figures of the n -th order as geometric locations in calculations. **Conclusion.** The proposed method, with the known structure of the earth's crust, makes it possible to use all known methods that require information on the travel time differences of seismic waves to spaced seismic sensors and the

difference in travel times of longitudinal and transverse seismic waves to the seismic sensor for calculating the coordinates of the earthquake hypocenter. The accuracy of determining the coordinates of the earthquake hypocenter depends on the quality of determining the structure of the earth's crust on which the seismic event was observed.

Keywords: seismology, seismic sensor, seismic wave, velocity, circle, sphere, hyperboloid, ellipsoid, Cassini oval, earth structure

For citation: T.G. Aslanov, Yu.A. Sidorkina. Determination of coordinates of the earthquake hypocenter with a known structure of the earth's crust. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (4): 64-71. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-64-71

Введение. В настоящее время разработаны программы [1], позволяющие по магнитуде землетрясения, глубине его очага, плотности населения в районе землетрясения, типам застроек, времени суток и т.д. оценить людские потери, что позволяет оперативно решить вопрос о количестве привлекаемых к спасательным работам людских, материальных и технических ресурсов.

Однако оценки потерь иногда не соответствуют действительности в основном из-за неверного определения глубины очага и эпицентра землетрясения.

Геофизическими службами расчет координат очага землетрясения производится с использованием усредненных значений скоростей сейсмических волн [2-8]. Причем, эти значения применяются для больших участков земли, что и приводит к значительным ошибкам.

Постановка задачи. В работе предложен метод определения координат гипоцентра землетрясения при известной структуре земной коры с использованием для определения координат гипоцентра землетрясения, для пары сейсмодатчиков, различные комбинации фигур второго и четвертого порядка: метода сфер, методов сферы и гиперboloида, гиперboloида и эллипсоида, а также гиперboloида и овала Кассини.

В качестве исходных данных используются заданные координаты сейсмодатчиков и гипоцентра землетрясения, а также случайные распределения скоростей сейсмических волн на местности.

По известным значениям разности времен прихода продольной и поперечной сейсмических волн на сейсмодатчики, а также разности времен прихода продольной сейсмической волны на разнесенные в пространстве сейсмодатчики и по известной структуре земной коры определяется форма фигуры n -ого порядка, используемой для определения координат гипоцентра землетрясения. Точка пересечения нескольких расчетных фигур является очагом землетрясения.

Методы исследования. Для определения координат гипоцентра землетрясения могут быть использованы четыре известных метода локализации сейсмических событий [9-17]. При этом во всех методах делается допущение, что скорости сейсмических волн для больших территорий являются постоянными и неизменными, что приводит к ошибкам. В качестве примера, на рис. 1 приведено использование метода сфер для определения координат гипоцентра землетрясения при допущении, что скорости сейсмических волн являются постоянными.

На рис. 2 показана фигура, получаемая при учете изменения скоростей сейсмических волн на трассе распространения. Фигура, приведенная на рис. 2 далеко не похожа на сферу. Как видно из рис. 2, сильное влияние на определяемые расстояния от сейсмодатчика до возможной точки расположения гипоцентра землетрясения оказывает изменение скорости сейсмической волны по пути ее распространения. На рис. 2а приведен пример, когда поверхность земли разбита на 5 участков с различной скоростью распространения сейсмических волн.

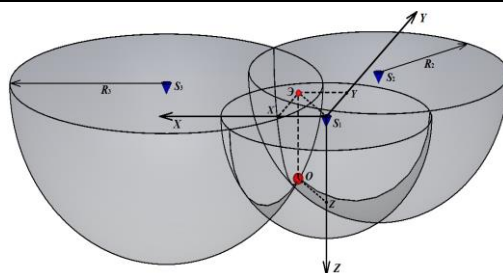


Рис. 1. Метод сфер при допущении, что скорости сейсмических волн неизменны на всей территории

Fig. 1. Spheres method under the assumption that seismic wave velocities are constant throughout the territory

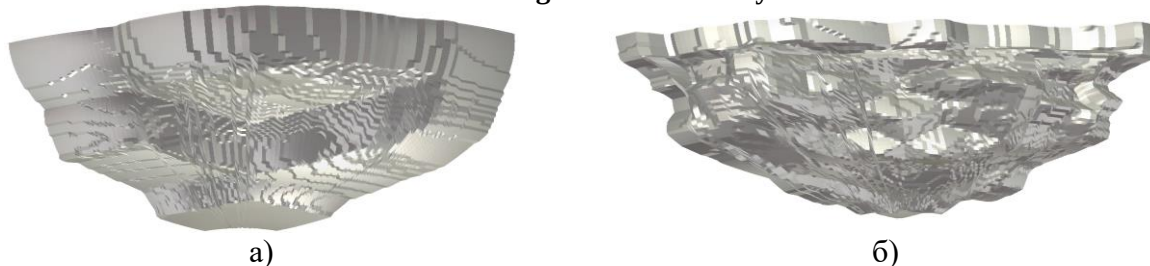


Рис. 2. Часть искаженной сферы, полученной при известных значениях скоростей сейсмических волн по путям ее распространения

Fig. 2. Part of a distorted sphere obtained at known values of seismic wave velocities along the paths of its propagation

Этот случай соответствует расположению сейсмодатчика вблизи с изменяющимися условиями распространения сейсмических волн, таких как переход горной местности на равнинную. На рис. 2б произведено разбиение земли на $8 \times 8 \times 8$ участков с одинаковой скоростью, соответствующей случаю, когда расстояние между сейсмодатчиком и очагом землетрясения большое.

Для определения координат гипоцентра землетрясения при известной структуре земли необходимо воспользоваться следующим алгоритмом действий. Используя метод сфер, определяем координаты гипоцентра землетрясения, и доверительные интервалы для сферической системы координат по углу места, азимуту и расстояниям от сейсмодатчика до предполагаемого места реального расположения гипоцентра землетрясения. Определяем расстояние, при котором разность времен пробега продольной и поперечной сейсмических волн, вычисленная при заданных угле места и азимуту, равна разности времен пробега продольной и поперечной сейсмических волн от гипоцентра землетрясения до сейсмодатчика.

Определив, таким образом, для всего диапазона углов расстояния от сейсмодатчика до предполагаемого расположения гипоцентра землетрясения [18-19] получаем поверхность, аналогичную рис. 2. Определяем координаты для каждого полученного расстояния, используя пространственную теорему Пифагора [20]. Аналогичные действия производим для оставшихся 4 сейсмодатчиков. Сравнивая полученные координаты, находим одинаковые, которые и являются координатами очага землетрясения. Так как фигуры имеют сложную форму, то возможно несколько точек пересечения (пример, рис. 3), для чего в определение координат гипоцентра землетрясения включается четвертый сейсмодатчик.

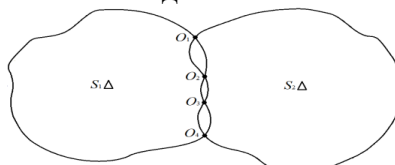


Рис. 3. Пример множественных пересечений по методу сфер
Fig. 3. An example of multiple intersections using the sphere method

Для определения координат гипоцентра землетрясения с использованием фигуры второго порядка гиперboloид – для каждого угла места и азимута в сферической системе координат с центром в первом сейсмодатчике, задается отрезок R_1 , от конца которого строится отрезок до второго сейсмодатчика R_2 (рис. 4).

По разности отрезков R_1 и R_2 определяется разность расстояний ΔR . Если знак разности положительный, то отстраивается разность расстояний ΔR от первого сейсмодатчика вдоль отрезка R_1 , если отрицательный, то от второго сейсмодатчика. В зависимости от пройденных участков земной коры определяются время прохождения отрезка ΔR .

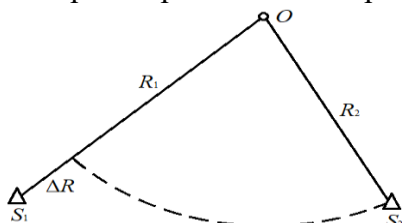


Рис. 4. Пояснение определения координат гипоцентра землетрясения с использованием метода гипербола

Fig. 4. Explanation of the definition of the coordinates of the hypocenter earthquakes using the hyperbole method

В случае равенства разности времен пробега сейсмической волны к двум разнесенным в пространстве сейсмодатчикам с временем прохождения отрезка ΔR , соответствующее координаты точек пересечения R_1 и R_2 записываются для каждого угла сферической системы координат. Полученное множество точек в пространстве определяет фигуру гиперboloида, полученную при прохождении через неоднородную среду.

Аналогично методу сфер, в методе, использующем гиперboloид, производится сравнение координат всех полученных точек фигур (сфер и гиперboloида), для нахождения близких по значениям. Для методов, с использованием эллипсоида или овала Кассини сначала, относительно первого сейсмодатчика, по методу сфер, определяются их искаженные формы.

Далее, от каждой точки полученной поверхности отстраивается отрезок до второго сейсмодатчика. В случае если полученная длина отрезка, с допустимой погрешностью, соответствует уравнению радиуса сферы [16-17], то полученные координаты отрезков сохраняем.

$$R_2 = t_2 / 2.4V_s \quad (1)$$

где t_2 – разность времен пробега продольной и поперечной сейсмических волн ко второму сейсмодатчику;

V_s – скорость поперечной волны.

Для каждой точки полученной фигуры, строим либо эллипс, либо овал Кассини на плоскости S_1, S_2 и находим точки пересечения фигур.

При этом, должно соблюдаться условие для эллипса $R_1 + R_2 = \text{const}$, а для овала Кассини $R_1 * R_2 = \text{const}$.

Для проверки адекватности предлагаемой модели была задана область размерами 160x160 км, которая состояла из 125 участков со случайно распределенными скоростями, были заданы координаты сейсмодатчиков: $X_1 = 10$ км; $Y_1 = 10$ км; $X_2 = 135$ км; $Y_2 = 20$ км; $X_3 = 140$ км; $Y_3 = 150$ км; $X_4 = 20$ км; $Y_3 = 140$ км и гипоцентра землетрясения $X = 80$ км; $Y = 80$ км; $Z = 30$ км.

Для первых двух сейсмодатчиков, для определения координат гипоцентра землетрясения использовались фигуры второго порядка эллипсоид и гиперboloид, для третьего и четвертого сейсмодатчика сферы. По результатам вычислений ошибка составила 120 метров.

Также было проведено моделирование с определением скоростей сейсмических волн для каждого участка при помощи матричного метода [21-23]. По значениям вычисленных скоростей были определены координаты гипоцентров землетрясения, при этом позиции всех сейсмодатчиков менялись.

В каждом участке таких позиций могло быть четыре. Всего было проведено 500 вычислений с заданием различных вариаций скоростей для всех участков.

Распределение ошибок вычисления координат гипоцентра землетрясения при известной структуре земной коры приведено на рис. 5.

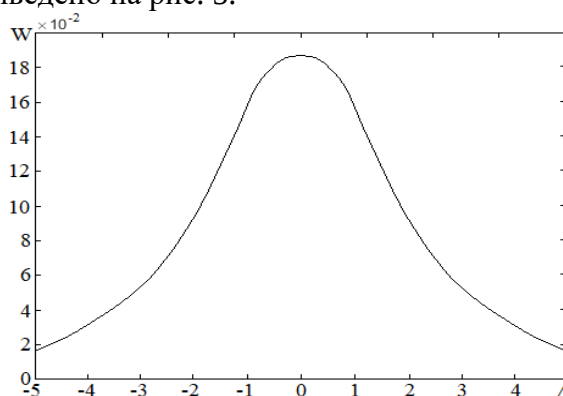


Рис. 5. Распределение ошибок при определении координат гипоцентра землетрясения при известной структуре земной коры

Fig. 5. Distribution of errors in determining the coordinates of the hypocenter of an earthquake with a known structure of the earth's crust

Обсуждение результатов. Ошибки в измерении координат гипоцентра землетрясения при известных значениях скоростей сейсмических волн возникают за счет шага изменения угла места, азимута и расстояния. Ошибку можно уменьшить за счет уменьшения шага перебора по сетке вблизи найденных координат гипоцентра землетрясения с большим шагом.

Ошибки в определении координат гипоцентра землетрясения с использованием матричного метода для нахождения скоростей в каждом участке создают ошибки за счет точности самого матричного метода, и соответствуют результатам ранних исследований [11-13, 25-29]. Следует отметить, что при оптимальном выборе сейсмодатчиков на местности ошибки в определении координат гипоцентра землетрясения могут быть значительно уменьшены.

Вывод. Определение с высокой точностью координат гипоцентра землетрясения при неточной информации о структуре земной коры с использованием метода сфер из-за не оптимального размещения сейсмодатчиков невозможно, в связи с чем, возникает необходимость использования других фигур.

При использовании метода сфер вычисление расстояний от второго, третьего и четвертого сейсмодатчиков до геометрической поверхности возможных мест расположения гипоцентра землетрясения (искаженной сферы), полученной по данным от первого сейсмодатчика недопустимо. Это связано с тем, что в случае наличия ошибки измерений от первого сейсмодатчика, при определении остальных расстояний, ошибка вычислений от первого сейсмодатчика будет складываться с ошибками вычислений расстояний от остальных сейсмодатчиков.

В методах, использующих для определения координат гипоцентра землетрясения такие фигуры как гиперболоид, эллипс или овал Кассини, использование данных первого сейсмодатчика для определения расстояний до второго сейсмодатчика обусловлена тем, что для формирования этих фигур необходима одновременная обработка данных с двух сейсмодатчиков. При этом использование первого сейсмодатчика для нахождения расстояния до второго позволяет значительно сократить машинное время.

Библиографический список:

1. Шахриманьян М.Л., Нигметов Г.М., Сосунов И.В. Математическое моделирование как способ поддержки принятия решений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций // Каталог «Пожарная безопасность». 2003. С. 240-241
2. D'Amico S. (ed.) Earthquake Research and Analysis - Statistical Studies, Observations and Planning/ S. D'Amico – InTech. Janeza Trdine, 2012. 460 p.
3. Robert Garotta. Поперечные волны: от регистрации до интерпретации. Краткий курс лекций для высших учебных заведений, 2000 г. Серия №3.
4. Schuster G.T. Basics of Seismic Wave Theory / G.T. Schuster – University of Utah, 2007. 154 p.
5. Kasahara K. Earthquake mechanics / K. Kasahara – Cambridge University Press, 1981. 272 p.
6. Kennett B. Seismic Wave Propagation in Stratified Media / B. Kennett – Australian National University Press, 2009. 298 p.
7. Яновская Т.Б. Основы сейсмологии: учебное пособие /Т.Б. Яновская – Санкт-Петербург, 2008. 222 с
8. D'Amico S. (Ed.) Engineering Seismology, Geotechnical and Structural Earthquake Engineering. InTech; 2013. 300 p.

9. Асланов Т.Г., Давудова Д.Д., Мирзаханова Л.С. Определение координат гипоцентра землетрясения при использовании комбинированного метода сфер и гиперболоида // Свид. о гос. рег. прогр. ЭВМ № 2017616673 Рос. Федерация / заявитель и правообладатель ВГУЮ (РПА Минюста России). № 2017611151; заявл. 13.02.17; опубл. 09.06.17.
10. Асланов Т.Г., Определение координат гипоцентра землетрясения при использовании комбинированного метода сфер, гиперболоида и эллипсоида // Свид. о гос. рег. прогр. ЭВМ № 2017660545 Рос. Федерация / заявитель и правообладатель ВГУЮ (РПА Минюста России). № 2017615709; заявл. 13.06.17; опубл. 22.09.17.
11. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г., Тетакаев У.Р. Определение координат очага землетрясения с использованием фигур четвертого и второго порядка – овала Кассини и гиперболы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019;46(4):134-142. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2019-46-4-134-142>
12. Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения с использованием комбинированного метода. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44(2):118-125. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125>
13. Асланов Т.Г., Шахтарин Б.И., Асланов Г.К. Определение координат очага землетрясения с использованием фигур второго порядка - эллипса и гиперболы // Автоматизация. Современные технологии. 2018; №11 (72). С. 503-509
14. Асланов Т.Г. Разработка алгоритма определения координат очага землетрясения, с одновременным определением скоростей сейсмических волн // Научные труды молодых исследователей программы «Шаг в будущее». Том 8. «Профессионал». Москва. 2005. С. 32-34
15. Асланов Т.Г., Асланов Г.К., Кудяев Д.А. Определение скоростей сейсмических волн по произошедшему землетрясению // XXXVI итоговая научно-техническая конференция ДГТУ: тезисы докладов. Махачкала, РИО ДГТУ, 2005. С. 72-73
16. Асланов Г.К., Даниялов М.Г., Асланов Т.Г., Магомедов Х.Д. Об одном методе определения очага землетрясения с одновременным определением скоростей сейсмических волн // Труды Института геологии ДНЦ РАН. 2010. № 56. С. 54-59.
17. Асланов Т.Г., Тагиров Х.Ю., Магомедов Г.Б. Определение координат очага землетрясения с одновременным определением скоростей сейсмических волн с использованием данных четырех и более сейсмодатчиков // Свид. о гос. рег. прогр. ЭВМ № 2016662097 Рос. Федерация / заявитель и правообладатель ВГУЮ (РПА Минюста России). - № 2016619293; заявл. 02.09.16; опубл. 31.10.16.
18. Айвазян С.А. Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика. 1983.
19. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика. М.: ИЛ, 1960.
20. Аналитическая геометрия и линейная алгебра: учеб. пособие / А. Е. Умнов. – 3-е изд., испр. и доп.. М. : МФТИ, 2011. 544 с. ISBN 978-5-7417-0378
21. Асланов Т.Г., Асланов Г.К., Тагиров Х.Ю. Определение структуры земли по сейсмограммам произошедших землетрясений // Информационные технологии в экономике и управлении: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 19-20 ноября 2014 г. Махачкала: ДГТУ, 2014. С. 242-246
22. Асланов Т.Г., Тагиров Х.Ю. Определение координат очага землетрясения с одновременным определением скоростей сейсмических волн // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2015» / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] М.: МАКС Пресс, 2015. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). ISBN 978-5-317-04946-1
23. Асланов Т.Г., Алимерденов В.Ш. Определение структуры земли по статистическим данным времен прихода сейсмических волн произошедших землетрясений // Старт в будущее – 2013. Труды III научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Санкт-Петербург
24. Асланов Т.Г., Тагиров Х.Ю. О некоторых вопросах выбора сейсмодатчиков с целью уменьшения ошибок при определении гипоцентра землетрясения с использованием различных методов//Материалы научно-практической конференции. ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова». 2017. С. 256-259.
25. Асланов Т.Г., Асланов Г.К., Курбанмагомедов К.Д., Шахтарин Б.И. Зависимость ошибок в определении координат очага землетрясения от методов расчета (сфер и гипербооидов). Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №4 (44), 2017. Махачкала: ДГТУ, 2017. С. 87-98
26. Асланов Т.Г., Мусаева У.А. Анализ плотности распределения ошибок в определении координат очага землетрясения по методам сфер и эллипсоидов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019;46(2):61-70. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2019-46-2-61-70>
27. Асланов Т.Г., Магомедов Х.Д., Мусаева У.А., Тагиров Х.Ю. Влияние пространственного расположения сейсмодатчиков на точность определения гипоцентра землетрясения // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №4 (43), 2016. Махачкала: ДГТУ, 2016. С. 73-84
28. Асланов Т.Г., Тагиров Х.Ю. Влияние пространственного расположения сейсмодатчиков на точность определения гипоцентра землетрясения с использованием различных (комбинированных) методов / Материалы Международного молодежного научного форума "ЛОМОНОСОВ-2017" / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] М.: МАКС Пресс, 2017 — 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). ISBN 978-5-317-05504-2
29. Асланов Г.К., Асланов Т.Г. Тагиров Х.Ю. Исследование зависимости расположения сейсмодатчиков на точность определения гипоцентра землетрясения от различных методов расчета координат // Неделя науки – 2017: материалы XXXVIII итоговой научно-технической конференции ДГТУ, 17-22 апреля 2017 г., Махачкала / Под ред. д.т.н., проф. Т.А. Исмаилова. Махачкала, ДГТУ, 2017. С.35-39.

References:

1. Shakhrimanyan M.L., Nigmatov G.M., Sosunov I.V. Mathematical modeling as a way to support decision-making in case of emergencies. [Katalog «Pozharnaya bezopasnost»] *Catalog "Fire safety"*. 2003; 240-241 (In Russ)
2. D'Amico S. (ed.) Earthquake Research and Analysis - Statistical Studies, Observations and Planning / S. D'Amico - InTech. Janeza Trdine. 2012; 460.

3. Robert Garotta. Shear waves: from registration to interpretation. Short course of lectures for higher educational institutions. 2000 Series No. 3
4. Schuster G.T. Basics of Seismic Wave Theory. University of Utah, 2007; 154 .
5. Kasahara K. Earthquake mechanics / K. Kasahara - Cambridge University Press, 1981; 272.
6. Kennett B. Seismic Wave Propagation in Stratified Media. Australian National University Press. 2009; 298.
7. Yanovskaya T.B. Fundamentals of seismology: textbook . St. Petersburg. 2008; 222 (In Russ)
8. D'Amico S. (Ed.) Engineering Seismology, Geotechnical and Structural Earthquake Engineering. InTech; 2013; 300 .
9. Aslanov T.G., Davudova D.D., Mirzakhanova L.S. Determination of the coordinates of the earthquake hypocenter using the combined method of spheres and hyperboloid . Svid. about the state. reg. prog. Computer No. 2017616673 Ros. Federation / applicant and copyright holder VSUY (RPA of the Ministry of Justice of Russia). No. 2017611151; declared 02/13/17; publ. 09.06.17. (In Russ)
10. Aslanov T.G., Determination of the coordinates of the earthquake hypocenter using the combined method of the sphere, hyperboloid and ellipsoid. Svid. about the state. reg. prog. Computer No. 2017660545 Ros. Federation / applicant and copyright holder VSUY (RPA of the Ministry of Justice of Russia). No. 2017615709; declared 06/13/17; publ. 09/22/17. (In Russ)
11. Shakhtarin B.I., Aslanov T.G., Tetakaev U.R. Determination of the coordinates of the earthquake source using figures of the fourth and second order - the Cassini oval and hyperbola. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2019; 46 (4): 134-142. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2019-46-4-134-142>(In Russ)
12. Aslanov T.G. Determination of the coordinates of the earthquake source using the combined method. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2017; 44 (2): 118-125. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125> (In Russ)
13. Aslanov T.G., Shakhtarin B.I., Aslanov G.K. Determination of the coordinates of the earthquake source using figures of the second order - ellipse and hyperbola. [Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii] *Automation. Modern technologies*. 2018; 11 (72): 503-509 (In Russ)
14. Aslanov T.G. Development of an algorithm for determining the coordinates of the earthquake source, with the simultaneous determination of the velocities of seismic waves. Scientific works of young researchers of the "Step into the future" program. Volume 8. "Professional". Moscow. 2005; 32-34 (In Russ)
15. Aslanov T.G., Aslanov G.K., Kudaev D.A. Determination of the velocities of seismic waves from the occurred earthquake // XXXVI final scientific and technical conference of DSTU: abstracts. Makhachkala, RIO DSTU, 2005; 72-73 (In Russ)
16. Aslanov G.K., Daniyalov M.G., Aslanov T.G., Magomedov Kh. D. On one method for determining the source of an earthquake with simultaneous determination of the velocities of seismic waves. [Trudy Instituta geologii DNTS RAN] *Proceedings of the Institute of Geology, Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010; 56: 54-59. (In Russ)
17. Aslanov T.G., Tagirov H.Yu., Magomedov G.B. Determination of coordinates of an earthquake source with simultaneous determination of seismic wave velocities using data from four or more seismic sensors. Svid. about the state. reg. prog. Computer No. 2016662097 Ros. Federation / applicant and copyright holder VSUYu (RPA of the Ministry of Justice of Russia). No. 2016619293; declared 09/02/16; publ. 10/31/16. (In Russ)
18. Ayvazyan S.A. Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Applied statistics. Basics of modeling and primary data processing. [Finansy i statistika] *Finance and statistics*. 1983. (In Russ)
19. Van der Waerden B.L. Math statistics. M.: IL, 1960. (In Russ)
20. Analytical geometry and linear algebra: textbook. allowance / A. E. Umnov. 3rd ed., Rev. and add. M.: MFTI, 2011; 544. ISBN 978-5-7417-0378 (In Russ)
21. Aslanov T.G., Aslanov G.K., Tagirov H.Yu. Determination of the structure of the earth from seismograms of the occurred earthquakes. Information technologies in economics and management: materials of the All-Russian scientific and practical conference, November 19-20, 2014 - Makhachkala: DSTU. 2014; 242-246 (In Russ)
22. Aslanov T.G., Tagirov H.Yu. Determination of the coordinates of the earthquake focal point with the simultaneous determination of the velocities of seismic waves . Materials of the International Youth Scientific Forum "LOMONOSOV-2015" / Otv. ed. A.I. Andreev, A.V. Andriyanov, E.A. Antipov. [Electronic resource] M.: MAKSS Press, 2015; 1 electron. wholesale disc (DVD-ROM). ISBN 978-5-317-04946-1 (In Russ)
23. Aslanov T.G., Alimerdenov V.Sh. Determination of the structure of the earth according to the statistical data of the times of arrival of seismic waves of the occurred earthquakes. Start to the future - 2013. Proceedings of the III scientific and technical conference of young scientists and specialists. Saint Petersburg (In Russ)
24. Aslanov T.G., Tagirov Kh.Yu. On some issues of choosing seismic sensors in order to reduce errors in determining the hypocenter of an earthquake using various methods. Proceedings of the scientific-practical conference. Center for Seismic Data Analysis of Moscow State University named after M.V. Lomonosov". 2017; 256-259. (In Russ)
25. Aslanov T.G., Aslanov G.K., Kurbanmagomedov K.D., Shakhtarin B.I. Dependence of errors in determining the coordinates of the earthquake source on calculation methods (spheres and hyperbooids). [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. No. 4 (44), 2017. Makhachkala: DSTU. 2017; 87-98 (In Russ)
26. Aslanov T.G., Musaeva U.A. Analysis of the error distribution density in determining the coordinates of the earthquake source using the methods of spheres and ellipsoids. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2019; 46(2):61-70. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2019-46-2-61-70> (In Russ)
27. T. G. Aslanov, Kh. A. Magomedov, U. A. Musaeva, and Kh. Yu. Influence of the spatial arrangement of seismic sensors on the accuracy of determining the earthquake hypocenter. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2016; 4 (43), Makhachkala: DSTU. 2016; 73-84 (In Russ)
28. Aslanov T.G., Tagirov Kh.Yu. Influence of the spatial arrangement of seismic sensors on the accuracy of determining the earthquake hypocenter using various (combined) methods. Materials of the International Youth Scientific Forum "LOMONO-

SOV-2017" / Ed. ed. I.A. Aleshkovsky, A.V. Andriyanov, E.A. Antipov. [Electronic resource] M.: MAK Press, 2017 - 1 electron. opt. disc (DVD-ROM). ISBN 978-5-317-05504-2 (In Russ)

29. Aslanov G.K., Aslanov T.G. Tagirov Kh.Yu. Study of the dependence of the location of seismic sensors on the accuracy of determining the earthquake hypocenter on various methods for calculating coordinates. Science Week - 2017: materials of the XXXVIII final scientific and technical conference of the DSTU, April 17-22, 2017, Makhachkala / Ed. d.t.s., prof. T.A. Ismailov. Makhachkala. DSTU. 2017; 35-39. (In Russ)

Сведения об авторах:

Асланов Тагирбек Гайдарбекович, кандидат технических наук, докторант, старший преподаватель кафедры управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; tabasik@gmail.com; Orcid: 0000-0002-5594-3554

Сидоркина Юлия Анатольевна, доктор технических наук, доцент кафедры автономных информационных и управляющих систем; sidyulia5969@yandex.ru

Information about the authors:

Tagirbek G.Aslanov, Cand. Sci. (Eng.), Doctoral Cand., Senior Lecturer, Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; e-mail: tabasik@gmail.com

Yulia A. Sidorkina, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department Autonomous Information and Control Systems; sidyulia5969@yandex.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 15.10.2021.

Одобрена после рецензирования / Revid 10.11.2021.

Принята в печать /Accepted for publication 10.11.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 004.93(004.4, 004.6, 303.732)

DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-72-80

Оригинальная статья / Original Paper

Оценка компетенций в стандартах ФГОС 3++ на базе нечётко-логического подхода

О.В. Асташина

Рязанский государственный радиотехнический университет им В.Ф. Уткина,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, Россия

Резюме. Цель. В статье рассматривается методика оценки компетенций в образовательных стандартах ФГОС 3++. **Метод.** Оценка компетенции осуществляется через индикаторы компетенций. Для оценки компетенции сложного многослойного объекта был использован математический аппарат теории нечётких множеств. **Результат.** Приведён пошаговый пример оценки компетенций. Представлен процесс трансформации входных переменных в нечёткие множества – оценки индикаторов компетенций. Разработана трапециевидная шкала лингвистических термов. Поэтапно представлены процессы фазификации, аккумуляции и дефазификации. Получена итоговая чёткая оценка по компетенции. **Вывод.** Введение нечётких чисел позволяет все вычисления производить достаточно гибко и получать в результате дефазификации объективную оценку сформированной компетенции.

Ключевые слова: компетенция, нечёткие множества, лингвистические термы, индикаторы компетенций

Для цитирования: О.В. Асташина. Оценка компетенций в стандартах ФГОС 3++ на базе нечётко-логического подхода. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 72-80. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-72-80

Assessment of competencies in the Federal state educational standard (FSES) 3++ based on a fuzzy-logical approach

O.V. Astashina

V.F. Utkin Ryazan State Radio Engineering University,
59/1 Gagarina Str., Ryazan 390005, Russia

Abstract. Objective. The article discusses the methodology for assessing competencies in the educational standards of the Federal State Educational Standard 3++. **Method.** Competence assessment is carried out through competency indicators. To assess the competence of a complex multilayer object, the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets was used. **Result.** A step-by-step example of competency assessment is given. The process of transformation of input variables into fuzzy sets is presented - assessments of competency indicators. A trapezoidal scale of linguistic terms has been developed. The processes of fuzzification, accumulation and defuzzification are presented step by step. A final clear assessment of competence was obtained. **Conclusion.** The introduction of fuzzy numbers allows all calculations to be performed quite flexibly and, as a result of defuzzification, to obtain an objective assessment of the formed competence.

Keywords: competence, fuzzy sets, linguistic terms, competence indicators

For citation: O.V. Astashina. Assessment of competencies in the Federal state educational standard (FSES) 3++ based on a fuzzy-logical approach. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (4): 72-80. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-72-80

Введение. В сфере образования, в частности, главной на сегодняшний день парадигмой является компетентностный подход, прошедший эволюционный путь от широкого внедрения термина компетенции в научный оборот (1960 – 1990 гг.), разработки классификации

компетенций (1990-2010гг.), введения в действие ФГОС ВПО (2009-2011гг.), ФГО 3, ФГОС 3++ до формирования и автоматизации их оценки (текущий период).

Впервые категорию «компетенция» ввёл в научный лексикон лингвист Н. Хомский [1]. Его термин впоследствии был экстраполирован в другие области знания. Среди зарубежных исследователей компетентностного подхода в образовании следует назвать Дж. Равена, выделившего 37 основных компетенций и предложившего 2-ух мерную матрицу для оценки компетенций (по аналогии с таблицей химических элементов) [2]. Вклад в развитие компетентностного подхода внесла группа международных исследователей DeSeCo (2001 г.) (были выделены и проанализированы ключевые компетенции), европейский проект TUNING (создана модель для разработки и реализации программ высшего образования на базе компетентностного подхода)

Крупнейшим отечественным исследователем компетентностного подхода остаётся И.А. Зимняя. Её исследовательская группа занималась разработкой компонентной структуры компетенций и вплотную подошла к разработке процедуры оценивания компетенций. Математические модели оценки компетенций описаны в работах М. С.Тигиной [3], В.Н. Гусятникова [4], Е.В. Воробьева [5].

Однако, вопросы оценки компетенций, при всей их актуальности, остаются нерешёнными.

Постановка задачи. В ранее существовавших образовательных стандартах оценки по дисциплинам отражали достижения студентов по конкретным дисциплинам. Прямой корреляции между этими результатами обучения и профессиональными стандартами не существовало. В новых образовательных стандартах результатом образовательного процесса являются компетенции, соответственно, оценивать предстоит именно их. Оценке подлежат компетенции, приобретённые за период обучения в вузе.

В ФГОС3++ оцениваются не дисциплины, а индикаторы компетенций, выделенные для освоения этих дисциплин. Задача состоит в том, чтобы соотнести оценки, и достижения с индикаторами компетенций, и, соответственно, непосредственно компетенциями. Компетенции – «новые» системообразующие элементы системы образования, и оценивать их, пользуясь привычными методами и инструментарием, по меньшей мере, не правильно.

Методы исследования. Корреляция индикаторов компетенций с академическими дисциплинами и практиками

В ФГОС 3++ представлены 3 группы компетенций: универсальные (УК), общепрофессиональные (ОПК) и профессиональные (ПК). Компетенции формируются в ходе изучения дисциплин и прохождения практик. Причём, у каждой компетенции - К – есть своя группа индикаторов компетенций. A_i^k – оценка i индикатора по k компетенции (где i – количество индикаторов k -компетенции, $k=1 \dots K$ – количество компетенций в компетентностной модели).

Индикаторы компетенций относятся к дисциплинам и практикам, т.е. в ходе изучения дисциплин и прохождения практик предполагается достижение определённого индикатора компетенции, которой данный индикатор принадлежит. Один и тот же индикатор может характеризовать академические достижения в разных дисциплинах и практиках. Т.е. показатели одного индикатора компетенции достигаются в результате освоения разного набора дисциплин D и практик P в разные временные периоды обучения t . На рис. 1 схематично представлена связь компетенций, индикаторов, дисциплин и практик. Индикатор компетенции – это, фактически, показатель результатов обучения и показатель уровня освоения компетенции. Т.е. через индикаторы компетенции происходит оценка компетенции: из индикаторов компетенции складывается компетенция, её качественные и количественные оценки.

Дисциплины и практики в учебных планах имеют чётко определённой количественный показатель в виде отведённых на их освоение часов и зачётных единицах, что соответствует параметру V - объём или трудоёмкость дисциплин (практик).



Рис. 1. Связь индикаторов компетенций, дисциплин и практик
Fig. 1. Connection of indicators of competencies, disciplines and practices

Количественный или иной параметр оценки компетенций отсутствует. Предполагается воспользоваться Фондом оценочных средств, который составляют преподаватели отдельных дисциплин в рабочих программах. Здесь представлен весь арсенал педагогических измерений: балльно-рейтинговые, уровневые оценки компетенций и т.д. Измерение – определение значений частных показателей – единичных и комплексных. Широко применяющийся в современных педагогических измерениях принцип, предполагает, что эмпирические референты (результаты тестов, тестовых заданий) являются видимой оценкой результатов обучения.

Для оценки знаний по отдельным дисциплинам педагогические измерения уместны, так как чётко определены характеристические свойства принадлежности элементов. Индикаторы компетенций по дисциплинам и практикам оценивают навыки и умения и уже здесь возникают вопросы: приемлема ли оценка нелинейных процессов при помощи линейных инструментов.

Каждая дисциплина и практика оцениваются по 5-балльной шкале, в рамках которой оцениваться компетенции. Т.е. оценки за дисциплины и практики в той или иной степени принадлежат компетенции (через индикатор компетенции), которую они формируют. С целью определения степени зависимости был задействован аппарат теории нечётких множеств. Выбранная методика обусловлена ещё и тем фактом, что именно исследования Н. Хомского (ввёл термин «компетенция» в научный оборот) по формальным грамматикам, послужила основой для введения лингвистических переменных в практику вычисления нечётких величин [9]. С помощью лингвистических переменных можно описывать объекты, точное измерение характеристик которых либо крайне трудоемко, либо вообще невозможно. Компетенции относятся к этой категории объектов.

Процедура оценивания компетенции с применением нечётко-логического подхода состоит из следующих этапов:

1. Фазификация: введение нечёткости;
2. Построение функций принадлежности, термов-множеств;
3. Нечёткий логический вывод: приведение к одному нечёткому множеству с каждой переменной вывода для каждого правила;
4. Аккумуляция: все нечёткие множества, назначенные к каждой переменной вывода (во всех правилах) объединяются вместе, чтобы сформировать одно нечёткое подмножество для каждой переменной выхода. При объединении используются операции max(максимума) или sum (сумма).
5. Дефазификация: приведение к чёткости нечёткого набора выводов и получение чёткого числа или оценки компетенции. Метод приведения к чёткости – метод центра тяжести.

Оценка компетенций. Необходимо определить в какой мере, в какой степени оценки по

индикаторам компетенций в дисциплинах и практиках принадлежат формируемой ими компетенции или в какой мере оценка по индикатору компетенций в дисциплине (практике) принадлежит итоговой оценке компетенции. Компетенция, как уже было сказано, оценивает совокупность умений, знаний и практического опыта, необходимых при решении профессиональных задач. Совокупность не есть сумма достижений студентов, и, применение аддитивной формы (средневзвешенное суммирование) для оценки компетенций допускает возможность «компенсации» уровня качества по одним параметрам за счет других, что снижает точность оценки. Воспользуемся методами теории нечётких множеств [6]: введём функцию принадлежности для лингвистической переменной (ЛП) «оценка индикатора компетенции».

Построение нечётких терм-множеств для лингвистической переменной. Процесс формирования лингвистической переменной (j) состоит из следующих этапов:

1. Определение множества термов ЛП и его упорядочение.
2. Построение числовой области определения ЛП, т.е. описание универсального множества U – (универсум) переменных, которые входят в определение лингвистической переменной.

3. Проведение опроса экспертов. Это основной этап при формировании ЛП. Опрос может быть прямым и косвенным. Возможно использование универсальных вербально-числовых шкал при наличии таковых.

4. Построение функций принадлежности для каждого терма ЛП на основе сформированного семантического правила, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной ее смысл, т. е. нечеткое подмножество универсального множества.

Термы лингвистической переменной [8] представляют собой нечёткие множества. В нашем случае это термы ЛП «отлично развитая компетенция», «хорошо развитая компетенция», «удовлетворительно развитая компетенция», «плохо развитая компетенция», «очень плохо развитая компетенция». $T(j) = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, причем каждое T_i – нечеткая переменная со значениями из универсального множества U с базовой переменной u . К термам лингвистической переменной предъявляется требование упорядоченности: $T_1 < T_2 < \dots < T_n$. Функции принадлежности нечетких множеств, составляющих количественный смысл базовых термов лингвистической переменной представлены на носителе $[0,1]$. Универсальное множество задано основными оценками из 5-балльной шкалы: $U = [1,2,3,4,5]$. Устанавливаем область определения для нечётких переменных-термов, нечётких значений термов на носителе $[0,1]$. Воспользовавшись универсальной вербально-числовой шкалой Харрингтона, имеем области определения для нечётких термов «отлично» – $1 - [0,8-1]$, «хорошо» – $[0,6-0,8]$, удовлетворительно – $[0,4-0,6]$, «плохо» – $[0,2-0,4]$ и «очень плохо» – $[0-0,2]$. Численные значения градации шкалы Харрингтона получены по результатам анализа большого массива статистических данных (табл.1).

Благодаря этому шкала Харрингтона универсальна и может в соответствующих модификациях (например, в виде шкалы баллов) использоваться для оценки многих модификаций качественных показателей.

Таблица 1. Универсальная вербально-числовая шкала Харрингтона
Table 1. Universal Verbal-Numeric Harrington Scale

Числовое значение (шкала отношений) Numerical value (ratio scale)	Содержательное описание (шкала наименований) Meaningful description (name scale)
0,8-1,0	Отлично Fine
0,64-0,8	Хорошо Good
0,37-0,64	Удовлетворительно Satisfactorily
0,2-0,37	Плохо Badly
0,0-0,2	Очень плохо Very bad

Для построения трапецевидных функций принадлежности нечётких лингвистических термов, введём формулу для вычисления коэффициента нечёткости τ для получения интервалов нечётких термов [7]. Граница перехода – самое нечёткое число на шкале $[0,1] - 0,5 (\varphi)$.

$$\tau = \frac{1}{2|T|} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\varphi}}} \quad (1)$$

где $|T|$ – мощность терм-множества, φ – граница нечёткости.

При мощности терм-множества, равном 5 и φ равном 0,5 получаем коэффициент нечёткости 0,1.

В табл. 2 показано сопоставление трапецевидных нечётких чисел термов.

Таблица 2. Параметры термов

Table 2. Terms parameters

Терм Term	Очень плохо Very bad	Плохо Badly	Удовлетворительно Satisfactorily	Хорошо Good	Отлично Fine
Нечёткие числа Fuzzy numbers	(0,0,0,1, 0,2)	(0,1, 0,2, 0,3, 0,4)	(0,3, 0,4, 0,5, 0,6)	(0,5, 0,6, 0,7, 0,8)	(0,7, 0,8, 0,9,1)

Для описания термов лингвистической переменной уровня освоения компетенции используем трапецевидальные функции принадлежности (рис. 2).

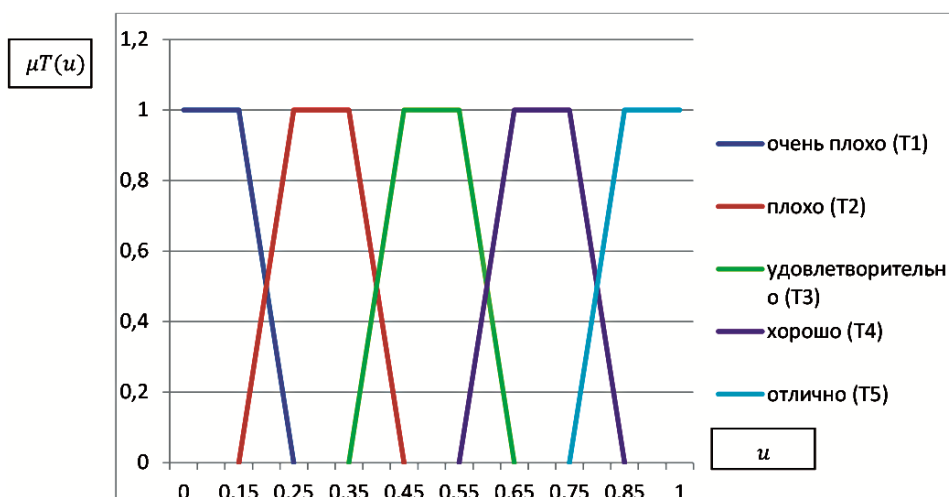


Рис. 2. Описание лингвистической переменной «оценка индикатора компетенций»

Fig. 2. Description of the linguistic variable "competence indicator score"

Зная четвёрку чисел (a, b, c, d) , задаём трапецевидную функцию принадлежности:

$$T(u) = \begin{cases} 1 - \frac{b-u}{b-a}, & a \leq u \leq b, \\ 1, & b \leq u \leq c, \\ 1 - \frac{u-c}{d-c}, & c \leq u \leq d, \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

Трапецевидная функция принадлежности $fT(U; a, b, c, d)$ является функцией (L-R)-типа. Представление нечётких множеств термов функциями L-R типа удобно для ввода\вывода данных и для хранения данных.

Они задаются с помощью невозрастающих на множестве неотрицательных действительных чисел с функциями действительного переменного $L(x)$ и $R(x)$, причём $L(-x)=L(x)$, $R(-x)=R(x)$; $L(0)=R(0)=1$ – условие нормирования.

Применение нечетких множеств при оценке индикаторов компетенций позволяет избежать резкого перехода между соседними оценками, что делает оценку существенно точнее. Данная функция принадлежности порождает нормальные выпуклые нечёткие множества с носителем (a, d) , границами $(a,b) \cup (c,d)$ и ядром (b,c) . В результате оценки индикатора компетенции формируется нечеткое число в интервале от 0 до 1. При $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$, получаем следующие параметры термов функций принадлежности термов:

$$\begin{aligned}\mu T1(u_1) &= [0 - 0,2], \text{ с ядром } b, c [0;0,1] \\ \mu T2(u_2) &= [0,1 - 0,4], \text{ с ядром } b, c [0,2;0,3] \\ \mu T3(u_3) &= [0,3 - 0,6], \text{ с ядром } b, c [0,4;0,5] \\ \mu T4(u_4) &= [0,5 - 0,8], \text{ с ядром } b, c [0,6;0,7] \\ \mu T5(u_5) &= [0,7 - 1], \text{ с ядром } b, c [0,8;0,9]\end{aligned}$$

Приведение к нечёткости индикаторов компетенций. Оценка компетенций складывается из оценок за индикаторы компетенций, причём индикаторы компетенций принадлежат различным предметам и практикам и время их освоения рассредоточено во всём периоде обучения (по данной специальности). Задача состоит в том, чтобы определить в какой мере, в какой степени оценка j по индикаторам компетенций (в дисциплинах и практиках) i принадлежит формируемой компетенции K_{ij} .

За универсальное множество принимается 5-балльная шкала, на которой построены нечёткие терм-множества лингвистической переменной «оценка индикатора компетенции».

Пусть индикатор компетенции оценивается в нескольких дисциплинах и практиках. Индикатор компетенции будет представлять нечёткое число x_{ij} или нечёткое множество $\tilde{A}$ и строится на входной переменной x_{ij} (действительное число (одна из оценок 5-балльной шкалы по дисциплинам)). Для построения функции принадлежности используем метод статистической обработки экспертной информации.

Функция принадлежности оценки индикатора A компетенции $\mu A(x_{ij})$ строится по формуле:

$$\mu A(x_{ij}) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (b_{ij}^k) \quad (2)$$

где K – количество дисциплин, b_{ij}^k – оценка по k -ой дисциплине у формируемой индикатором i компетенции, j – оценки в диапазоне от «отл» до «очень плохо». $b_{ij}^k \in \{1,2,3,4,5\}$, 1-5 – степень (уровень) освоения материала в дисциплинах k индикатора компетенции i .

Функция принадлежности $\mu A(x_{ij})$ указывает степень (уровень) принадлежности элемента x_{ij} подмножеству A . Для оценки компетенции использована функция принадлежности, принимающая значения в некотором упорядоченном множестве $M=[0,1]$

Обсуждение результатов. Допустим, что есть компетенция УК1 и три её индикатора УК1.1, УК1.2, УК 1.3. Индикаторы УК1.1.и УК1.2 оценивается в 7 академических дисциплинах и практиках, а индикатор УК1.3.в 6 академических дисциплинах и практиках. Требуется оценить УК1, если входные оценки ((j (оценка от 1-5)), выставлены преподавателями дисциплин по индикатору A_1 следующим образом: Современная философия и методология науки – 5; Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы – 5; Учебная практика – 4; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) – 4, Научно-исследовательская работа – 4, Производственная практика – 3, Преддипломная практика – 3.

Тогда

$$\begin{aligned}\mu A_1(x_{ij3}) &= 2 \setminus 7 = 0,2 \\ \mu A_1(x_{ij4}) &= 3 \setminus 7 = 0,4 \\ \mu A_1(x_{ij5}) &= 2 \setminus 7 = 0,2\end{aligned}$$

$$УК-1.1 = \tilde{A}_1 = \{0,2 / 3; 0,4 / 4, 0,2 / 5\}$$

Для индикатора компетенции УК 1.2.(A₂) j были выставлены преподавателями следующим образом: Современная философия и методология науки – 4; Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы – 4; Учебная практика – 4; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) – 3, Научно-исследовательская работа – 3, Производственная практика – 5, Преддипломная практика – 4.

Тогда

$$\mu A_2(x_{ij3}) = 2/7 = 0,2$$

$$\mu A_2(x_{ij4}) = 4/7 = 0,5$$

$$\mu A_2(x_{ij5}) = 1/7 = 0,1$$

$$УК-1.2 = \tilde{A}_2 = \{0,2/3; 0,5/4; 0,1/5\}$$

Для индикатора компетенции УК 1.3.(A₃) входные j были выставлены преподавателями следующим образом: Современная философия и методология науки – 3; Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы – 3; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) – 4, Научно-исследовательская работа – 4, Производственная практика – 5, Преддипломная практика – 5. Индикатор УК-1.3 оценивается 6 академическими дисциплинами.

Тогда

$$\mu A_2(x_{ij3}) = 2/6 = 0,3$$

$$\mu A_2(x_{ij4}) = 2/6 = 0,3$$

$$\mu A_2(x_{ij5}) = 2/6 = 0,3$$

$$УК-1.3 = \tilde{A}_3 = \{0,3/3; 0,3/4; 0,3/5\}$$

Из получившихся множеств индикаторов оценки компетенции УК1 выделяем нечёткие подмножества «нечёткое три», «нечёткое четыре», «нечёткое пять», полученные в каждом из индикаторов компетенции.

$$A3'(\text{три}) = \sum \mu A_i(x_{ij3}) = \{0,2, 0,2, 0,3\}$$

$$A4'(\text{четыре}) = \sum \mu A_i(x_{ij4}) = \{0,4, 0,5, 0,3\}$$

$$A5'(\text{пять}) = \sum \mu A_i(x_{ij5}) = \{0,2, 0,1, 0,3\}$$

При фазификации трапециевидными функциями нечёткие множества оценок за индикаторы компетенций образуют нечёткие отношения.

Нечёткие отношения, база правил и нечёткий логический вывод (нечёткая импликация). Композиция. База правил, необходимая для организации нечётких выводов, представляет собой совокупность нечётких отношений между термами входной и выходной лингвистических переменных. Каждое нечёткое отношение определяет одно правило. Правила для определения оценки индикатора компетенций:

Rule 1: if $\sum \mu A_i(x_{ij3})$ is $A3'_{\text{(нечёткая три)}}$, then u is B1'

Rule 2: if $\sum \mu A_i(x_{ij4})$ is $A4'_{\text{(нечёткая четыре)}}$, then u is B2'

Rule 3: if $\sum \mu A_i(x_{ij5})$ is $A5'_{\text{(нечёткая пять)}}$, then u is B3'

$$R = A_{(x)} \rightarrow B_{(u)}$$

Импликация Мамдани [10]:

$$\mu_{R_{A \rightarrow B}}(x, u) = [\mu_A(x) \cap \mu_B(u) = \min [\mu_A(x), \mu_B(u)]]$$

$$A3'(\text{три}) = \{0,2, 0,2, 0,3\} \cap \mu T3(u_3) = \{0,3, 0,4, 0,5, 0,6\}$$

	x_1	x_2	x_3
u_1	0,3	0,3	0,3
u_2	0,2	0,2	0,2
u_3	0,2	0,2	0,2

$$R1_{max}=0,3$$

$$A4'(\text{четыре}) = \{0,4, 0,5, 0,3\} \cap \mu T4(u_4) = [0,5, 0,6, 0,7, 0,8]$$

	x_1	x_2	x_3
u_1	0,4	0,4	0,4
u_2	0,5	0,5	0,5
u_3	0,3	0,3	0,3

$$R2_{max}=0,5$$

$$A5'(\text{пять}) = \{0,2, 0,1, 0,3\} \cap \mu T5(u_5) = [0,7, 0,8, 0,9, 1]$$

	x_1	x_2	x_3
u_1	0,2	0,2	0,2
u_2	0,1	0,1	0,1
u_3	0,3	0,3	0,3

$$R3_{max}=0,3$$

Аккумуляция отношений представлена следующим образом:

$$R1 \cdot R2 \cdot R3 = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,3$$

Для нахождения целого числа используем формулу нахождения центра тяжести:

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot \mu A(x_{ij})}{\sum_{i=1}^n \mu A(x_{ij})} = y \quad (3)$$

где n – число одноэлементных нечётких множеств, каждое из которых характеризует единственное значение рассматриваемой выходной лингвистической переменной.

Применительно к рассматриваемому примеру:

$$\frac{3 \times 0,3 + 5 \times 0,3 + 4 \times 0,5}{0,3 + 0,3 + 0,5} = 4, \text{ оценка за компетенцию УК-1(K) = 4}$$

Вывод. Внедрение компетенций в образовательный процесс было первым этапом трансформации процессов обучения. Разработка системы оценки компетенций – её следующий шаг, подразумевающий разработку нечёткой системы оценки компетенции. В условиях цифровой экономики вузы быстро меняют свой функционал: идёт трансформация от вуза-места обучения к вузу-центру сертификации специалистов, что постепенно модифицирует образовательную систему, делая её открытой и более устойчивой. Компетенции должны оценивать совокупность учебных достижений студента, и требуют гибкой, чувствительной к деталям системы оценки. Через введение функции принадлежности, определяем в какой мере оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо» по индикаторам компетенции в дисциплинах и практиках соответствуют компетенции, ими формируемой.

Введение нечётких чисел позволяет все вычисления производить достаточно гибко и получать в результате дефазификации объективную оценку сформированной компетенции. В результате использования теории нечётких множеств получаем принципиально новый метод оценки компетенций.

Библиографический список:

1. Зимняя И.А. Ключевые компетентности как результативно-целевая основа компетентностного подхода в образовании. Авторская версия. М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2004. 40 с.
2. Равен Дж. Компетентность в современном обществе : выявление, развитие и реализация / Пер. с англ. – М., «Когито-Центр», 2002. 396 с.
3. Тигина М. С. Модель оценки уровня сформированности компетенций / М.С. Тигина // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. 2015. №2. С. 310-314.
4. Гусятников В.Н., Безруков А.И., Каюкова И.В. Многомерная модель тестирования для измерения уровня формируемых компетенций // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики: Материалы 2-й научно-практической Internet-конференции. отв. ред. Ю.С. Нагорнов. Ульяновск: SIMJET, 2013. С. 34-40.
5. Воробьев Е.В. Принципы автоматизации оценки знаний при переходе к компетентностно-ориентированной образовательной системе [Электронный ресурс] / Е.В. Воробьев // Вестник МГУП имени Ивана Федорова, 2013. №9. С. 28–31. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/printsiy-avtomatizatsiiotsenki-znaniy-pri-perehode-k-kompetentnostno-orientirovannoy-obrazovatelnoy-sisteme>. Дата обращения: 22.11.2016.
6. Дондик Е.М. Системный анализ информационно-управляющих систем: учеб. пособие. Рязан. гос. радиотехн. акад.

- Рязань, 2004. 44 с.
7. Лещинский Б. С. Оценивание знаний учащегося с использованием теории нечётких множеств//Вестник Томского государственного университета, 2003 С. 374-378
 8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию решений. М.: Мир, 1976.
 9. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.312 с. (Проблемы искусственного интеллекта)
 10. Хижняков Ю. Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого управления в системах реального времени: учеб. пособие. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. 160 с.

References:

1. Zimnyaya I.A. Key competencies as an effective-target basis of a competence-based approach in education. Author's version. *Research Center for the Problems of the Quality of Training of Specialists*. 2004; 40 (In Russ)
2. Raven J. Competence in modern society: identification, development and implementation / Per. from English , *Kogito-Center*. 2002; 396. (In Russ)
3. Tigina MS Model for assessing the level of formation of competencies. [Vestnik MGUP imeni Ivana Fedorova] *Bulletin of Moscow State University named after Ivan Fedorov*. 2015; 2: 310-314. (In Russ)
4. Gusyatnikov V.N., Bezrukov A.I., Kayukova I.V. A multidimensional testing model for measuring the level of formed competencies // *Interdisciplinary research in the field of mathematical modeling and informatics: Proceedings of the 2nd scientific and practical internet conference*. otv. ed. Yu.S. Nagornov. Ulyanovsk: SIMJET, 2013; 34-40. (In Russ)
5. Vorobiev E.V. Principles of automation of knowledge assessment in the transition to a competence-oriented educational system [Electronic resource] [Vestnik MGUP imeni Ivana Fedorova] *Bulletin of Moscow State University named after Ivan Fedorov*.2013; 9: 28-31. Access mode: <http://cyberleninka.ru/article/n/printsiy-avtomatizatsiiotsenki-znaniy-pri-perehode-k-kompetentnostno-orientirovannoy-obrazovatelnoysisteme>. Date of access: 22.11.2016. (In Russ)
6. Dondik E.M. System analysis of information control systems: Textbook. Manual. *Ryazan State Radio Engineering Academy Ryazan*. 2004; 44. (In Russ)
7. Leshchinsky B.S. Assessment of student knowledge using the theory of fuzzy sets. [Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta] *Bulletin of the Tomsk State University*. 2003; 374-378 (In Russ)
8. Zade L. The concept of a linguistic variable and its application to decision-making. Moscow: [Mir] *World*. 1976. (In Russ)
9. Fuzzy Sets in Control Models and Artificial Intelligence / Ed. D. A. Pospelova. [Nauka] *Science*. Ch. ed. phys.-mat. lit., 1986; 312. (Problems of artificial intelligence) (In Russ)
10. Khizhnyakov Yu. N. Algorithms of fuzzy, neural and neuro-fuzzy control in real-time systems: textbook. allowance. Perm: *PNRPU Publishing House*. 2013; 160. (In Russ)

Сведения об авторе:

Ольга Владимировна Асташина, аспирант кафедры вычислительной и прикладной математики, старший преподаватель кафедры иностранных языков; astashina.ol@yandex.ru

Information about the author:

Olga V. Astashina, Post-graduate Student, Department of Computational and Applied Mathematics, Senior Lecturer, Department of Foreign languages; astashina.ol@yandex.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 25.10.2021.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 12.11.2021.

Принята в печать/Accepted for publication 12.11.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT
УДК 004.942
DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-81-89

Оригинальная статья / Original Paper

Современная наукометрия и методика её совершенствования

А.Л. Большеротов

Тверской государственный технический университет,
170026, г. Тверь, наб.Аф. Никитина, 22, Россия

Резюме. Цель. Цель исследования состоит в разработке методики оценки публикационной активности авторов и организаций. Существующий подход к оценке публикационной активности научных, высших учебных заведений и научных работников (в том числе через Российский индекс научного цитирования) не отражают истинную эффективность их научной деятельности. Ключевые показатели оценки публикационной активности – индекс цитирования и индекс Хирша формируются на основе предоставляемых в РИНЦ данных и не могут достоверно установить авторство публикации, вклад каждого соавтора, а методика начисления показателей научной активности требует серьёзной корректировки и совершенствования. **Метод.** В качестве метода исследования используется системный анализ, геометрическое моделирование, математические расчёты. **Результат.** Разработаны методика оценки наукометрических показателей и методика расчёта нового индекса публикационной активности; представлена геометрическая и математическая модель нового индекса. **Вывод.** Разработанный индекс публикационной активности позволяет более емко учесть все показатели эффективности научной деятельности: авторитетность журнала и автора, общее количество цитирований; соавторство; публикационную активность последних пяти лет и т.д.

Ключевые слова: рейтинг университетов, методика составления рейтинга университетов, публикационная активность, индекс Хирша

Для цитирования: А.Л. Большеротов. Современная наукометрия и методика её совершенствования. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 81-89 DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-81-89

Modern science metrics and methods of its improvement

A.L. Bolsherotov

Tver State Technical University,
22 Af. Nikitina seafront, Tver 170026, Russia

Abstract. Objective. The existing approach to assessing the publication activity of scientific, higher educational institutions and scientists (including through the Russian Scientific Citation Index) does not reflect the true effectiveness of their scientific activities. Key indicators for assessing publication activity - the citation index and the Hirsch index are formed on the basis of the data provided by the RSCI and cannot reliably establish the authorship of the publication, the contribution of each co-author, and the methodology for accruing indicators of scientific activity requires serious adjustment and improvement. The existing methodology for assessing publication activity stimulates multiple co-authorship in publications, to which the co-authors are often not directly related, which distorts the science-metric indicators, stimulates immutation science and increases citation indicators due to unjustified self-citation. In this regard, the subject of the study is the state of scientifometry and the methods used to evaluate publication activity. The aim of the study is to develop a methodology for assessing the publication activity of authors and organizations. **Method.** As a method of research, system analysis, geometric modeling, and mathematical calculations are used. **Result.** As a result, a methodology for evaluating scientifometric indicators was developed, a methodology for calculating a new index of

publication activity was developed, a geometric and mathematical model of the new index was presented. **Conclusion.** The developed index of publication activity makes it possible to more accurately take into account all indicators of the effectiveness of scientific activity: the credibility of the journal and the author, the total number of citations; co-authorship; publication activity of the last five years, etc.

Keywords: university rating, university ranking methodology, publication activity, Hirsch index

For citation: A.L. Bolsherotov. Modern science metrics and methods of its improvement. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48 (4): 81-89 DOI: 10.21822 / 2073-6185-2021-48-4-81-89

Введение. В настоящее время при оценке научной активности организаций и исследователей используются в основном три показателя: это количество опубликованных работ, количество цитирований (индекс цитирования – ИЦ) и индекс Хирша (ИХ) [1, 2].

Систему оценочных показателей формирует ООО «Научная электронная библиотека». Она же формирует библиографическую базу русскоговорящих учёных из многих стран, а также зарубежных авторов, публикующихся в российских изданиях. Такой масштаб охвата, проводимый Научной электронной библиотекой, научных, образовательных организаций и отдельных учёных позволяет признать Российский индекс научного цитирования наиболее авторитетной системой оценки русскоговорящих учёных и их коллег из 76 стран, публикующихся в российских изданиях. Из 1019963 чел., зарегистрированных в РИНЦ на 21.10.2021 г., большинство российские граждане – 90,3% или 920998 чел. Помимо оценки публикационной активности учёных – физических лиц, РИНЦ комплексно анализирует состояние научной активности 14813 научных и образовательных организаций из 70 страны мира.

Из стран постсоветского пространства в РИНЦ представлены практически в полном составе высшие учебные заведения всех, без исключения, бывших республик СССР и частично всех стран Восточного блока. Такая высокая представительность, безусловно, относит РИНЦ к наиболее авторитетным мировым наукометрическим центрам. А по количеству индексируемых только научных периодических изданий – 72329, РИНЦ почти в три раза превосходит известный SCOPUS с его более 24 тыс. изданий (причём, 25685 научных издания РИНЦ индексируется в SCOPUS. На сегодня РИНЦ является крупнейшей наукометрической платформой мира. Анализ публикационной активности РИНЦ полностью и объективно отражает показатели состояния науки, как отдельных учёных, так и организаций, заявленные ими в РИНЦ.

Составляемые РИНЦ рейтинги научных и образовательных организаций объективно и всесторонне отражают количественные и качественные показатели публикационной активности этих организаций как суммы публикационной активности сотрудников организации.

Постановка задачи. Необходимость в оценке наукометрических показателей, как учёных, так и организаций была необходима всегда. До появления профессиональных систем оценки наукометрических показателей, таких как SCOPUS (начал работу в 2004 г.) и РИНЦ (2005), оценка научной деятельности, оценка качества образования в ВУЗе, была достаточно субъективна и практически не имела каких-то убедительных численных характеристик. Действительно, сложно сравнивать по количеству публикаций и числу цитирований (а этот учёт до появления тех же SCOPUS и РИНЦ вёл сам автор) труды в разных сферах деятельности, например, в биологии и математике, строительстве и истории.

Очевидно, что цитировать математика будут значительно меньше, чем биолога, в силу того, что «серьёзную» математику понимает лишь узкий круг специалистов, а проблемы биологии доступны и интересны значительно более широкому кругу специалистов. Но с появлением «индекса Хирша» в 2005г., предложенного американским физиком аргентинского происхождения Хорхе Хиршем [3], появилась количественная оценка научной продуктивности учёных и организаций, основанная на взаимосвязи количества публикаций и количестве их цитирований не зависимо от научной сферы интересов учёного.

Методы исследования. По Хиршу, учёный имеет индекс N , если N цитирований имеет не менее, чем N публикаций. Геометрически область оценки публикационной активности при различных вариантах a , b , c – количества публикаций и цитирований у авторов (рис. 1), ограничена квадратом «ИХ – область индекса Хирша» со стороны N .

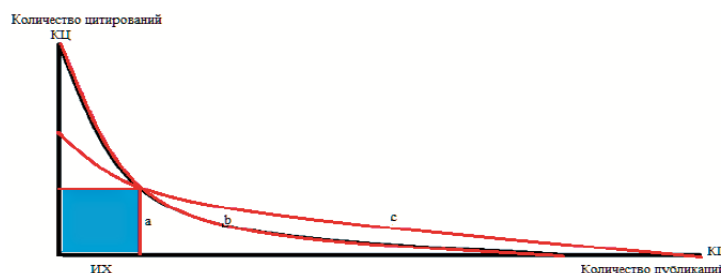


Рис. 1. Геометрическая модель индекса Хирша
Fig. 1. Geometric model of the Hirsch index

На рис. 1 представлены три модели количества публикаций и цитирований. В случае a – каждая из N публикаций имеет по N цитирований. В случаях b и c количество публикаций и цитирований значительно больше и оно разное в этих вариантах, но во всех трёх случаях индекс Хирша будет одинаков у трёх авторов и равен N по существующим правилам расчёта индекса. К примеру, гениальный французский математик Эварист Галуа успел опубликовать только 4 свои работы, и сколько бы ни цитировались труды Галуа, его индекс Хирша никогда не поднимется выше 4, по методике расчёта индекса.

Методика расчёта индекса Хирша является очень условной оценкой научной активности авторов и не учитывает многие важные для истины обстоятельства. В связи с этим, постепенно по мере совершенствования системы оценки публикационной активности, РИНЦ ввёл ещё несколько десятков оценочных параметров, так как ряд авторов и организаций в погоне за высоким индексом Хирша, за высоким рейтингом организации, стали искусственно «накручивать» свои показатели, что крайне негативно сказалось и продолжает сказываться на объективности оценки научной эффективности организаций и авторов [4 -7]. А показатели цитируемости, количество публикаций (особенно в Scopus и Web of Science), индекс Хирша являются основой, так называемого «эффективного контракта», по которому идёт значительная доплата к зарплате в высших учебных заведениях. Особенно ценятся публикации и цитирования в системах Scopus и Web of Science. Публикации в Scopus и Web of Science, как правило, платные [8].

Сумма затрат зависит от весомости журнала (рейтинг журнала, импакт-фактор) и от цен за предварительные услуги. В основном общие затраты на одну публикацию начинаются с 70 тысяч рублей и выше. По этой причине, количество соавторов в одной публикации во много раз превышает количество истинных авторов научного труда.

Но затраты на публикацию в Scopus или Web of Science в общем окупаются доплатами по «эффективному контракту». К тому же, переизбрание на должность по конкурсу в ВУЗах также увязывается с наличием публикаций в Scopus или Web of Science. А что получает наука от публикаций в Scopus, Web of Science, в журналах ВАК или просто в изданиях, индексируемых в РИНЦ, при существующей системе учёта наукометрических показателей? Гонка за количеством публикаций, индексом Хирша, индексом цитирования переходит в низкое качество публикаций, в искажение истинного положения в науке. К сожалению, при фактическом снижении уровня морали и нравственности в обществе искусственное «накручивание» показателей, соавторство в чужих трудах стало нормой.

Обсуждение результатов. Рассмотрим показатели публикационной активности авторов, рассчитываемые РИНЦ, на которые следует обращать особое внимание при оценке научной эффективности, как организаций, так и авторов.

В начальной версии методики оценки РИНЦ было около десятка показателей, но очень быстро было замечено, что эти показатели легко можно увеличить за счёт ряда несложных дей-

ствий и РИНЦ стал усложнять и увеличивать количество показателей, чтобы выйти на объективную картину оценки. При этом, ключевые показатели, такие как индекс Хирша и индекс (количество) цитирований остались основной категорией оценки. На сегодня таких показателей несколько десятков и анализируя их, можно понять, насколько достоверны и объективны результирующие индекс Хирша и индекс цитирования каждого автора или организации [9, 10].

Первый контрольный показатель, это **количество соавторов**. В идеале у научной работы соавторов практически не должно быть, научные результаты – это исследование одного автора в подавляющем большинстве направлений науки. При получении и обобщении какого-то глобального результата многолетней деятельности большого коллектива возможны итоговые труды (монографии, отчёты, учебники) с несколькими соавторами отдельных частей общей большой работы.

Однако на практике, соавторство в чужих работах, основном в статьях приобрело массовый характер. Активный соавтор может в итоге не написать ни одной собственной работы за всю жизнь, но соавторство в чужих трудах позволяет с помощью оценочной методологии РИНЦ иметь высокий индекс Хирша, индекс цитирования, количество «трудов». Выдаёт таких авторов строчка в оценке публикационной активности РИНЦ – «количество соавторов». Если число соавторов превышает число трудов, то твердо можно ставить под сомнение достоверность итогового результата.

В настоящее время вполне нормой считается иметь 2, 3...10 соавторов в одной небольшой статье. И по методике РИНЦ каждому из соавторов начисляется в зачёт по одному труду и каждому по одному цитированию, если таковые есть. Получается цитирование одно, а результат улучшился у всех соавторов сразу. И общий отчётный результат по количеству цитирований (это уже для организаций) – это сумма цитирований всех соавторов, не соответствует полученному результату этой организации. То есть, было всего одно цитирование, а в отчётном результате сумма цитирований всех соавторов [11].

Решение проблемы соавторства в чужих трудах одновременно приведёт в соответствие и показатель **количества трудов**. Он тоже в отдельных случаях доведён до абсурда желанием автора опередить конкурента и вообще всех, и достигает в отдельных случаях нескольких десятков тысяч трудов. В норме любой научный сотрудник вполне может подготовить 1-2-3 статьи по результатам своей работы в год. Конечно, можно и чаще, но при экспериментальных работах или подготовке диссертации. Установить какую-то конкретную норму сложно, в каждой сфере деятельности эта норма своя, но за 47 лет активной научной деятельности с 1901 по 1948 г.г. Альберт Эйнштейн написал 304 работы (6,5 работы в год), а знаменитый советский математик Нобелевский лауреат Лев Ландау написал за 36 лет с 1926 по 1962 год 389 работ (10,8 в год) при 45 соавторах. Причём, 167 работ или 42,93% написано Львом Давидовичем лично. Наш современник Нобелевский лауреат, изобретатель графена К.С. Новосёлов за 25 лет работы написал лично или в соавторстве 525 работ (20,01 в год) при рекордном их цитировании свыше 180 тыс. Вот такие наукометрические показатели труда учёного могут служить ориентиром сегодня.

В современном мире погоня за рейтингом, за красивыми показателями, да ещё с помощью официальных наукометрических платформ типа SCOPUS, Agris, РИНЦ и др. привела к тому, что в РИНЦ можно найти более 3200 чел., которые имеют публикаций больше, чем у Льва Ландау, а у 208 чел. публикаций вообще более 1000, что одному человеку невозможно написать физически за всю жизнь. На этот счёт существует иронический показатель – число Эрдёша, число работ выше возможностей человека.

Третий показатель, на который следует обратить внимание при оценке достоверности научных результатов организации или учёного, это **самоцитирование**. Самоцитирование само по себе не является запретным и при определённом объёме не несёт негативного оттенка. Действительно, автор обязательно должен сослаться, в том числе и на свои труды, которые предшествовали получению нынешнего результата. Количество ссылок не ограничивается никаки-

ми правилами, главное, чтобы эти цитирования были по теме исследования и отражали истоки нового научного результата.

Однако в условия некоего соревнования между учёными, преподавателями, стимулированного появлением системы учёта в виде различных индексов цитирования (РИНЦ, SCOPUS и др.), плюс требования самих университетов к повышению преподавателями публикационной активности подвигло часть авторов искусственно создавать себе необходимые показатели цитируемости и индекса Хирша за счёт самоцитирования. Результаты не заставили себя долго ждать – от неумеренного и неуместного самоцитирования, до сговора авторов, организаций о взаимном цитировании друг друга.

Каков объём самоцитирования допустим? В общем, любой, если работа честная и необходимость в самоцитировании есть. Более того, в каждой работе обязательно должно быть 1-2 ссылки на собственные труды, т.к. крайне редко удаётся что-то придумать с «нуля».

Показатель самоцитирования организаций рассчитывается несколько по-иному. Здесь учитывается количество ссылок на труды коллег из своей организации. Если организация монополист в каком-то направлении науки, как, например, американский авиационный университет, известный, как КАЛТЕХ, то самоцитирование может достигать и 100%. Но, как правило, научным направлением университета занимаются и другие университеты, с которыми имеются научные контакты. И чем больше таких научных связей, тем больше внешний интерес к трудам университета. Поэтому показатель самоцитирования университета скорее показывает на развитость научных контактов и на качество, востребованность научных исследований. Расширение научных связей, совместная деятельность с учёными других университетов, позволяет значительно повысить и общее цитирование трудов университета и снизить показатель самоцитирования.

И четвёртый, важный показатель качества науки в университете, это **импакт-фактор** собственных периодических журналов и импакт-фактор внешних журналов, где печатаются учёные и преподаватели университета. При сравнении авторов или университетов при всех равных показателях, безусловно, выше качество науки там, где выше импакт-фактор журналов и их индекс Херфиндаля, отражающий востребованность журнала сторонними авторами. Высокий импакт-фактор показывает научный вес журнала, его востребованность и качество трудов авторов, опубликованных в высокорейтинговых журналах.

Таким образом, на основе анализа оценки наукометрических показателей выявились основные проблемы оценки публикационной активности организаций и авторов: соавторство в чужих трудах; мотивированное увеличение показателя количества трудов авторов; неоправданное самоцитирование с целью увеличения личных наукометрических показателей; необходимость увеличения импакт-факторов журналов университета.

В рамках платформы РИНЦ или SCOPUS изменить систему оценки пока не удастся. Индекс Хирша, который используется повсеместно, из-за своего несовершенства уже не отражает истинное положение научной активности ни авторов, ни организаций.

По мнению заведующего лабораторией Института проблем сверхпластичности металлов РАН, д.т.н. Валерия Имаева, погоня за высокими наукометрическими показателями в качестве главной мотивационной составляющей работы приводит к развитию имитационной науки с выхолащиванием её фундаментального и прикладного содержания [2]. В ноябре 2011 году академик РАН Георгий Георгиев предлагал отказаться от оценки научной деятельности с помощью индекса Хирша («Наука и технологии РФ» 17.11.2011). Однако пока этот показатель только набирает популярность.

Безусловно, некий показатель публикационной активности нужен, но он должен строиться на объективных показателях, а не показателях количественных манипуляций с индексом Хирша. Методика его расчёта, используемая в РИНЦ, вобрала в себя недостатки количественного подхода к оценке научной эффективности, искажает истинные показатели научной деятельности.

К недостаткам общей методики расчёта РИНЦ можно отнести следующее:

1. Цитирование за одну работу начисляется каждому соавтору, как если бы каждый делал цитируемую работу в одиночку. То есть идёт «двойной» учёт отчётных показателей. К примеру, соавторы научного труда работают в 10-ти разных организациях, работа делалась в одной из организаций на её оборудовании, но положительные результаты труда (публикации, цитирования) засчитываются каждому соавтору и каждой организации одинаково. В итоге десятикратное увеличение эффективности одного научного труда в целом.

2. Методика расчёта индекса Хирша учитывает самоцитирования авторов. Учёт самоцитирования приводит к искажению научной ценности публикации.

3. Методика расчёта индекса Хирша не учитывает общее количество цитирований как одной публикации, так и всех в целом.

4. В оценке научной значимости публикации не учитывается импакт-фактор журнала.

5. Не учитывается в расчетах индекса Хирша и наукометрических показателей количество публикаций автора (организаций) без цитирования, что является показателем эффективности и качества публикуемых работ.

6. При расчётах индекса Хирша организации не учитывается прекращение научной активности автора.

В связи с этим, расчёт индекса научной активности автора должен производиться, как и с организациями за последние, например, 5 лет. Если автор не публикуется или прекратил научную деятельность, то его индекс будет постепенно стремиться к нулю.

Необходимость поддержания индекса научной активности на достигнутом уровне будет стимулировать авторов к научной деятельности. А авторы труды, которых цитируются постоянно, например, труды А. Эйнштейна, Л. Ландау и др. всегда будут иметь ненулевой индекс научной активности.

Исходя из выше изложенных требований к оценке научной эффективности организации или автора, предлагается методика создания этой оценочной характеристики, которую можно назвать **индексом научной активности** или **индекс А (А)**.

Для его расчёта введём правила, оговоренные выше.

1. Одно цитирование научного труда делится между соавторами.

Если сегодня каждому соавтору засчитывается полноценно одно цитирование, что приводит к «двойному учёту» цитирований, то в предлагаемой методике одно цитирование делится между соавторами поровну. Например, при десяти соавторах каждый получит себе в актив десятую долю – 0,1 от каждого цитирования. Такой подход позволит избавиться от «двойного учёта» цитирования, снижает мотивацию основных авторов включать дополнительных соавторов, так как это резко снижает весомость научного труда для каждого из них.

Возможен и другой подход к учёту цитирований между соавторами, когда основной автор получает 0,5 цитирования, а остальные соавторы пропорционально делят между собой оставшиеся 0,5 цитирования. Возможны и другие алгоритмы учёта вклада каждого автора, например, в процентах.

2. Учитываем импакт-фактор журнала, где напечатан научный труд.

3. Индекс научной активности рассчитывается по данным за последние 5 лет.

4. Самоцитирования, цитирования соавторов НЕ учитываются или ограничиваются до одного в одной статье.

Расчёт индекса научной активности – А, исходя из предлагаемой методики, будет состоять из двух частей:

а) рассчитываем число цитирований ЧЦ (N_c) автора;

б) рассчитываем индекс А.

Расчёт числа цитирования – ЧЦ (N_c)

Если автор в публикации один, то его доля ДЦ (q_c) от одного цитирования научного труда составляет единицу – 1, если авторов двое, то каждому зачисляется доля по 0,5 цитирования, если авторов 10, каждому по 0,1 цитированию.

Так как значимость цитирования зависит от импакт-фактора ИФ (*if*) журнала, то логично это учесть. Умножаем долю цитирований автора на импакт-фактор журнала.

$$Nc = qc \times if \quad (1)$$

Если публикация была в журнале с ИФ равным условно 0,171, то для одного автора одно цитирование его научного труда в журнале даст ЧЦ, согласно формуле 1, равное 0,171. Если авторов двое, то ЧЦ у каждого составит соответственно 0,0855. Если авторов 10, то их число ЧЦ будет 0,0171. Соответственно, если публикация цитировалась из журнала, имеющего ИФ равный x , то ЧЦ для одного автора будет равным соответственно x .

Расчёт индекса А. После расчёта числа цитирования – ЧЦ (Nc) можно приступить к расчёту индекса А, придерживаясь предложенных выше методических условий:

а) рассчитываем суммарное число цитирований автора

$$\sum_1^n Ncn = Nc1 + Nc2 + \dots + Ncn \quad (2)$$

б) рассчитываем персональный импакт-фактор автора – ПИФ(*pif*)

$$pif = \frac{c}{p} \quad (3)$$

где Ц (c) – количество цитирований, раз; П (p) – количество публикаций, штук.

в) вводим поправку для $\sum_1^n Ncn$, которая учтёт каким числом публикаций достигнут данный уровень цитирования или персональный уровень цитирования – ПЦ (p_c)

$$p_c = \sum_1^n Ncn \times \frac{c}{p} \quad (4)$$

г) рассчитываем индекс А по аналогии с индексом Хирша.

Количество цитирований каждой публикации различно, но они ранжируются и можно по результатам ранжирования и по числу цитирований построить кривую, примерно, как на рис. 2.

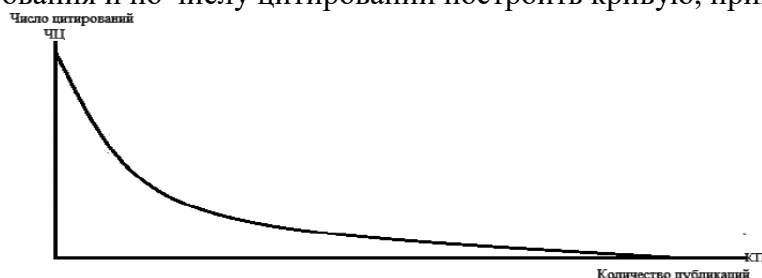


Рис. 2. Кривая ранжирования цитирований публикаций
Fig. 2. Publication citation ranking curve

Но у каждого автора кривая ранжирования своя, построенная в двух координатах и, чтобы оценить её одной цифрой, сведём количество цитирований в область А аналогичную квадрату, как на рис. 3. Тогда арифметический корень из рассчитанного ранее персонального уровня цитирования ПЦ даст значение индекса А.

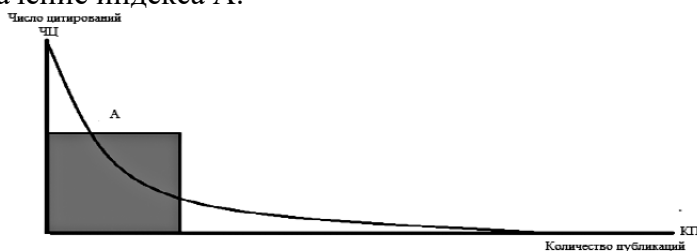


Рис. 3. Предлагаемая геометрическая модель области оценки публикационной активности
Fig. 3. The proposed geometric model of the area of assessment of publication activity

В общем виде формула расчёта индекса А выглядит следующим образом:

$$A = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n (qc \times if) \times \frac{c}{p}} \quad (5)$$

На рис. 4 показана область оценки цитируемости, охватываемая индексом Хирша, в сравнении с областью оценки охватываемой индексом А. Расчёт и применение индекса А в РИНЦ или в любой организации не представляет трудностей. Все нужные показатели уже рассчитываются программой РИНЦ, достаточно только изменить алгоритм расчёта публикаций.

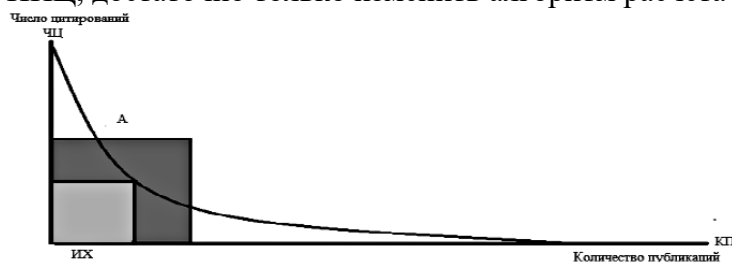


Рис. 4. Область оценки индекса Хирша в сравнении индексом А
Fig. 4. Area of assessment of the Hirsch index in comparison with the A index

Вывод. Если индекс Хирша не учитывает всё количество цитирований, то индекс А учитывает все показатели эффективности научной деятельности институтов и высших учебных заведений [12]: авторитетность журнала, где печатаются публикации (импакт-фактор); персональный импакт-фактор автора – соотношение цитирований к общему количеству публикаций; общее количество цитирований; соавторство; публикационную активность последних 5 лет и т.д.

Учитывая несовершенство методики РИНЦ и индекса Хирша, в частности для расчёта наукометрических показателей, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова разработал свою систему оценки публикационной, педагогической и научной активности – Интеллектуальная Система Тематического Исследования Наукометрических данных (ИСТИНА) [13]. Однако ИСТИНА взяла за основу показатели РИНЦ и индекса Хирша и добавила к ним свои внутренние категории оценки преподавателей и научных сотрудников. В результате признать ИСТИНУ за совершенную систему не представляется возможным.

Данная методика расчёта предлагается к практическому применению для оценки эффективности научной деятельности авторов и организаций.

Библиографический список:

1. Hirsch J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of National Academy of Sciences*. 2005. Vol. 102, No. 46. P. 16569–16572.
2. Hirsch J. E. An index to quantify an individual's scientific research output that takes into account the effect of multiple coauthorship // *Scientometrics* 2010. Vol. 85, № 2. P. 741–754.
3. An index to quantify an individual's scientific research output / J. E. Hirsch // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America: journal*. 2005. 15 November. Vol. 102, No. 46. P. 16569–16572.
4. Михайлов О. В., Михайлова Т. И. Индекс Хирша в оценке деятельности ученого в национальном исследовательском университете // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. Вып. 11. С. 485–487.
5. Имаев В. Технологии увеличения индекса Хирша и развитие имитационной науки / Комиссия РАН по борьбе с лже-наукой и фальсификацией научных исследований // *В защиту науки*. 2016. № 17. С. 38–51.
6. Демина Н. Хиршемания и хиршефобия // *Троицкий вариант. Наука*. 6 декабря 2016. № 218. С. 6.
7. Михайлов О. В. Новая версия индекса Хирша – j-индекс // *Вестник РАН*. 2014. Т. 84, № 6. С. 532–535.
8. Николас Д., Херман И., Уоткинсон Э., Зу Д., Абризах А., Родригес-Браво Б., Букасем-Зегмури Ш., Полежаева Т., Швигон М. Начинающие исследователи между хищническими изданиями и высокими академическими стандартами: выбор публикационных стратегий // *Форсайт*. 2021. Т. 15. № 1. С. 56–65
9. Гибсон Э., Дайм Т., Гарсес Э., Дабич М. Библиометрический анализ как инструмент выявления распространенных и возникающих методов технологического Форсайта // *Форсайт*. 2018. Т. 12. № 1. С. 6–24
10. Фурсов К. С., Рощина Я. М., Балмуш О. С. Факторы результативности научной деятельности: микроуровневый анализ // *Форсайт*. 2016. Т. 10. № 2. С. 44–56.
11. Михайлов О.В. Новая версия H-индекса с учётом числа соавторов и порядка их перечисления в научной публикации // *Социология науки и технологий*. 2015. Т.6. №2. С.24-32.

12. Teixeira da Silva J.A. The I100-Index, I1000-Index and I10,000-Index: Expansion and fortification of the Google Scholar h-index for finer-scale citation descriptions and researcher classification. *Scientometrics*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2021. Vol. 126. No. 4. P.3667-3672
13. Истина: Интеллектуальная Система Тематического Исследования Наукометрических данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://istina.msu.ru>. – Дата доступа: 16.09.2021.

References:

1. Hirsch J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of National Academy of Sciences*. 2005; 102(46): 16569–16572.
2. Hirsch J. E. An index to quantify an individual's scientific research output that takes into account the effect of multiple coauthorship. *Scientometrics* 2010; 85(2): 741–754.
3. J. E. Hirsch An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America: journal*. 2005; 102 (46): 16569–16572.
4. Mikhailov O. V. Hirsch Index in the Assessment of the Activity of the Scientist at the National Research University (Индекс Хирша в оценке деятельности ученого в национальном исследовательском университете) *Journal of Kazan Technological University*. 2010; 11: 485-487.
5. Imayev V. Technologies for Increasing the Hirsch Index and the Development of Imitation Science [Технологии увеличения индекса Хирша и развитие имитационной науки] Commission of the Russian Academy of Sciences on Combating Lzhenuka and Falsification of Scientific Research. *In Defense of Science*. 2016; 17: 38-51.
6. Demina N. Hirschmania and hirschfobia [Хирсмания и хирсфобия] *Trinity version - Science*. - December 6, 2016; 218: 6.
7. Mikhailov, O. V. New version of Hirsch index - j-index (Новая версия индекса Хирша – j-индекс) *Journal of RAS*. – 2014; 84(6): 532-535.
8. Nicholas D., Herman E., Watkinson A., Xu J., Abrizah A., Rodriguez-Bravo B., Boukacem-Zeghmouri C., Polezhaeva T., Swigon M. Early Career Researchers between Predatory Publishing and Academic Excellence: The Views and Behaviours of the Millennials.[Начинающие исследователи между хищническими изданиями и высокими академическими стандартами: выбор публикационных стратегий] *Foresight and STI Governance*, 2021; 15(1): 56–65 . DOI: 10.17323/2500-2597.2021.1.56.65.
9. Gibson E., Daim T., Garces E., Dabic M. Technology Foresight: A Bibliometric Analysis to Identify Leading and Emerging Methods.[Библиометрический анализ как инструмент выявления распространенных и возникающих методов технологического Foresight] *Foresight and STI Governance*. 2018; 12(1): 6–24. DOI: 10.17323/2500-2597.2018.1.6.24
10. Fursov K., Roschina Y., Balmush O. Determinants of Research Productivity: An Individual-level Lens.[Факторы результативности научной деятельности: микроуровневый анализ] *Foresight and STI Governance*. 2016; 10(2): 44–56. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.2.44.56
11. Mikhailov O.V. A new version of the H-index, taking into account the number of co-authors and the order of their listing in the scientific publication. [Новая версия N-индекса с учетом числа соавторов и порядка их перечисления в научной публикации]. *Sociology of Science and Technology*. 2015; 6 (2): 24-32.
12. Teixeira da Silva J.A. The I100-Index, I1000-Index and I10,000-Index: Expansion and fortification of the Google Scholar h-index for finer-scale citation descriptions and researcher classification. *Scientometrics*. Elsevier Science Publishing Company. *Scientometrics*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2021; 126(4): 3667-3672
13. Truth: Intelligent System of Case Study of Naucometric Data [Истина: Интеллектуальная Система Тематического Исследования Наукометрических данных] [Electronic Resource]. Access mode: <https://istina.msu.ru>. Access date: 16.09.2021.

Сведения об авторе:

Большеротов Аркадий Леонидович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры конструкции и сооружения;
bark1091@mail.ru

Information about the author:

Arkady L. Bolsherotov, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Construction and Construction; bark1091@mail.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 26.10.2021.

Одобрена после рецензирования Revised 12.11.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 12.11.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 671.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-90-99

Оригинальная статья /Original Paper

Формирование потоков двоичных последовательностей с управляемой структурой «клеточными» автоматами в однородных регистровых средах

П.А. Кадиев, К.К. Назаров, З.Г. Кардашова

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

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка метода организации процесса формирования потоков регистровой структуры, представляющей собой клеточный автомат двоичных последовательностей с управляемой структурой «клеточными» автоматами в однородных регистровых средах. **Метод.** Для решения поставленной системной задачи построена модель процесса с целью определения факторов, позволяющих изменить последовательность следования элементов потока. **Результат.** При исследовании наиболее распространенных формирователей псевдослучайных потоков на основе линейных регистровых сред с сумматорами по модулю два в цепях обратной связи, представляющих собой «клеточные» автоматы, по таблицам состояний среды установлено, что факторами, определяющими структуру формируемых потоков двоичных последовательностей - последовательности следования состояний, являются начальное состояние регистра однородной среды и структура обратных связей, определяемая функцией переходов клеточного автомата. **Вывод.** Показано, что, варьируя начальным состоянием клеточного автомата и структурой обратных связей как инструментами управления, представляется возможным формировать двоичные псевдослучайные потоки состояний с различной структурой, различным порядком следования элементов потоков, приближая их характеристики к - случайным. Приведены примеры реализации процесса управления структурой потока, подтверждающие это предположение. Приведена типовая структура формирователя потоков с управляемой структурой на основе однородной.

Ключевые слова: потоки псевдослучайных последовательностей, управление структурой потока, «клеточные» автоматы, ячейки однородных регистровых сред, функция переходов, структура обратных связей

Для цитирования: П.А. Кадиев, К.К. Назаров, З.Г. Кардашова. Формирование потоков двоичных последовательностей с управляемой структурой «клеточными» автоматами в однородных регистровых средах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4): 90-99. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-90-99

Formation of streams of binary sequences with controlled structure of "cellular" automata in homogeneous register environments

P.A. Kadiev, K.K. Nazarov, Z.G. Kardashova

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

Abstract. Objective. Development of a method for organizing the process of forming flows register structure, patented by the author at the Department of DSTU, which is a cellular automaton of binary sequences with a controlled structure of "cellular" automata in homogeneous register environments. **Method.** To solve the set system problem, a process model was built in order to determine the factors that allow changing the sequence of flow elements. **Result.** When studying the most common generators of pseudo-random streams based on linear register media with modulo two adders in feedback circuits, which are "cellular" automata, it was established from the tables of environment states

that the factors determining the structure of the generated streams of binary sequences are the sequence of states, are the initial state of the register of a homogeneous medium and the feedback structure determined by the transition function of the cellular automaton. **Conclusion.** It is shown that by varying the initial state of the cellular automaton and the structure of feedbacks as control tools, it seems possible to form binary pseudo-random streams of states with different structures, different order of flow elements, bringing their characteristics closer to random ones. Examples of the implementation of the flow structure control process are given, confirming this assumption. A typical structure of a stream shaper with a managed structure based on a homogeneous one is given.

Keywords: streams of pseudo-random sequences, flow structure control, "cellular" automata, cells of homogeneous register media, transition function, feedback structure

Для цитирования: P.A. Kadiev, K.K. Nazarov, Z.G. Kardashova. Formation of streams of binary sequences with controlled structure of "cellular" automata in homogeneous register environments. Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48 (4): 90-99. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-90-99

Введение. Для двоичных последовательностей, как системных объектов, характерны элементы в виде блоков двоичных символов, которые следуют в определенной последовательности, определяя структуру потока. Управление структурой таких потоков предполагает возможность изменения порядка следования формируемых источником блоков двоичных символов. Это изменение структуры потока может быть рассмотрено как «рассеивание» блоков двоичных символов в каждом цикле формирования псевдослучайных последовательностей, которые улучшают свойства «случайности» формируемых потоков. При аппаратной реализации процесса формирования псевдослучайных последовательностей, решение задачи - управление процессом изменений структуры формируемого потока, зависит от особенностей среды, в которой этот процесс организован.

Часто для этих целей рассматривают регистровые среды с сумматорами по модулю два в цепях обратной связи [1-7]. В данной работе рассматриваются вопросы использования однородных регистровых сред с программно управляемой структурой, предложенных в [8-12], для формирования в них структур в виде «клеточных» автоматов, в качестве «клеток» которых интерпретированы ячейки, из которых эти однородные среды сформированы. Изменениями структур конечных автоматов, сформированных в этих средах, может быть организованный указанный выше процесс управления структурой формируемых потоков двоичных последовательностей.

Постановка задачи. Очень часто в современных моделях реальных процессов предпринимается попытка включения в состав входных и внешних воздействий случайных составляющих. Это предопределяет актуальность формирования потоков двоичных последовательностей со структурами, близкими к случайным, которые используются для формирования непрерывных случайных процессов на основе цифро-аналоговых преобразователей. Формируемые генераторами исходные двоичные потоки носят псевдослучайный характер из-за их периодических повторов через каждые 2^{n-1} тактов работы.

Это предопределяет ограниченность их свойств случайности: в этих потоках в 2^{n-1} тактах работы все элементы разные, каждый повторяется только единожды, что не характерно для случайных процессов. Полученные после цифро-аналогового преобразования из этих потоков случайные функции повторяются через время цикла формирования конечного числа элементов - 2^{n-1} тактов работы, что обуславливает повторяемость формируемого в каждом цикле процесса.

Получение случайных процессов, близких по характеристикам к реальным по длительности существования, является подлежащей решению задачей. Такая задача и поставлена в данной работе: приблизить характеристики формируемых последовательностей и случайных процессов, полученных при их цифро-аналоговом преобразовании, к случайным, управляя изменениями их структур от цикла к циклу, путем изменения порядка следования элементов потока.

Методы исследования. Псевдослучайными или условно случайными принято называть потоки, порядок следования элементов которых повторяется с определенной периодичностью. Элементами этих потоков могут быть числа, символы – элементы множества, двоичные последовательности.

Подход к анализу этих потоков предполагает наличие характерных у них, как систем, структур: состав элементов и связей между ними. При этом в качестве связей между элементами могут быть рассмотрены взаимное их расположение, порядок их следования в формируемом потоке.

Анализ структур потоков позволяет исследовать их структурные свойства, которые в ряде приложений могут оказаться весьма важными.

Например, при использовании элементов потока в качестве ключей шифрования, порядок следования определяет структурные особенности шифрованных данных, стойкость шифра. При использовании элементов потоков для формирования из них непрерывных случайных процессов, вводом их в цифро-аналоговые преобразователи, формируются процессы, отличающиеся при различии структур, принимаемыми во времени значениями и законами распределения.

Приведенные примеры особенностей структурных свойств, формируемых псевдослучайных последовательностей, являются основанием для постановки задачи исследования вопросов управления структурой потоков от одного цикла состояний формирователя потока к следующему.

Возможность управления структурой потоков предполагает организацию управления последовательностью состояний – элементов потока от одного цикла его формирования к другому, что улучшает характеристики «случайности» формируемых случайных процессов.

Для исследования поставленной системной задачи необходимо построить модель процесса с целью определения факторов, позволяющих изменить последовательность следования элементов потока. Основные средства формирования псевдослучайных последовательностей могут быть реализованы как аппаратно, так и программно.

Моделями формирователей потоков являются конечные автоматы с замкнутым циклом работы, которые при установке их в некоторое начальное внутреннее состояние и подаче тактовых импульсов переключения автомата, последовательно переходят из одного состояния выходов в другое. Общая модель задания конечного автомата известна [9]:

$$K = \langle X, Q, q_n, R(q_i/q_j), Y = \{y_i\} \rangle$$

Она включает множество состояний входа X и внутренних состояний Q , начальное внутреннее состояние автомата q_n , функцию переходов $R(q_i/q_j)$ из одного состояния в другое и множество состояний выхода Y .

Алгоритм формирования элементов потока состояний с заданной структурой $Y = \{y_i\}$ сводится к установке автомата в начальное состояние q_n и ввода, через заданные интервалы времени, тактовых импульсов переключения автомата из одного внутреннего состояния q_i в другое q_j .

В качестве элементов выходного потока $Y = \{y_i\}$ часто используются внутренние состояния автомата $Q = \{q_k\}$, между которыми устанавливаются соответствия. Каждому внутреннему состоянию соответствует на выходе элемент потока из множества $Y = \{y_i\}$, разрядность которого определяется разрядностью элементов внутреннего состояния автомата.

На рис.1 приведена модель в виде графа формирования выходного потока состояний конечного автомата, функционирующего в режиме замкнутого цикла.

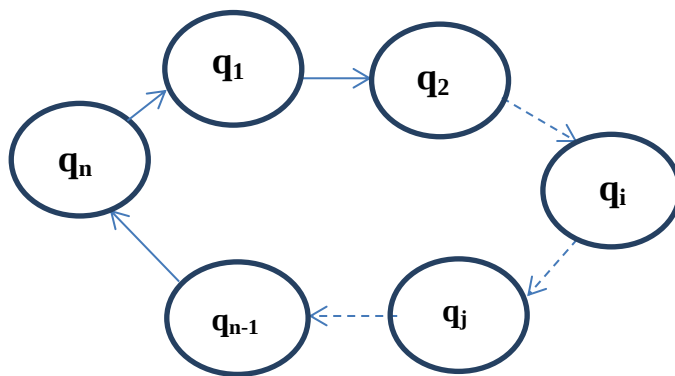


Рис. 1. Граф - модель состояний формирователя элементов потока
Fig. 1. Graph - state model of the stream elements shaper

Так при $q_n = q_k$ и $R(q_i/q_{i+1})$ поток имеет вид: $q_k, q_{k+1}, \dots, q_{2n-1}, q_k, q_{k+1}, \dots, q_{2n-1}, q_k, \dots$

Из приведенной на рис.1 модели следует, что структура порядка следования состояний автомата или элементов формируемого псевдослучайного потока, определяются выбранным начальным состоянием q_n и функцией его переходов $R(q_i/q_j)$ и повторяется при вводе тактовых импульсов в автомат. Период повторения состояний определяется разрядностью регистра внутренних состояний автомата n и равно $2^n - 1$. Через число тактов, определяемое числом внутренних состояний автомата Q , он возвращается в начальное состояние q_n (рис.1). из приведенной модели следует, что управление структурой формируемого потока такого автомата представляет собой процесс управления установками начального состояния q_n и (или) функцией переходов $R(q_i/q_j)$.

Обсуждение результатов. Практическая реализация процессов, отраженных в модели, нами рассмотрена на примере наиболее распространенного класса формирователей псевдослучайных потоков - генераторов на основе линейных регистровых структур с сумматорами по модулю два в цепях обратной связи, представляющих собой клеточные автоматы, сформированные в однородной регистровой среде [18,19], состоящей из типовых ячеек - «клеток» [14-17].

Упрощенная структура типовой ячейки – «клетки» автомата, приведена на рис. 2, упрощенная структура однородной регистровой среды для формирования клеточного автомата, приведена на рис. 3.

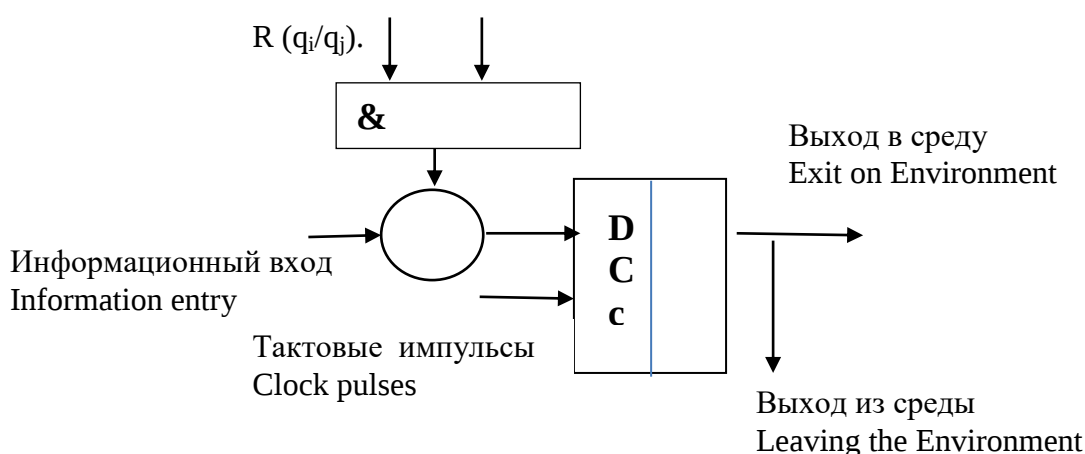


Рис. 2. Упрощенная схема «клетки» автомата – ячейка однородной регистровой среды
Fig. 2. Simplified diagram of the "cell" of the automaton - a cell of a homogeneous register environment

Варианты соединения ячеек – клеток автоматов в регистровой среде приведены на рис. 3.

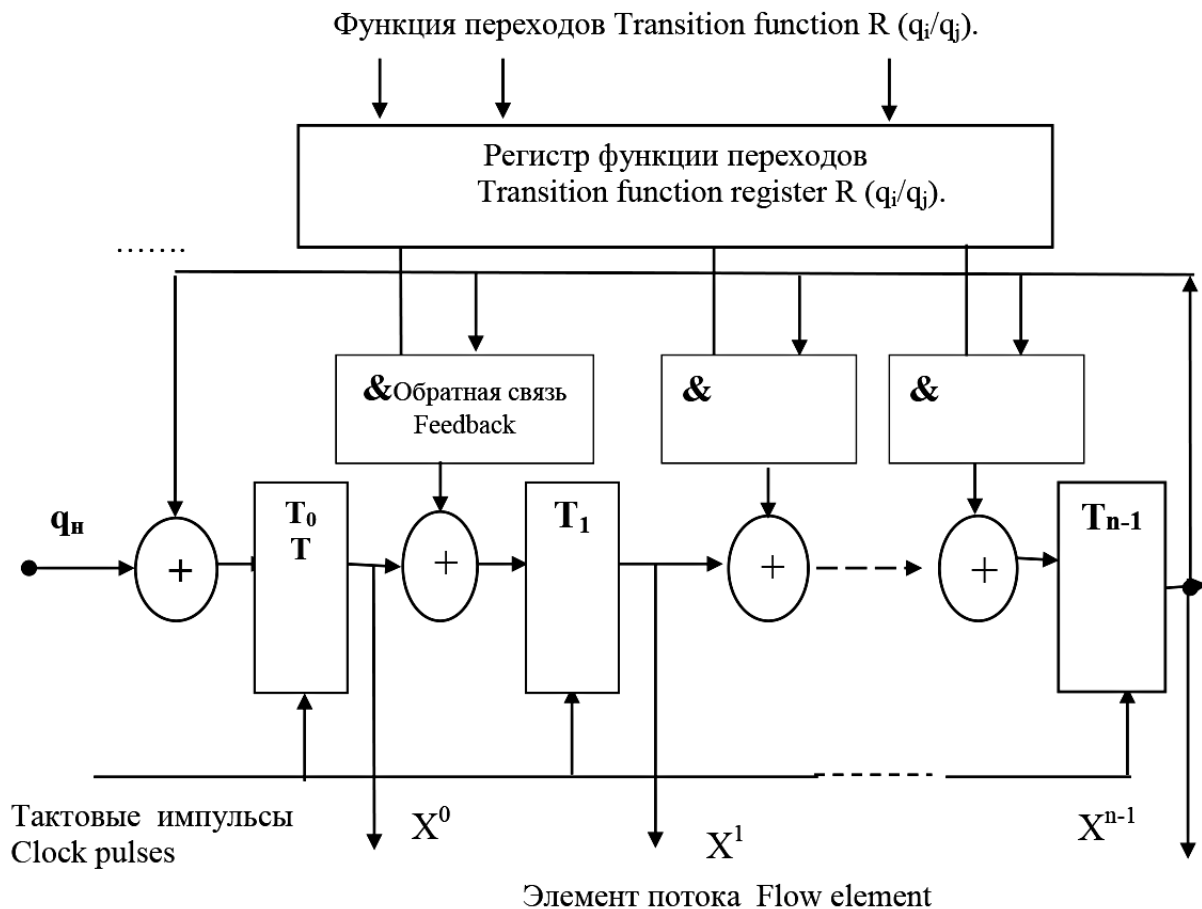


Рис. 3. Упрощенная структура однородной регистровой среды формирования клеточных автоматов
Fig. 3. Simplified structure of a homogeneous register environment for the formation of cellular automata

Активизация элементов цепей обратных связей, формирование её структуры, в однородной регистровой среде, осуществляется в соответствии со структурой функции обратных связей $R(q_i/q_j)$. Элементы потока представляют собой последовательность из блоков символов $X^0 X^1 X^2 \dots X^{n-1}$. Число элементов в блоках определяется разрядностью регистра среды.

Они считываются после каждого поданного в автомат тактового импульса, образуя 2^{n-1} -элементный поток блоков из n символов, соответствующих внутренним его состояниям. Порядок следования элементов потока, представляющих его структуру, определяется структурой обратных связей сформированного в среде клеточного автомата и начальным состоянием регистра автомата. Ими являются состояния триггеров среды, которые при формировании случайных процессов рассматриваются как двоичные числа.

Формируемые этими автоматами потоки принято называть псевдослучайными, так как они представляют собой повторяющиеся с периодичностью 2^{n-1} последовательности двоичных чисел. В этом легко убедиться по табл.1 и 2, соответствующим различным схемам расположения сумматоров, которые определяются функцией переходов, приведенных на рис. 4 и 5, которая определяет структуру обратных связей формирователя элементов потока состояний. Сравнительный анализ табл. 1 и 2 позволяет установить, что структура потока зависит от мест расположения сумматоров по модулю два в структурах автоматов и начального состояния регистра, сформированного клеточными автоматами - ячейками однородной регистровой среды.

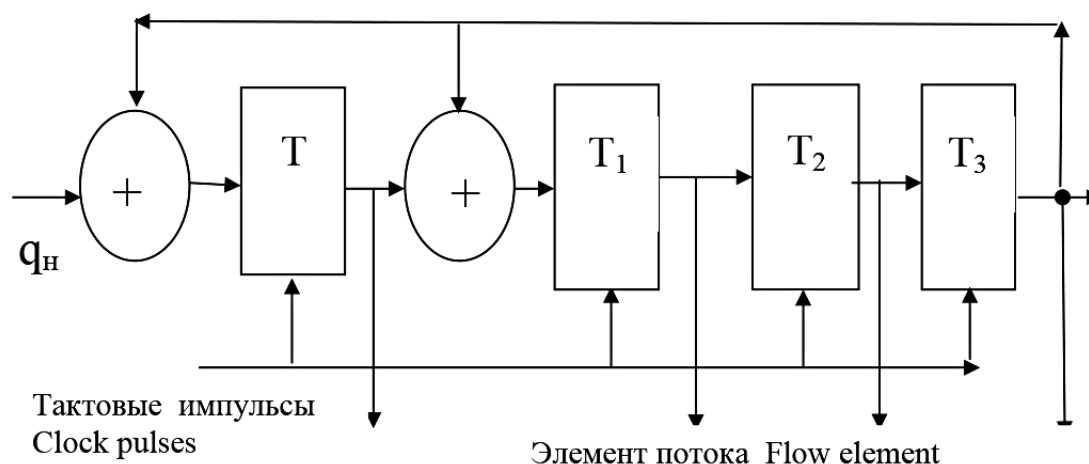


Рис. 4. Формирователь элементов потока $1 R(q_i/q_j) = 1 + X$

Fig. 4. Flow Element Shaper 1 $R(q_i/q_j) = 1 + X$

Места расположения сумматоров определяют используемые функции переходов конечного автомата – $R(q_i/q_j)$.

Таблица 1. Показатели состояния триггеров, определяемые функцией переходов

Table 1. Indicators of the state of triggers determined by the transition function

№№ Тактов bar Numbers	Делимое Dividend	Состояние триггеров Trigger state				Элементы потока Flow elements	Случайные числа Random numbers
		T_0	T_1	T_2	T_3		
		0	0	0	0		
1	1	1	0	0	0	0001	1
2	0	0	1	0	0	0010	2
3	0	0	0	1	0	0100	4
4	0	0	0	0	1	1000	8
5	0	1	0	0	1	1001	9
6	0	1	1	0	1	1011	11
7	0	1	1	1	1	1111	15
8	0	1	1	1	0	0111	7
9	0	0	1	1	1	1110	14
10	0	1	0	1	0	0101	5
11	0	0	1	0	1	1010	10
12	0	1	0	1	1	1101	13
13	0	1	1	0	0	0011	3
14	0	0	1	1	0	0110	6
15	0	0	0	1	1	1100	12
1	0	1	0	0	0	0001	1

Функции переходов, в приведенных формирователях потоков в рассматриваемых алгебраических полях, определяющие структуру обратных связей и места расположения в них сумматоров по модулю два, могут быть заданы в виде полиномов.

Для приведенных структур формирователей они имеют вид: для первого - $R_1 = 1100 = 1 + X$ - сумматоры перед триггерами распределителя T_0 и T_1 , формирующего поток чисел по табл. 1 и второго - $R_2 = 1 + X^3 = 1001$ - сумматоры перед триггерами T_0 и T_3 распределителя, формирующего поток чисел по табл. 2, при одинаковом начальном состоянии регистра 1000.

Таблица 2. Показатели состояния триггеров, определяемые функцией переходов
Table 2. Indicators of the state of triggers determined by the transition function

№№ Тактов bar Numbers	Вход Entrance	Состояние триггеров – элементы потока Trigger State – Elements flow				Псевдослучайный двоичный поток Pseudorandom binary stream	Псевдослучайный поток чисел Pseudorandom stream of numbers
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃		
		0	0	0	0		
1	1	1	0	0	0	0001	1
2	0	0	1	0	0	0010	2
3	0	0	0	1	0	0100	4
4	0	0	0	0	1	1000	8
5	0	1	1	0	0	0011	3
6	0	0	1	1	0	0110	6
7	0	0	0	1	1	1100	12
8	0	1	1	0	1	1011	11
9	0	1	0	1	0	0101	5
10	0	0	1	0	1	1010	10
11	0	1	1	1	0	0111	7
12	0	0	1	1	1	1110	14
13	0	1	1	1	1	1111	15
14	0	1	0	1	1	1101	13
15	0	1	0	0	1	1001	9
16	0	1	0	0	0	0001	1

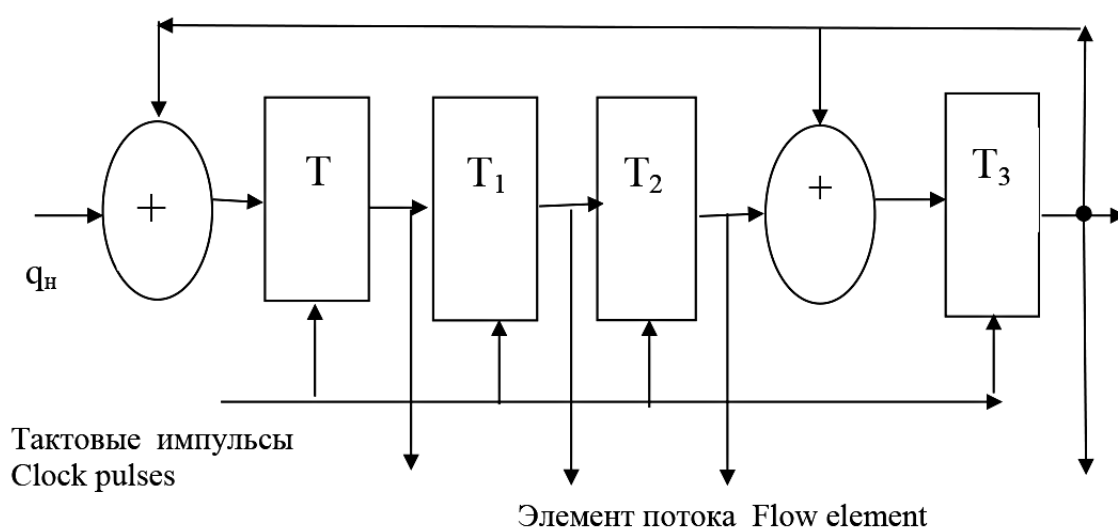


Рис. 5. Формирователь элементов потока 2 с $R(q_i/q_j) = 1 + X^3$
Fig. 5. Flow element shaper 2 with $R(q_i/q_j) = 1 + X^3$

Основным инструментарием управления структурой псевдослучайных потоков, формируемых клеточными конечными автоматами на клетках – ячейках линейных регистровых

структур, является процесс изменения структуры обратных связей, определяющих местоположение сумматоров по модулю два в схеме формирователя.

Регистровая структура должна быть структурой с гибкой структурой обратных связей, которая должна меняться от одного периода формирования потока к следующему по определенному детерминированному или случайному алгоритму. Такими регистровыми структурами являются структуры, приведенные на рис. 5 [14-16, 20-24].

В них сумматоры по модулю два расположены перед всеми ячейками регистра, однако активизируются подключением к цепи обратной связи только соответствующие ненулевым разрядам функции переходов, введенные в данном цикле работы формирователя в регистр структуры обратных связей.

Управление структурой потока через управление структурой обратных связей может быть реализовано только в специализированных для этих целей однородных средах с управляемой обратной связью [17-21, 25-29].

Число вариантов изменения структуры потока определяется числом вариантов построения функции переходов, Число вариантов изменения структуры функции переходов, ограничивается числом двоичных n – разрядных комбинаций с единицей в младшем разряде, так как обратные связи должны быть только полные: выходное состояние формирователя обязательно должен подаваться на его вход. Число таких вариантов настройки цепи обратной связи и значений функции переходов равно 2^{n-1} .

Вывод. В качестве области применения потоков с различной структурой можно указать отмеченное выше использование формируемых последовательностей в качестве ключей шифрования гаммированием - суммированием элементов потока с управляемой структурой, образующей поток ключей шифрования, по модулю два с информационными блоками, образующими потоки открытых данных.

В качестве другого применения можно указать формирование из этих потоков случайных процессов, вводом элементов потока в цифро-аналоговые преобразователи, что обеспечивает формирование непрерывных случайных процессов, с различными законами распределения, которые часто необходимы при моделировании реальных ситуаций.

Можно отметить и то обстоятельство, что в широкополосных системах с передачей сигналов на различных несущих частотах, блоки последовательностей могут быть использованы как адреса активизируемых источников несущих частот сигналов.

Наконец, изменения структуры может быть осуществлено и при передаче блоков информационных массивов как метод шифрования рассеиванием элементов потока, и как метод скремблирования.

Библиографический список:

1. Евсютин О.О., Россошек С.К. Использование клеточных автоматов для решения задач преобразования информации // Доклады ТУСУРа. 2010. № 1. Часть 1.
2. Хамухин А.А. Применение ячеек однородной структуры для вычисления непрерывного вейвлет-преобразования // Известия Томского политехнического университета. 2010. № 5. С. 149-153.
3. Матюшкин И.В. Перспективы развития современных средств проектирования клеточных автоматов // Информационные технологии. 2011. № 4. <http://is.ifmo.ru/works/2011/Matyshkin-Perspektivy-IT-04-2011.pdf>
4. Лиманова Н.И., Мамзин Е.А. Высокопроизводительные клеточные автоматы с реконфигурируемым шаблоном // Вектор науки Тольяттинского государственного университета, 2011. №1(15). с. 28-30.
5. Мамзин Е.А. Высокопроизводительные клеточные автоматы с реконфигурируемым шаблоном и их применение для моделирования неоднородных динамических систем. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Тольяттинский гос. ун-т. 2011.
6. Сухинин Б.М. Разработка и исследование высокоскоростных генераторов псевдослучайных равномерно распределенных двоичных последовательностей на основе клеточных автоматов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
7. Кучеренко И.В. Обратимые клеточные автоматы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. МГУ, 2012.
8. Долгушин Д.Ю. Многофакторное моделирование автотранспортных потоков на основе клеточных автоматов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Омск: Тюмен. гос. ун-т, 2011.
9. Бандман О. Л. Инварианты клеточно-автоматных моделей реакционно-диффузионных процессов // Прикладная дискретная математика. 2012. № 3 (17). С.108-120.

10. Бандман О.Л. Режимы функционирования асинхронных клеточных-автоматов, моделирующих нелинейную пространственную динамику//Прикладная дискретная математика. 2015. № 1 (27). С.105-119.
11. Шалыто А.А. Логическое управление. Методы аппаратной и программной реализации алгоритмов. СПб.: Наука, 2000. 780 с.
12. Бабаши А.В. Приближенные модели конечных автоматов//Обзор прикладной и промышленной математики. 2005. Т. 12. Вып. 2. С. 108-117.
13. Сперанский Д. В. Эксперименты с линейными и билинейными конечными автоматами. Саратов: СГУ, 2004-. 144с.
14. Кадиев П.А., Кадиев И.П., Губа А.В. Ячейка однородной среды. Патент РФ2059284. Оpubл. 27.04.96. Бюл.№14
15. Кадиев П.А., Кадиев И.П., Губа А.В. Ячейка однородной полиномиальной ветвящейся среды. РФ 2129297. Оpubл. 20.04.99. Бюл.№11
16. Кадиев П.А., Кадиев И.П., Губа А.В. Ячейка однородной полиномиально-вычислительной среды. Патент РФ 2129298..Оpubл. 20.04.99. Бюл.№11.
17. Кадиев П.А. Кадиев И.П. Однородная регистровая среда с программируемой структурой. Патент РФ №2449347 РФ, опубл. 27.04.2012г.
18. Кадиев П.А. Однородные регистровые среды с программируемой структурой. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №35 Т.4 2014, с.108-1012
19. Кадиев П.А., Омаров Г.О. Генератор псевдослучайных последовательностей импульсов на однородной среде с программно меняющейся структурой. Патент РФ №2331915 Опубликовано 20.08.2008 Бюл. №23
20. Кадиев П.А., Кадиев И.П. Генератор псевдослучайных последовательностей. Патент РФ № 2557764. 29. 06. 2015г.
21. Астафьев Г.Б., Короновский А.А., Храмов А.А. Клеточные автоматы. Саратов: Изд-во «Колледж», 2003. 24 с. <https://docplayer.com/26519252-G-b-astafev-a-a-koronovskiy-a-e-hramov-kletochnye-avtomaty.html>
22. Наумов Л.А., Шалыто А.А. Клеточные автоматы. Реализация и эксперименты//Мир ПК. 2003. № 8. <http://is.ifmo.ru/works/klet/>
23. Наумов Л.А., Шалыто А.А. Классификация структур, порожаемых одномерными двоичными клеточными автоматами из точечного зародыша //Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. № 5. с.137-145.
24. Шидловский С.В. Ячейка однородной среды. Патент РФ на изобретение № 2251140 // Бюл. изобр. 2005. № 12.
25. Кудрявцев В.Б., Подколзин А.С. Клеточные автоматы//Интеллектуальные системы. Т. 10. вып. 1-4, 2006. [http://intsys.msu.ru/magazine/archive/v10\(1-4\)/podkolzin-657-692.pdf](http://intsys.msu.ru/magazine/archive/v10(1-4)/podkolzin-657-692.pdf)
26. Калыев И.А., Гайдук А.Р. Однородные нейрореподобные структуры в системах выбора действий интеллектуальных роботов. М.: Янус-К, 2000.
27. Аладьев В.З., Хунт Я.Ю., Шишаков М.Л. Математическая теория классических однородных структур. Таллин-Гомель, 1998.
28. Степанцов М.Е. Применение клеточных автоматов для математического моделирования динамических процессов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. МГУ, 1998.
29. Кузьмин А. С., Куракин В. Л., Нечаев А. А. Псевдослучайные и полилинейные последовательности //Труды по дискретной математике. Т. 1. М.: Научное изд-во ТБП, 1997. С.139-202.

References:

1. Evsyutin O.O., Rossoshek S.K. The use of cellular automata for solving information transformation problems. Doklady TUSUR. 2010; 1. Part 1. (In Russ)
2. Khamukhin A.A. Application of cells of a homogeneous structure for calculating continuous wavelet transform. [Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta] *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2010; 5: 149-153. (In Russ)
3. Matyushkin I.V. Prospects for the development of modern means of designing cellular automata. Information technologies. 2011; 4. <http://is.ifmo.ru/works/2011/Matyushkin-Perspektivy-IT-04-2011.pdf> (In Russ)
4. Limanova N.I., Mamzin E.A. High-performance cellular automata with a reconfigurable template. [Vektor nauki Tol'yatinskogo gosudarstvennogo universiteta] *Vector of Science Togliatti State University*. 2011; 1(15): 28-30. (In Russ)
5. Mamzin E.A. High-performance cellular automata with a reconfigurable template and their application for modeling inhomogeneous dynamic systems. Abstract of a dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences. Togliatti state un-t. 2011. (In Russ)
6. Sukhinin B.M. Development and research of high-speed generators of pseudo-random uniformly distributed binary sequences based on cellular automata. Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences. MVTUim. N.E. Bauman, 2011. (In Russ)
7. Kucherenko I.V. Reversible cellular automata. Abstract of a dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences. Moscow State University, 2012. (In Russ)
8. Dolgushin D.Yu. Multifactorial modeling of traffic flows based on cellular automata. Auto-abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Omsk: Tyumen. State. Un-t, 2011. (In Russ)
9. Bandman O.L. Invariants of cellular automata models of reaction-diffusion processes [Prikladnaya diskretnaya matematika] *Applied Discrete Mathematics*. 2012; 3 (17):108-120. (In Russ)
10. Bandman O.L. Modes of functioning of asynchronous cellular automata modeling nonlinear spatial dynamics. [Prikladnaya diskretnaya matematika] *Applied Discrete Mathematics*. 2015; 1(27):105-119. (In Russ)
11. Shalyto A.A. Logical control. Methods for hardware and software implementation of algorithms. SPb [Nauka] *Science*. 2000; 780. (In Russ)
12. Babash A.V. Approximate models of finite state machines. [Obozreniye prikladnoy i promyshlennoy matematiki] *Review of applied and industrial mathematics*. 200; 12(2): 108-117. (In Russ)
13. Speranskiy D.V. Experiments with linear and bilinear finite automata. Saratov: SSU, 2004; 144. (In Russ)
14. Kadiev P.A., Kadiev I.P., Guba A.V. Cell of a homogeneous medium. RF Patent 2059284. Publ. 04/27/96. Bulletin No. 14 (In Russ)

15. Kadiev P.A., Kadiev I.P., Guba A.V. Cell of a homogeneous polynomial branching medium. RF 2129297. Publ. 20.04.99. Bul. No. 11. (In Russ)
16. Kadiev P.A., Kadiev I.P., Guba A.V. Cell of a homogeneous polynomial computing environment. Patent RF 2129298. Publ. 20.04.99. Bulletin No. 11. (In Russ)
17. Kadiev P.A. I.P. Kadiev Homogeneous register environment with programmable structure. RF patent №2449347 RF, publ. 04/27/2012(In Russ)
18. Kadiev PA Homogeneous register environments with programmable structure. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2014; 4 (35):108-1012. (In Russ)
19. Kadiev P.A., Omarov G.O. Generator of pseudo-random pulse sequences on a homogeneous medium with a program-changing structure. RF Patent No. 2331915 Published on 08/20/2008 Byull. No. 23 (In Russ)
20. Kadiev P.A., Kadiev I.P. Generator of pseudo-random sequences. RF patent No. 2557764 29.06. 2015. (In Russ)
21. Astafiev G.B., G.B. Koronovsky A.A., Khramov A.E. Cellular automata. Saratov: College Publishing House, 2003; 24. <https://docplayer.com/26519252-G-b-astafiev-a-a-koronovskiy-a-e-hramov-kletochnye-avtomaty.html> (In Russ)
22. Naumov L.A., Shalyto A.A. Cellular automata. Implementation and Experiments//PC World. 2003;8. <http://is.ifmo.ru/works/klet/>(In Russ)
23. Naumov L.A., Shalyto A.A. Classification of structures generated by one-dimensional binary cellular automata from a point embryo. [Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya] *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems*. 2005; 5:137-145. (In Russ)
24. Shidlovsky S.V. Cell of a homogeneous medium. RF patent for invention No. 2251140 // Bul. fig. 2005; 12. (In Russ)
25. Kudryavtsev V.B., Podkolzin A.S. Cellular automata. [Intellectual'nyye sistemy.] *Intelligent systems*. 2006;10(1-4) [http://intsys.msu.ru/magazine/archive/v10\(1-4\)/podkolzin-657-692.pdf](http://intsys.msu.ru/magazine/archive/v10(1-4)/podkolzin-657-692.pdf)(In Russ)
26. Kalyaev I. A., Gaiduk A. R. Homogeneous neural-like structures in systems of choice of actions of intelligent robots. –М.: Yanus-K, 2000. (In Russ)
27. Aladiev V.Z., Hunt Ya.Yu., Shishakov M.L. Mathematical theory of classical homogeneous structures. Tallinn-Gomel, 1998. (In Russ)
28. Stepanov M.E. Application of cellular automata for mathematical modeling of dynamic processes. Abstract of a dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences. Moscow State University, 1998. (In Russ)
29. Kuzmin AS, Kurakin VL, Nechaev AA Pseudo-random and multilinear sequences. *Proceedings on discrete mathematics. Scientific publishing house TVP*. 1997; 1:139-202. (In Russ)

Сведения об авторах:

Кадиев Пашай Абдулгамидович, кандидат технических наук, профессор, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; islam-kadi@mail.ru

Назаров Кадыр Курбанович, аспирант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; nazarov.kadi@mail.ru

Кардашова Земфира Рашидовна, аспирант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; zeminda@yandex.ru

Information about the authors:

Pashay A. Kadiev, Cand. Sci. (Eng.), Prof., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; islam-kadi@mail.ru

Kadyr K. Nazarov, Postgraduate Student, Department of Control and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; nazarov.kadi@mail.ru

Zemfira R. Kardashova, Postgraduate Student, Department of Control and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; zeminda@yandex.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 26.10.2021.

Одобрена после/рецензирования Revised 12.11.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 12.11.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 519.865.7

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-100-113

Обзорная статья /Review Article

Анализ развития криптовалютных инструментов

А.А. Лукьянов

Рязанский государственный радиотехнический университет им В.Ф. Уткина,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, Россия

Резюме. Цель. Целью работы является определение перспектив развития цифровых финансовых инструментов в управлении социальными и экономическими системами. **Метод.** В качестве методов исследования в работе выступил сравнительный анализ результатов анонимного анкетирования с использованием интерактивных многопользовательских социальных сетей. **Результат.** Раскрыты факторы и ключевые параметры, оказывающие влияние на развитие криптовалютных механизмов, выявлены преимущества и недостатки применения цифровых инструментов. Приводятся предложения по управлению криптовалютными инструментами и рекомендации для повышения надежности и развития цифровых инструментов в управлении социальными и экономическими системами. Приведены результаты анализа опроса 1121 респондентов по теме использования криптовалют. Результаты исследования показали, что наиболее часто используемыми криптовалютами являются Bitcoin и Ethereum, при этом значительная часть респондентов предпочитают цифровую деятельность в качестве майнинга и трейдинга. При этом значительное число опрошенных считают, что будущее развитие цифровых финансовых инструментов имеют прямую зависимость от легитимации криптовалют со стороны государства и совершенствования технологии блокчейн. **Вывод.** Развитие криптовалют нельзя оценить однозначно. При развитии криптовалютных инструментов возникает целый ряд угроз, к которым, следует отнести существенную волатильность, наличие законодательных ограничений на их применение, отсутствие возможности осуществить отзыв операций. Дальнейшее развитие криптовалют должно быть связано с нормативно-правовым регулированием их распространения, как на национальном, так и на международном уровне, что обеспечит определение их правового статуса среди иных денежных единиц. Также необходимо осуществлять поэтапное внедрение криптовалют в платежные системы при денежных расчетах, что должно быть осуществлено на основании организации официального обращения криптовалют и технологии блокчейн.

Ключевые слова: виртуальные валюты, криптовалюты, цифровой финансовый актив, блокчейн, цифровизация, трейдинг, токен, майнинг, технология блокчейн, криптобиржа, криптокошелек

Для цитирования: А. А. Лукьянов. Анализ развития криптовалютных инструментов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 100-113. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-100-113

Analysis of the development of cryptocurrency instruments

A. A. Lukyanov

V.F. Utkin Ryazan State Radio Engineering University,
59/1 Gagarina Str., Ryazan 390005, Russia

Abstract. Objective. The aim of the work is to determine the prospects for the development of digital financial instruments in the management of social and economic systems. **Method.** The comparative analysis of the results of an anonymous survey using interactive multi-user social networks was used as research methods in the work. **Result.** The factors and key parameters influencing the de-

velopment of cryptocurrency mechanisms are revealed, the advantages and disadvantages of using digital tools are identified. Suggestions for the management of cryptocurrency instruments and recommendations for improving the reliability and development of digital instruments in the financial and digital environment are given. The results of the analysis of a survey of 1121 respondents on the topic of using cryptocurrencies are presented. The results of the study showed that the most commonly used cryptocurrencies are Bitcoin and Ethereum, with a significant proportion of respondents preferring digital activities such as mining and trading. At the same time, a significant number of respondents believe that the future development of digital financial instruments is directly dependent on the legitimization of cryptocurrencies by the state and improvement of blockchain technology. **Conclusion.** The development of cryptocurrencies cannot be assessed unambiguously. With the development of cryptocurrency instruments, a number of threats arise, which include significant volatility, the presence of legislative restrictions on their use, and the inability to withdraw operations. The further development of cryptocurrencies should be associated with the legal regulation of their distribution, both at the national and international levels, which will ensure the determination of their legal status among other monetary units. It is also necessary to carry out a phased introduction of cryptocurrencies into payment systems for cash settlements, which should be carried out on the basis of the organization of the official circulation of cryptocurrencies and blockchain technology.

Keywords: virtual currencies, cryptocurrencies, digital financial asset, blockchain, digitalization, trading, token, mining, blockchain technology, crypto exchange, crypto wallet

For citation: A.A. Lukyanov. Analysis of the development of cryptocurrency instruments. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (4): 100-113. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-100-113

Введение. В современных условиях управления социальными и экономическими системами возникает необходимость освоения новых технологий, связанных с процессами хозяйственной деятельности компаний и жизнедеятельности населения страны. Создание цифровой экономики представляет собой неизбежный сценарий развития постиндустриального общества. В данном новом типе хозяйственных отношений более значимым становится использование информационно-коммуникационных технологий и информационных сетей в разных сферах.

Постановка задачи. В статье представлены эмпирические исследования, проведенные в 2020 году на тему: «Процесс влияния криптовалютных инструментов на деятельность социально-экономических сообществ». Опрос проводился путем анонимного анкетирования с использованием интерактивных многопользовательских социальных сетей. В данной статье рассмотрены криптовалютные инструменты.

Целью исследования являлось определение перспектив развития криптовалютных инструментов в России в управлении социальными и экономическими системами.

Исходя из поставленной цели были сформулированы задачи исследования: установить параметры криптовалютных инструментов; определить недостатки и преимущества при использовании цифровых активов; выделить факторы и ключевые показатели, влияющие на развитие криптовалютных инструментов; разработать предложения по управлению криптовалютными инструментами и рекомендации для повышения надежности и развития цифровых активов в управлении социальными и экономическими системами.

Методы исследования. Количество принявших участие в опросе составило 1121 респондентов. На рис. 1 представлен возраст респондентов, мнение которых рассмотрено в настоящей работе. Согласно полученным данным, интерес к финансово-цифровым инструментам проявляет аудитория людей в возрасте 18-40 лет, что составляет 72,7% респондентов. Респонденты в возрасте менее 18 лет и более 40 лет меньше уделяют внимание криптовалютным инструментам. Сопоставление респондентов по гендерному признаку показано на рис. 2. Из исследовательских данных следует, что у женской аудитории (36,5%) наблюдается низкая заинтересованность криптовалютами, как инновационными цифровыми активами.

Ваш возраст?
1 120 ответов

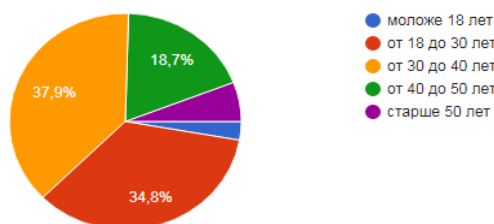


Рис.1. Возраст участников
Fig.1. Age of participants

Ваш пол?
1 121 ответ

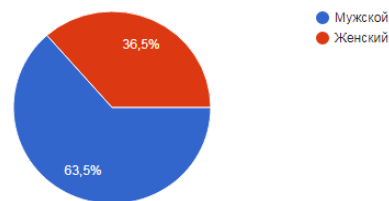


Рис. 2. Гендер участников
Fig. 2. Gender of participants

Страновая принадлежность участников представлена на рис. 3. География местонахождения респондентов демонстрирует, что активное участие в опросе приняли респонденты из России (64,4%), Белоруссии (9,7%) и Казахстана (5,4%). Зафиксирован низкий процент заинтересованности со стороны стран Прибалтики (8,2%) и Европы (6,8%) и других стран (5,5%). Данная ситуация объясняется возможностью пользователей из разных стран пройти русскоязычный опрос на предмет развития криптовалютных инструментов, в результате чего свыше 70% участников составляют русские и белорусы. По остальным респондентам, можно предположить, что у них отсутствует интерес к данной тематике, либо присутствует языковой барьер.

Большинство участников опроса составляют профессионально занятые (рис.4): специалисты (33,3%), руководители подразделений (16,2%). Студенты составляют 16,2% респондентов и 11,2% респондентов приходится на индивидуальных предпринимателей. Остальная часть респондентов (23,1%) проявила низкую заинтересованность со следующим распределением: госслужащие – 6,7%, домохозяйки – 5,3%, пенсионеры – 5%, рабочие – 5%, безработные – 1,1%. В соответствии с полученными данными можно полагать, что занятые высококвалифицированные специалисты, а также индивидуальные предприниматели и студенты, обладают большим интересом к криптовалютным инструментам, что составляет 76,9% участников опроса.

Ваша страна?
1 121 ответ

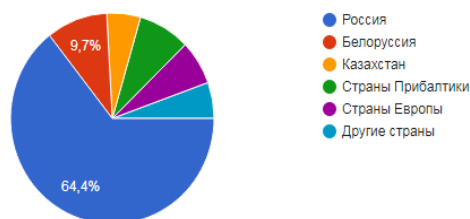


Рис. 3. Резидентность участников
Fig. 3. Residence of participants

Ваш социальный статус?
1 121 ответ

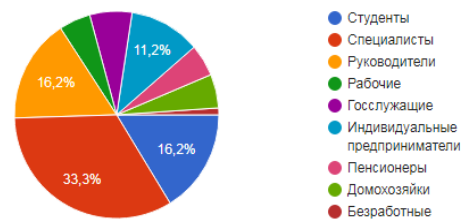


Рис. 4. Социальный статус участников
Fig. 4. Social status of participants

Данная тенденция связана с целями потребительской деятельности субъектов, которая связана со стремлением использования цифровых активов в качестве блага.

На рис.5 представлена оценка осведомленности участников о криптовалюте. В ходе исследования было определено, что имеют представление о виртуальных валютах 75,4% респондентов и 15,2% участников опроса обладают поверхностными знаниями о цифровых активах. И только у 9,5% из всех опрошенных отсутствует четкое представление о криптовалютах. Полученные данные опроса свидетельствуют, что впервые «знакомство» респондентов с цифровыми валютами произошло в следующие временные периоды (рис.6): в 2008 – 2012 г. – 0,4%, в 2013 – 2015 г. – 13,8%, в 2016 – 2018 г. – 53%, в 2019 – 2020 г. – 32,8%. Пик узнаваемости о криптовалютных инструментах среди опрошенных приходится на период 2016 – 2018 годы: более

50% участников опроса стали проявлять заинтересованность инновационными технологиями в финансово-цифровой сфере.

В силу того, что в период с 2016 по 2019 год население страны проявило активную позицию в отношении криптовалютных операций из-за распространения сведений о финансово-цифровых инструментах средствами массовой информации.

Что Вы знаете о криптовалюте?

1 121 ответ

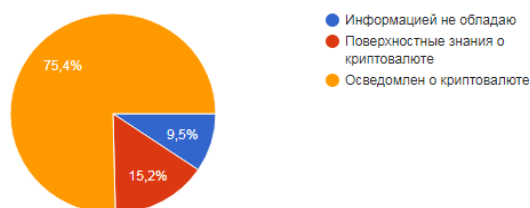


Рис. 5. Понимание о криптовалюте

Fig. 5. Understanding about cryptocurrency

Когда Вы узнали о криптовалюте?

1 120 ответов

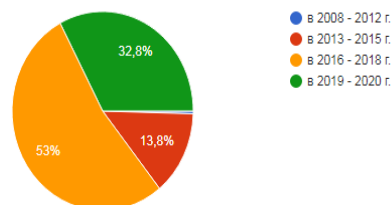


Рис. 6. «Знакомство» с криптовалютой

Fig. 6. "Introduction" to cryptocurrency

Таким образом, ряд органов исполнительной власти и ведомств государства, вынуждены были обратить внимание на тенденцию развития виртуальных валют.

Центральный банк РФ сделал обзор от 04 сентября 2017г. «Об использовании частных «виртуальных валют» (криптовалют) [1]. В аналитической справке Банк России пояснил, что основная часть транзакций цифровых активов совершается вне правового регулирования РФ, а также предостерегает о возможном вовлечении криптовалют в противоправную деятельность, включая легализацию (отмывание) доходов, полученных преступным путем, и финансирование терроризма. Федеральная служба по финансовому мониторингу информирует, что использование криптовалют при совершении сделок является основанием для рассмотрения вопроса об отнесении таких сделок (операций) к сделкам (операциям), направленным на легализацию (отмывание) доходов, полученных преступным путем, и финансирование терроризма (информационное сообщение Федеральной службы по финансовому мониторингу от 06.02.2014 г. «Об использовании криптовалют») [2]. По данным Федеральной налоговой службы РФ в законодательстве России не закреплены такие понятия, как денежный суррогат, криптовалюта, виртуальная валюта. Наряду с этим, законодательство РФ не содержит запрета на проведение российскими гражданами и организациями операций с использованием криптовалюты (Письмо Федеральной налоговой службы Министерства финансов РФ от 03 октября 2016 г. №ОА-18-17/1027) [3].

Далее, рассмотрим на рис.7 тенденцию владения криптовалютами среди участников опроса. Перспективной и часто используемой криптовалютой являются Bitcoin (53,8%) и Ethereum (55,7%). Подобная тенденция обусловлена их высокой популярностью и известностью в финансовом цифровом мире.

На втором месте по применению цифровых активов расположились Monero (46,3%), и Litecoin (45,5%). Менее востребованные виртуальные валюты среди участников опроса являются BinanceCoin – 34,2%, Ripple – 28,3%, EOS – 20,8%, TRON – 16,3%.

В связи с этим, опрошенные отдают предпочтение среди множества цифровых валют Bitcoin, Ethereum, Monero и Litecoin. Также определена востребованность криптобирж в рамках проведения опроса (рис. 8), при этом, установлено, что популярность использования криптовалютных бирж выглядит следующим образом: Bittrex – 57,2%, Bitmex – 51%, Binance – 48%, EXMO – 35,7%, LocalBitcoins – 27,3%, Currency – 13,5%. Наиболее перспективными криптобиржами являются Bittrex, Bitmex и Binance. Торговая площадка Bittrex, созданная в 2014 году, обладает различными финансово-торговыми и аналитическими средствами для проведения трейдинга.

Какой криптовалютой Вы владеете в настоящее время?
1 120 ответов

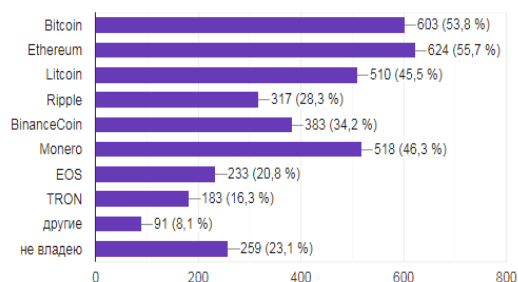


Рис.7. Владение криптовалютой
Fig.7. Cryptocurrency ownership

На какой бирже Вы торгуете?
1 120 ответов

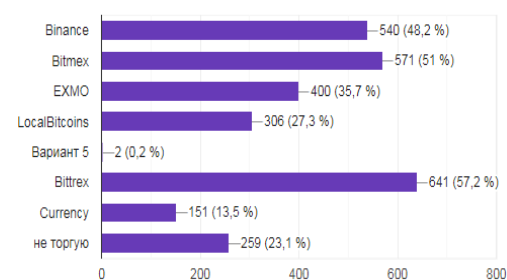


Рис. 8. Востребованность криптобир
Fig. 8. Demand for crypto exchanges

Bitmex – это криптобиржа, являющаяся одной из самых крупных платформ для фьючерсной торговли виртуальными валютами (с хранением криптоактивов на специальном счете торговой площадки). В 2017 году открылась инновационная блокчейн-платформа для торговли криптовалютой – Binance. Она поддерживает огромное количество криптовалют, при этом качество проводимых транзакций остается на высоком уровне. Разработчиками постоянно осуществляется поддержка собственной платформы, поэтому её показатели становятся всё лучше. Ежедневный объём операций достигает нескольких миллиардов долларов, при этом, там можно проводить, в том числе, и крупные сделки [4]. При существующих условиях известность криптобиржи Binance растет одновременно с ростом числа её участников (криптротрейдеров и инвесторов), которые используют свои вложения на криптовалютном рынке.

Количество осуществляемых операций с цифровыми активами среди опрошенных, представлены на рис. 9. Основная часть респондентов опроса (42,6%) проводит транзакции с криптовалютой: от 10 до 50 операций в месяц. Второе место закрепилось за респондентами – 22%, осуществляющими криптовалютные операции от 0 до 10 транзакций в месяц.

На третьем месте находятся участники опроса – 12,5%, совершающие цифровые сделки в количестве от 50 до 100 операций. Остальная часть опрошенных не проводят операции с цифровыми активами, что составляет 22,8%. Исходя из полученных данных исследования, установлено, что более 64% аудитории проводят криптовалютные операции от 0 до 50 операций в месяц, что свидетельствует об их потребностях в цифровых услугах, а также 12,5% участников опроса активно используют виртуальные валюты, что говорит об их профессиональной криптовалютной деятельности.

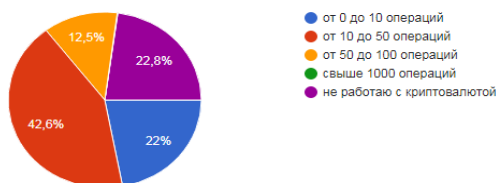
Структура доходов от использования криптовалют среди респондентов опроса, показана на рис.10. Первая группа участников (наибольшая доля) по доходности представлена двумя аудиториями: 25,4% респондентов с месячным доходом от 1000 до 5000 рублей и 23,6% опрошенных с ежемесячным доходом от 5000 до 15000 рублей.

Вторая группа по доходам от использования цифровых активов респондентами представлена в следующем виде: 13,8% участников обладают ежемесячным доходом от 15000 до 30000 рублей, 7,8% аудитории с месячным доходом свыше 30000 рублей и 6,5% опрошенных имеют ежемесячный доход от 0 до 1000 рублей; 22,9% из всех опрошенных не используют криптовалюту и, соответственно, у них отсутствует доходность от цифровых финансовых операций.

Таким образом, 77,1% респондентов, получают определенный доход от использования криптовалют, что является позитивным моментом для развития финансово-цифровой сферы в стране.

Количество осуществляемых операций с криптовалютой в месяц?

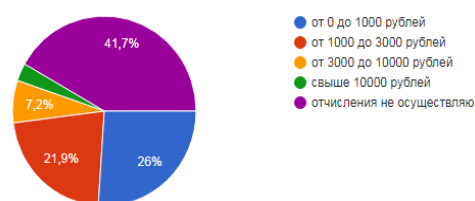
1 121 ответ

**Рис.9. Количество криптоопераций****Fig.9. Number of crypto operations**

В данной ситуации возникает статистика в отношении налоговых отчислений от использования цифровых финансовых активов, которая представлена на рис. 11.

Какие налоговые отчисления в месяц Вы осуществляете при использовании криптовалют?

1 121 ответ

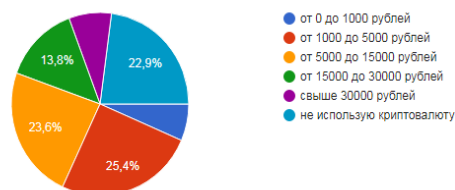
**Рис.11. Налоговые отчисления****Fig.11. Tax deductions**

Тенденция неуплаты налоговых отчислений (41,7% аудитории не производят выплату налога) напрямую зависит от особого порядка налогообложения доходов (прибыли) физических лиц (юридических лиц) при осуществлении транзакций с использованием криптовалют. Налоговым кодексом РФ не установлен размер налоговых отчислений за операции с криптовалютой, так как в настоящее время в российском законодательстве, включая законодательство РФ о налогах и сборах, правовой статус цифрового актива отсутствует. Расчет налоговой базы по операциям продажи криптовалют рассматривается как реализация имущества, при этом, извлеченная выручка подлежит налогообложению (НДФЛ). Соответствующий доход необходимо снизить на понесенные затраты по покупке цифровых активов, при условии документально подтвержденных расходов. Налогоплательщик сам исчисляет НДФЛ и предоставляет налоговую декларацию в налоговый орган РФ при получении дохода от реализации цифровых активов. В Налоговом кодексе РФ отсутствует реестр документов и регламент подтверждения затрат по транзакциям с использованием криптовалют. Однако 58,1% аудитории осуществляют определенные налоговые отчисления от использования криптовалют, что объясняет приверженность и исполнение налогового законодательства среди участников опроса. Большинство опрошенных 76,9% предпочитают криптовалюты децентрализованных платформ (рис.12). Это объясняется отсутствием внешнего регулирования децентрализованной системы виртуальных валют. Разработчики криптовалюты не контролируют транзакции, проводимые в системе блокчейна, а подтверждения операций происходит за счет участников сети. Стабильность в функционировании децентрализованной системы обеспечивается исключительно за счет высокого уровня безопасности операций и хранения криптовалют, так как сведения о проводимых транзакциях находятся у каждого из участников сети, которую невозможно уничтожить потому, что любая криптовалютная операция подтверждается математическими расчетами майнеров.

К децентрализованным криптовалютам относятся такие виртуальные валюты, как Bitcoin, Ethereum, Monero, Litecoin, Tron и другие. Основная причина того, что респонденты отдают предпочтение децентрализованным криптовалютам – это стремление обеспечить безопасность своих финансовых цифровых активов. 14,1% опрошенных не используют в своей хо-

Какой доход в месяц Вы получаете при использовании криптовалют?

1 121 ответ

**Рис. 10. Ежемесячный доход участников****Fig. 10. Monthly income of members**

Какую платформу криптовалют Вы предпочитаете использовать?

1 120 ответов

**Рис.12. Предпочтение криптоплатформ****Fig.12. Preference for crypto platforms**

зяйственной деятельности криптовалютные инструменты. Однако 7% участников опроса планируют использовать виртуальные валюты децентрализованных платформ и 1,7% респондентов хотят работать с цифровыми активами централизованных площадок в будущем.

Функционирование централизованных криптовалют осуществляется через единый орган, который обеспечивает их работоспособность, управление и контроль. Централизованные виртуальные валюты характеризуются малочисленностью и низкой популярностью в сравнении с децентрализованными системами. К централизованным криптовалютам относятся такие цифровые валюты, как Ripple, EOS и другие.

Криптовалютный функционал участников опроса представлен на рис.13. Среди опрошенных (45,9%) предпочитают цифровую деятельность в качестве майнинга и трейдинга; 31,3% аудитории используют при работе с криптовалютой только трейдинг, и только 0,5% респондентов предпочитают майнинг; 22,3% участников опроса не используют в своей деятельности криптовалютные механизмы.

Анализ динамических показаний процессов, связанных с активным использованием криптовалютных инструментов, показал, что функционал майнеров снижается с каждым годом вследствие невыгодных условий по сравнению с криптотрейдингом, а также рисков, связанных с волатильностью курса цифровых валют и инвестиционных вложений. Криптотрейдинг предоставляет огромные возможности для получения высокой прибыли при минимальных вложениях, но для рентабельного процесса необходим навык работы и аналитический подход к криптовалютному рынку.

Трейдера проводят сделки на криптобирже и получают доход за счет разницы курсов криптовалют. Преимущество трейдинга заключается в том, что он имеет возможность использовать несколько цифровых валют, однако, присутствуют риски, связанные с падением курса приобретенных виртуальных монет.

Таким образом, с каждым годом растет интерес у респондентов к криптотрейдингу, что подтверждается проведенным опросом. Организация майнинга требует высоких инвестиционных вложений в дорогостоящее оборудование, а также опыт работы в сфере информационных технологий.

В результате нестабильного курса криптовалют и высокой конкуренции при добыче цифровых валют окупаемость оборудования может быть долгой и невыгодной. Так, использование майнинга становится нерентабельным из-за снижения доходности. Вследствие определенных трудностей в развитии процесса майнинга многие из числа опрошенных отвергли возможность применять его в своих интересах. Структура расходных операций с использованием криптовалют показана на рис. 14.

Что Вы используете при работе с криптовалютой?

1 118 ответов

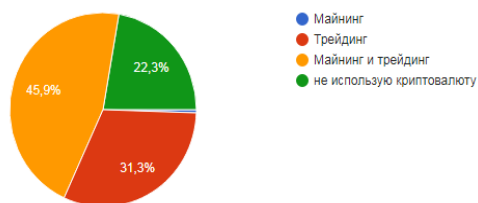


Рис. 13. Цифровая деятельность
Fig. 13. Digital activity

Средняя ежемесячная сумма расходных операций с использованием криптовалюты?

1 120 ответов

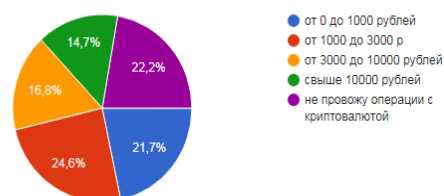


Рис. 14. Ежемесячный расход участников
Fig. 14. Monthly expenses of members

77,8% респондентов совершают расходные операции с использованием криптовалютных инструментов на определенные ежемесячные суммы, что подтверждает высокую заинтересованность к цифровым активам среди опрашиваемой аудитории. Однако 22,2% участников опроса не проводят операции с криптовалютой. Распределение объема расходных транзакций с

применением цифровых активов зависит от динамики использования и востребованности криптовалютных инструментов в мировом пространстве.

Предпочтение к цифровым кошелькам среди аудитории опроса представлено на рис. 15. Выбор криптовалютных кошельков зависит от предъявляемых требований со стороны будущих владельцев. Предпочтение участников опроса отдают криптокошельку Blockchain.info (54,5%). Соответствующий кошелек является одним из самых популярных и безопасных криптокошельков, необходимых для хранения криптовалют [5].

Второе место по популярности криптокошельков среди опрошенных респондентов занимает Bitcoin Core (37,4%). Данный криптокошелек имеет ряд преимуществ. В частности, это повышенная конфиденциальность, открытый исходный код, обеспечение контроля за цифровыми активами.

На третьем месте криптокошелек Exodus (33,8%), который был разработан в 2016 году и предназначен для хранения и обмена многих виртуальных валют. Четвертое место по предпочтению аудитории опроса отведено криптокошельку Jaxx (30,3%), представляющего собой мультивалютное хранилище и обменник криптовалют. Далее расположился криптокошелек Electrum (24,8%). Данный кошелек обладает надежным и безопасным приложением для малого числа популярных криптовалют, что является одним из основных недостатков соответствующего программного продукта. Также, менее половины опрошенных (47,6%) используют другие криптокошельки в своей хозяйственной деятельности.

Какой криптовалютный кошелек Вы используете?

1 119 ответов

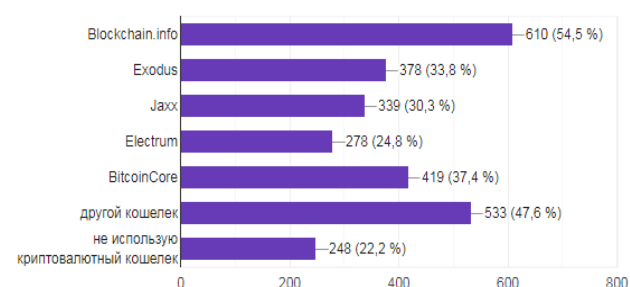


Рис. 15. Выбор криптокошельков

Fig. 15. Choice of crypto wallets

Какие операции Вы часто производите с криптовалютой?

1 119 ответов

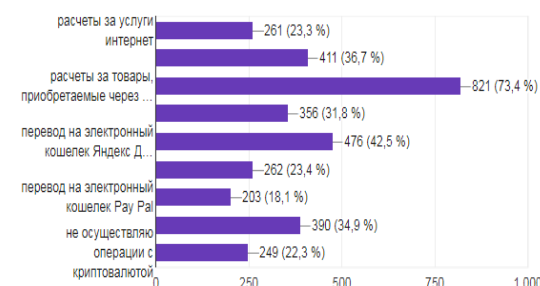


Рис. 16. Проводимые криптооперации

Fig. 16. Conducted crypto operations

Производимые операции с криптовалютами среди опрошенных, показаны на рис. 16. К первой группе аудитории опроса относятся участники, совершающие криптооперации за товары и услуги: 73,4% респондентов, осуществляют расчеты за товары, приобретаемые через интернет; 36,7% участников опроса совершают оплату за услуги мобильной связи; 23,3% респондентов проводят оплату за услуги интернет.

Ко второй группе аудитории относятся участники, совершающие криптооперации с применением электронных кошельков: 42,5% аудитории проводят переводы на электронный кошелек «Яндекс Деньги» с применением цифровых финансовых активов; 31,8% респондентов производят перевод на электронный кошелек Qiwi; 23,4% — осуществляют перевод на электронный кошелек Webmoney Transfer; 18,1% — производят перевод на электронный кошелек Pay Pal; 34,9% — совершают переводы на другие электронные кошельки; 22,3% — не осуществляют операции с криптовалютой.

В соответствии с полученными данными исследования можно утверждать, что большинство опрошенных используют криптовалюту для оплаты различных товаров (73,4%) и услуг (30%), а также для осуществления переводов на электронные кошельки (30,1%). Таким образом, криптовалюты набирают обороты в качестве платежного инструмента и продолжают активно развиваться в социально-экономических сообществах. Приобретая навыки работы с виртуальными валютами, мы получаем большие преимущества в цифровой финансовой сфере.

В обозримом будущем цифровые деньги должны стать одним из главных финансовых механизмов.

Дополнительные вопросы охватывали доверие к криптовалютам, которые представлены на рис. 17. На основании проведенных исследований на предмет доверия социально-экономических сообществ к криптовалютам, выявлено, что около 60% респондентов относятся к криптомонетам с доверием, ранжирующимся в диапазоне от 50% до 100%. Таким образом, можно предположить, что владельцы криптоактивов уверены в свободном обращении цифровых активов. Однако существующее функционирование виртуальной валюты в качестве средства платежа не слишком приветствуется властями РФ. Легитимизация криптовалютных инструментов приведет к высокому спросу цифровых финансовых активов среди пользователей и, соответственно, повысит доверие к ним.

Ваше доверие к криптовалюте?

1 121 ответ

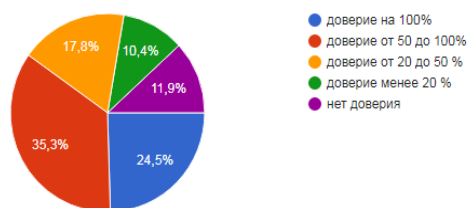


Рис. 17. Доверие к криптовалюте
Fig. 17. Trust in cryptocurrency

Перспектива развития криптовалютных операций?

1 120 ответов



Рис. 18. Перспектива развития криптовалют
Fig. 18. Cryptocurrency Development Perspective

Перспектива развития криптовалютных операций представлена на рис. 18.

В соответствии с данными опроса, определено, что 59,8% респондентов считают, что будущее развитие цифровых финансовых активов, включая международные цифровые транзакции, напрямую зависит от легитимации криптовалютных инструментов государством в рамках национальной платёжной системы; 13% респондентов затруднились дать прогноз в отношении перспектив развития криптовалютных операций.

Обсуждение результатов. Развитие международной финансово-цифровой среды требует быстрой реакции в отношении трансформационных решений в нормативно-правовых областях, которые должны способствовать инновационному развитию социально-экономического сообщества и экономики страны в целом.

Преимущества криптовалютных инструментов сгруппированы нами в табл. 1.

Таблица 1. Преимущества криптовалютных инструментов
Table 1. Benefits of cryptocurrency instruments

Преимущества/Advantages	Количество респондентов, чел. Number of respondents, pers.
Доступность криптовалют в любое время/Availability of cryptocurrencies at any time	738 (66%)
Достоверность произведенных операций/Reliability of transactions	498 (44,5%)
Анонимность проведения операции/Anonymity of the operation	660 (59%)
Высокая скорость операций/High speed of operations	448 (40%)
Надежность при проведении операций/Reliability during operations	455 (40,7%)
Отсутствие контроля за проведением транзакций/Lack of control over transactions	387 (34,6%)
Отсутствие комиссий при проведении операций/No commissions for transactions	677 (60,5%)
другие/other	84 (7,5%)

Основная часть аудитории ($\geq 60\%$) считает важными преимуществами криптовалютных инструментов их доступность в любое время, отсутствие комиссий при проведении транзакций и анонимность осуществления операций.

Более 40% респондентов видят превосходство цифровых активов в достоверности и надежности произведенных транзакций и высокой скорости операций. Отсутствие контроля за проведением транзакций относят к достоинству криптовалют 34,6% опрошенных. И только 7,5% участников опроса указали «иные» преимущества. Основываясь на исследовательских данных, установлено, что к приоритетным достоинствам криптоактивов относят анонимность, доступность и отсутствие комиссий при осуществлении криптовалютных операций.

По данным опроса выявлены недостатки криптовалютных инструментов, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Недостатки криптовалютных инструментов
Table 2. Disadvantages of cryptocurrency instruments

Недостатки/Flaws	Количество респондентов, чел. Number of respondents, pers.
Риск официального запрета криптовалют/The risk of an official ban on cryptocurrencies	773 (69,1%)
Неконтролируемость оборота виртуальной денежной массы/ Uncontrollability of the circulation of virtual money supply	352 (31,5%)
Риск потери криптовалютного кошелька/Risk of losing a cryptocurrency wallet	600 (53,6%)
Волатильность обменного курса криптовалют/Cryptocurrency exchange rate volatility	767 (68,5%)
отсутствие возможности отозвать операции/Inability to revoke transactions	600 (53,6%)
Отсутствие гарантий за сбережения криптовалют/No guarantees for cryptocurrency savings	605 (54,1%)
Отсутствие обеспеченности криптовалют/Lack of security of cryptocurrencies	706 (63,1%)
Высокие комиссии при использовании криптовалют/High fees when using cryptocurrencies	76 (6,8%)
Перебои в работе технического оборудования и сети интернет/ Interruptions in the operation of technical equipment and the Internet	254 (22,7%)
Неудобный интерфейс и отсутствие дополнительных знаний/ Inconvenient interface and lack of additional knowledge	474 (42,4%)

Перспектива продвижения криптовалютных механизмов в управлении социальными и экономическими системами зависит от ряда препятствий, которые присутствуют в настоящий момент или ожидаются в будущем в рамках исследуемой среды. В соответствии с исследуемыми данными, к основным ограничениям относятся риск официального запрета, волатильность обменного курса цифровых валют и отсутствие обеспеченности виртуальных валют. В связи с тем, что государственные органы и финансовые регуляторы целого ряда стран (Центральный банк России не исключение) выступают против применения на их территории цифровых операций, возникает риск официального запрета криптовалют. Подобное развитие событий прогнозируют 69,1% участников опроса.

Однако во многих государствах создается благоприятная атмосфера для развития цифровой финансовой индустрии, что способствует интеграции виртуальных валют в платежные системы, а также консолидации цифровых активов в официальном обращении (Япония, ОАЭ, Канада). 68,5% респондентов определили «резкие колебания обменного курса «виртуальных» валют как ещё один их недостаток. Волатильность может иметь как негативный, так и положительный признак, зависящий от метода вложений в криптовалюту. При использовании краткосрочных капиталовложений в трейдинге, волатильность обеспечивает высокую выручку, при

условии, что торговля осуществляется тщательным и умелым способом. В случае применения долгосрочных инвестиций высокие колебания курса вызывают тревожность у трейдеров, что может отразиться на финансовых результатах работы инвестора.

63,1% из числа опрошенных опасаются отсутствия обеспеченности криптовалют. Цифровые активы не обеспечены материальными ценностями, но они наделены стоимостной составляющей, в результате чего, осуществляется покупка-продажа товаров и услуг с использованием криптовалют. Соответствующая ситуация не влияет на положение вещей, при которых количество пользователей, использующих в своей деятельности криптовалютные инструменты, с каждым годом растет, что доказывает высокую эффективность сделок.

К незначительным недостаткам можно отнести отсутствие гарантий на сбережения криптовалют, риск потери криптовалютного кошелька и отсутствие возможности отозвать операции. Отсутствие гарантий на сбережения цифровых валют является преградой в развитии криптовалют в финансово-цифровой среде – так считают 54,1% респондента опроса, что означает отсутствие регулирующих органов, способствующих сохранности электронных криптокошельков. Устранение соответствующего барьера, направлено на совершенствование технической надежности и защищенности цифровых активов на криптобиржах и криптокошельках.

В настоящий момент криптографическая защита криптовалют достаточно защищает цифровые активы, которые невозможно взломать, подделать и незаконно присвоить. Процедура шифрования заключается в хешировании большого объема информации на различных компьютерах майнеров, при этом, данные обновляются одновременно у каждого пользователя соответствующей сети. Доступом к сведениям обладают все участники данной сети.

Следующее ограничение связано с риском потери криптовалютного кошелька, которое заключается в потере пароля к цифровому кошельку. Соответствующий риск подтвердили в ходе проведенного опроса 53,6% аудитории.

Для исключения указанной преграды, необходимо совершенствование технологии блокчейн. Важным принципом работоспособности блокчейна, является открытость совершаемых транзакций, при условии неизменности их со стороны пользователей, не имеющих доступ к данной сети. Преимущество технологии блокчейн заключается в прозрачности проводимых операций и высокой скорости осуществления транзакций. Крупные компании России активно применяют данную технологию в своей хозяйственной деятельности. 53,6% участников опроса акцентировали свое внимание на отсутствие возможности отозвать операции. Ошибочно совершенная участником сети транзакция (вследствие неверного ввода кода или отправки криптовалютенег на некорректный адрес) приводит к потерям цифровых активов и, соответственно, отозвать неправильную операцию невозможно, как и вернуть отправленную виртуальную валюту нельзя.

Малозначительные преграды включают в себя неудобный интерфейс и отсутствие дополнительных знаний, неконтролируемость оборота виртуальной денежной массы, перебои в работе технического оборудования и сети интернет и высокие комиссии при использовании криптовалют. Организационный барьер с неудобным интерфейсом и отсутствием дополнительных знаний у участников сети создает временный дискомфорт у пользователей, которые применяют криптовалютные механизмы – так считают 42,4% респондентов. Разработчик программных продуктов, связанный с применением цифровых активов, в рамках своей компетенции и для создания необходимых комфортных условий клиентам, должен придерживаться мнения пользователей, выбравших его программное обеспечение, включая авторов криптоплатформ. Для исключения указанных факторов (неудобный интерфейс и отсутствие дополнительных знаний) необходимо коммуникационное взаимодействие между программистами и потребителями их услуг с целью изучения природной сферы криптовалютных инструментов. В связи с этим возникает потребность в новых знаниях у пользователей. К тому же, сфера информационных технологий и цифровые активы непрерывно развиваются.

31,5% респондентов отнесли неконтролируемость оборота виртуальной денежной массы к незначительной проблеме. Цифровые активы не получают широкую применяемость в связи с

наличием неконтролируемого оборота цифровых активов. Многие среди аналитиков видят в виртуальных валютах угрозу для действующих финансовых систем на национальном и международном уровнях.

В настоящее время, некоторые государственные правительства и ведущие финансовые институты остерегаются широкого использования цифровых активов, в результате которого, возможно состоится выход финансовых операций из-под контроля.

На основании данного подхода произойдет ситуация, которая приведет к уходу от налогообложения, присутствию анонимных транзакций, способствующих «теневому» прохождению финансовых операций, широкомасштабному использованию криптовалютных платежей для финансирования терроризма и прочих криминальных структур. В целях исключения подобных ситуаций, необходимо правовое оформление статуса криптовалют и обеспечение их регулирования в финансово-цифровой системе. 22,7% аудитории считают, что перебои в работе технического оборудования и сети интернет являются ограничениями в развитии криптовалютных инструментов.

Представленная проблема оказывает серьезное влияние на работоспособность криптовалютных инструментов и, соответственно, на результативность операций. Для эффективного рассмотрения данного параметра, целесообразно использовать метод, применяемый для изучения взаимосвязей между значениями переменных, с целью определения влияния факторов на величину исследуемого показателя. На указанный параметр влияют факторы внутреннего (инвестиции в профессиональное оборудование, затраты на электроэнергию) и внешнего (программный продукт для работы с криптовалютой, провайдер сети интернет) происхождения.

О высоких комиссиях при использовании криптовалют высказались 6,8% опрошенных. Каждая криптовалютная биржа формирует выручку за счет комиссионных сборов, ориентированных на торговых комиссиях, на выдачу кредитного плеча, на сборы за вывод криптовалют и т.д. Комиссионные сборы при использовании цифровых активов взимаются как с продавца (мейкер), так и с покупателя (тейкер). Комиссионные сборы напрямую зависят от срочности проведения операций с криптовалютами. Таким образом, чем дороже комиссия, тем выше скорость обработки транзакций цифровых активов. Криптовиржи самостоятельно устанавливают комиссионные сборы на определенные виды транзакций с криптовалютами для своих клиентов.

На основании проведенных исследований установлено, что наибольший интерес к криптовалютным инструментам проявляет аудитория в возрасте 18-40 лет, что составляет 72,7% респондентов. В отношении гендерного статуса, то мужчины проявляют больший интерес к криптовалютам 63,5%. 33,3% респондентов являются высококвалифицированными специалистами. В ходе анализа определено, что имеют осведомленность о виртуальных валютах и обладают поверхностными знаниями 90,6% респондентов. Период узнаваемости цифровых активов приходится на 2016 – 2018 годы (более 50%). Часто применяемыми криптовалютами являются Bitcoin (53,8%) и Ethereum (55,7%). Среди популярных криптобирж – Bittrex (57,2%), Bitmex (51%) и Binance (48%). Исходя из исследовательских данных опрошенных, выявлено, что более 64% аудитории осуществляют криптовалютные операции от 0 до 50 операций в месяц.

77,1% респондентов владеют определенным доходом от использования цифровых валют и 58,1% участников проводят определенные налоговые отчисления от использования виртуальных валют. В соответствии с проведенным опросом 76,9% опрошенных предпочитают криптовалюты децентрализованных платформ из-за отсутствия внешнего регулирования. Также, растет интерес к криптотрейдингу, что подтверждается проведенным анализом.

31,3% участника предпочитают трейдинг и 0,5% аудитории склонны к использованию майнинга. На основании исследований, отмечено, что 73,4% опрошенных осуществляют расчеты за товары и услуги, приобретаемые через интернет, с использованием виртуальных валют, что составляет 77,8% респондентов, совершающих расходные операции. В ходе проведенного анализа установлено, что 60% респондентов относятся с доверием к криптовалютным инструментам (уровень доверия: от 50% до 100%). 59,8% респондентов считают, что будущее разви-

тие цифровых финансовых активов, включая международные цифровые транзакции, напрямую зависит от легитимности криптовалютных инструментов со стороны государства.

Вывод. На основании проведенного анализа можно утверждать, что цифровизация социальных и экономических систем неизбежна, поскольку является перспективным направлением их развития, признаваемым многими государствами, инвесторами и предпринимателями.

В ходе исследования выявлено, что развитие криптовалют несет с собой набор положительных и негативных признаков, требующих проведения определенных мероприятий для их реализации или преодоления преград. К основным проблемам относятся риск официального запрета, волатильность обменного курса цифровых валют, отсутствие обеспеченности виртуальных валют, отсутствие гарантий сбережения криптовалют, риск потери криптовалютного кошелька и отсутствие возможности отозвать операции.

Для обеспечения дальнейшего продвижения криптовалютных инструментов в управлении социальными и экономическими системами, по нашему мнению, необходимо следующее:

- создание нормативно-правового регулирования и функционирования криптовалют, включая международное законодательство;
- установление правового статуса виртуальных валют;
- внедрение криптовалютного механизма в международные платежные системы;
- формирование официального обращения криптовалютных инструментов, включая инвестирование через выпуск и продажу цифровых токенов (ICO).

Для преодоления существующих барьеров на пути развития криптовалютных механизмов, необходимо правовое оформление статуса криптовалют и интеграция в финансово-цифровую платежную систему государства, обеспечение технической надежности и защищенности криптобирж и криптокошельков, включая системы международных расчетов.

Библиографический список:

1. About the use of private "virtual currencies" (cryptocurrency), 2017. [Electronic resource]. Mode of access: https://cbr.ru/press/PR/?file=04092017_183512if2017-09-04T18_31_05.htm.
2. Assaf A., Charifc H., Demir E. Information sharing among cryptocurrencies: Evidence from mutual information and approximate entropy during COVID-19 // Finance Research Letters. 2021; 2021.
3. Best cryptocurrency wallets-rating 2020 [Electronic resource]. Mode of access: <https://prostocoin.com/blog/best-wallets>.
4. Binance Exchange. Pros and cons [Electronic resource]. Mode of access: <https://fishki.net/2620201-birzha-binance-pljusy-i-minusy.html?sign=551520699679920%2C892122837017055>.
5. Conlon T. Inflation and cryptocurrencies revisited: A time-scale analysis. *Economics Letters*. 2021; 206.
6. Cross J.L., Hou C., Trinh K. Returns, volatility and the cryptocurrency bubble of 2017–18. *Economic Modelling*. 2021; 104.
7. Informational message "on the use of cryptocurrencies", 2014. [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.fedsfm.ru/news/957>.
8. Leirvik T. Cryptocurrency returns and the volatility of liquidity. *Finance Research Letters*. 2021; 29.
9. Letter dated October 3, 2016 no. OA-18-17/1027 (Question; about control over the circulation of cryptocurrencies (virtual currencies) <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=QUEST&n=162766>.
10. Qadan M., Aharon D.Y., Eichel R. Seasonal and Calendar Effects and the Price Efficiency of Cryptocurrencies. *Finance Research Letters*. 2021; 24.
11. Vidal-Tomfas D. The entry and exit dynamics of the cryptocurrency market. *Research in International Business and Finance*. 2021; 58.
12. Гусева А.А. Возможные пути решения проблемы легализации денежных средств через криптовалюту // Экономика. Право. Инновации. 2018. № 5 (2). С. 36–45.
13. Завен Г.Х. Настоящее и будущее криптовалюты // Интернаука. 2019. № 2-2 (84). С. 26–28.
14. Крячко А.А., Попок Л.Е. История и обзор криптовалюты // Аллея науки. 2018. Т. 2. № 10 (26). С. 346–352.
15. Мелдебеков А.С. Анализ алгоритмов криптовалюты // Молодой ученый. 2019. №50 (288). С. 593–596.
16. Рагимов Р.А. Криптовалюта как форма спекулятивного капитала // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т.8. № 10А. С. 481–487.
17. Сверчкова А.С., Козина Е.В. Сущность понятия криптовалюты: сильные и слабые стороны // Форум молодых ученых. 2018. № 10 (26). С. 1070–1075.
18. Уфимцев Д.А., Гончаров Д.В., Серебряхов М.А., Старова О.В. Криптовалюта: действительность и перспективы // Студенческий. 2019. № 1-4 (45). С. 5–11.
19. Худякова С.В. Криптовалюта как новый объект гражданских прав // Аллея науки. 2018. Т.3. №11. С. 662–668.
20. Янина Е.А., Молдован А.А., Каверина А.А., Макарова В.А. Криптовалюта как феномен современной экономики // Аллея науки. 2018. Т. 3. № 11 (27). С. 282–286.

References:

1. About the use of private "virtual currencies" (cryptocurrency), 2017. [Electronic resource]. Mode of access: https://cbr.ru/press/PR/?file=04092017_183512if2017-09-04T18_31_05.htm.
2. Assaf A., Charifc H., Demir E. Information sharing among cryptocurrencies: Evidence from mutual information and approximate entropy during COVID-19 // Finance Research Letters. 2021; 2021.
3. Best cryptocurrency wallets-rating 2020 [Electronic resource]. Mode of access: <https://prostocoin.com/blog/best-wallets>.
4. Binance Exchange. Pros and cons [Electronic resource]. Mode of access: <https://fishki.net/2620201-birzha-binance-pljusy-i-minusy.html?sign=551520699679920%2C892122837017055>.
5. Conlon T. Inflation and cryptocurrencies revisited: A time-scale analysis. *Economics Letters*. 2021; 206.
6. Cross J.L., Hou C., Trinh K. Returns, volatility and the cryptocurrency bubble of 2017–18. *Economic Modelling*. 2021; 104.
7. Informational message "on the use of cryptocurrencies", 2014. [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.fedsfm.ru/news/957>.
8. Leirvik T. Cryptocurrency returns and the volatility of liquidity. *Finance Research Letters*. 2021; 29.
9. Letter dated October 3, 2016 no. OA-18-17/1027 (Question; about control over the circulation of cryptocurrencies (virtual currencies)) <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=QUEST&n=162766>.
10. Qadan M., Aharon D.Y., Eichel R. Seasonal and Calendar Effects and the Price Efficiency of Cryptocurrencies. *Finance Research Letters*. 2021; 24.
11. Vidal-Tomfas D. The entry and exit dynamics of the cryptocurrency market. *Research in International Business and Finance*. 2021; 58.
12. Guseva A.A. Possible ways to solve the problem of legalization of funds through cryptocurrency. [Ekonomika. Pravo. Innovatsii] *Ekonomika. Right. Innovation*. 2018; 5 (2): 36-45. (In Russ)
13. Zaven G.Kh. Present and Future of Cryptocurrency [Internauka] *Interscience*. 2019; 2-2 (84): 26-28. (In Russ)
14. Kryachko A.A., Popok L.E. History and overview of cryptocurrency. [Alleya nauki] *Alley of Science*. 2018; 2(10) (26): 346-352. (In Russ)
15. Meldebekov A.S. Analysis of cryptocurrency algorithms. [Molodoy uchenyy] *Young Scientist*. 2019; 50 (288):593-596.
16. Ragimov R.A. Cryptocurrency as a form of speculative capital. [Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra] *Economics: yesterday, today, tomorrow*. 2018; 8(10A): 481-487. (In Russ)
17. Sverchkova A.S., Kozina E.V. The essence of the concept of cryptocurrency: strengths and weaknesses. [Forum molodykh uchenykh.] *Forum of Young Scientists*. 2018; 10 (26): 1070-1075. (In Russ)
18. Ufimtsev D.A., Goncharov D.V., Serebryukhov M.A., Starova O.V. Cryptocurrency: reality and prospects. [Studentcheskiy Student. 2019; 1-4 (45): 5-11. (In Russ)
19. Khudyakova S.V. Cryptocurrency as a new object of civil rights. [Alleya nauki] *Alley of Science*. 2018; 3(11):662-668.
20. Yanina E.A., Moldovan A.A., Kaverina A.A., Makarova V.A. Cryptocurrency as a Phenomenon of the Modern Economy. [Alleya nauki] *Alley of Science*. 2018; 3 (11) (27): 282-286. (In Russ)

Сведения об авторе:

Александр Александрович Лукьянов, аспирант кафедры вычислительной и прикладной математики; aaluky-anov@inbox.ru; orcid.org/0000-0001-6908-0238

Information about the author:

Alexander. A. Lukyanov, Post-graduate Student, Department of Computational and Applied Mathematics; aaluky-anov@inbox.ru; orcid.org/0000-0001-6908-0238

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 30.10.2021.

Одобрена после рецензирования/ Revised 20.11.2021.

Принята в печать/Accepted for publication 21.11.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 556.536:631.4

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-114-122

Оригинальная статья / Original Paper

Моделирование эрозионных процессов в открытых руслах

М.Р. Магомедова

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

Резюме. Цель. Целью исследования является моделирование эрозионных процессов в открытых руслах. **Метод.** Применен стохастический подход к расчету параметров и построению моделей отдельных этапов эрозионного процесса: срыва, взвешивания и транспорта турбулентным потоком частиц размываемого грунта. **Результат.** Разработана методика прогноза общего размыва русел рек и каналов, сложенных однородными и неоднородными по крупности несвязными грунтами. Апробация методики на материале лабораторных и натурных исследований подтвердила ее удовлетворительную точность в широком диапазоне гидравлических условий и гранулометрических составов грунтов. **Вывод.** Принципы разработки модели эрозионных процессов в открытых руслах, модульная структура составленных на ее основе алгоритмов расчета и программ, позволяют совершенствовать методы расчета отдельных параметров эрозионного процесса и вносить коррективы в соответствующие модули алгоритмов и программ.

Ключевые слова: водная эрозия, диаметр частиц, удельный расход воды, мутность потока, моделирование, гранулометрический состав, скорость течения, расход наносов, турбулентный поток

Для цитирования: М.Р. Магомедова. Моделирование эрозионных процессов в открытых руслах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4):114-122. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-114-122

Modeling of erosion processes in open channels

M.R. Magomedova

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

Abstract. Objective. The aim of the study is to model erosion processes in open channels. **Method.** A stochastic approach is applied to the calculation of parameters and the construction of models of individual stages of the erosion process: disruption, weighing and transport of eroded soil particles by a turbulent flow. **Result.** A technique has been developed for predicting the general erosion of riverbeds and canals, composed of homogeneous and heterogeneous non-cohesive soils. Apr probation of the developed technique on the material of laboratory and field studies confirmed its satisfactory accuracy in a wide range of hydraulic conditions and soil granulometric compositions. **Conclusion.** The principles of developing a model of erosion processes in open channels, the modular structure of the calculation algorithms and programs compiled on its basis, allow us to continuously improve the methods for calculating individual parameters of the erosion process and make adjustments to the corresponding modules of algorithms.

Keywords: water erosion, particle diameter, specific water consumption, flow turbidity, modeling, granulometric composition, flow velocity, sediment flow, turbulent flow

For citation: M.R. Magomedova. Modeling of erosion processes in open channels. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (4): 114-122. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-114-122

Введение. В современных масштабах гидротехнического и гидромелиоративного строительства в нашей стране возрастает актуальность проблемы надежности прогнозов эрозионных процессов. Водная эрозия во всех ее проявлениях наносит значительный ущерб народному хозяйству страны за счет уменьшения почвенных и водных ресурсов, снижения качества работы гидротехнических сооружений различного назначения. Эффективность и надежность гидромелиоративных сооружений неразрывно связана с проблемой устойчивости деформируемости русел и проблемой борьбы с водной эрозией.

Недостаточно обоснованный прогноз отдельных параметров и этапов водной эрозии – неразмывающих скоростей, транспортирующей способности потока, величины твердого стока, интенсивности и продолжительности процессов эрозии и аккумуляции при проектировании гидротехнических сооружений приводит к снижению надежности их работы, является одной из причин эксплуатационных неполадок, а иногда и аварий. Поэтому вопросы повышения надежности эрозионных расчетов приобретают актуальное значение как первый этап на пути решения комплекса задач по обоснованию надежности противозерозионных мероприятий [1].

Несмотря на определенные успехи, достигнутые в последнее время в решении проблемы повышения надежности прогнозов эрозионных процессов, она далека еще от окончательного решения, отвечающего современному уровню развития науки и полностью удовлетворяющего требования практики.

Многофакторность механизма водной эрозии, включающего в себя процессы срыва, взвешивания, транспорта и осаждения твердого материала в турбулентном потоке, обусловила преобладание в течение длительного времени эмпирического и полуэмпирического подхода к проблеме прогноза водной эрозии и транспорта наносов, базирующегося на упрощенных детерминистических моделях этих процессов. Полученные на этом пути решения сыграли большую роль в разработке ряда неотложных практических задач. Однако, будучи полученными, исходя из различных предпосылок и взглядов на механизм водной эрозии, на основе конкретного экспериментального материала, такие расчетные методы и формулы носят региональный характер и часто дают значительные расхождения между собой и с натурными данными, отличными от условий исходных экспериментов [1].

Постановка задачи. Совершенствование знаний о структуре водных потоков и характере русловых процессов привело к развитию взглядов на водную эрозию, как на стохастический процесс, обусловленный случайным характером вызывающих его факторов: природно-климатическими и гидрологическими условиями, изменчивостью физико-механических свойств грунтов, турбулентностью водных потоков [2]. В связи с этим в нашей стране и за рубежом появились стохастические модели и вероятностные методы расчета движения наносов, разработанные на основе использования методов теории вероятностей и теории случайных процессов [3, 4].

Недостаток ряда распространенных за рубежом чисто стохастических моделей срыва и транспорта наносов, ограничивающий возможности их практического использования, заключается в том, что они исключают из рассмотрения физическую сущность и причину эрозии и транспорта наносов – динамическое воздействие потока на частицы грунта, в связи с чем, остается необходимость введения эмпирических параметров. В последнее время в ряде исследований ученых намечается синтез детерминистического и вероятностного подхода к рассматриваемой проблеме, который представляется наиболее перспективным, так как при этом учитывается как стохастический характер взаимодействия потока и русла, так и физическая природа этого взаимодействия. Поэтому, дальнейшее совершенствование методов прогноза эрозионных процессов и транспорта наносов возможно на основе широкого привлечения к решению указанных задач математических методов теории вероятностей и теории случайных процессов, при условии более полного учета факторов, обуславливающих водную эрозию, выявления взаимных связей между ними и параметрами эрозионных процессов, более глубокого раскрытия физической сущности механизма взаимодействия потока и русла [1].

Благодаря современным достижениям в области гидромеханики, теории турбулентности, динамики русловых потоков, механики грунтов имеются необходимые предпосылки для разработки теоретических методов прогноза различных видов водной эрозии, основанных на достоверных математических моделях эрозионных процессов в широком диапазоне условий. Решение этой сложной задачи возможно при условии обеспечения достаточной степени надежности определения исходных данных и наличии достоверных математических моделей отдельных этапов эрозионных процессов.

Задача повышения надежности прогнозов эрозионных процессов требует создания таких методов, которые позволили бы производить расчет деформации русел и параметров эрозии с заданной надежностью, что возможно на основе использования математических методов теории надежности. Именно эти методы при наличии достоверных математических моделей эрозионных процессов позволят при проектировании гидромелиоративных сооружений гарантировать с заданной вероятностью отсутствие недопустимых для нормальной работы сооружения деформаций под воздействием водного потока в течение требуемого срока эксплуатации.

Методы исследования. Механизм водной эрозии всецело определяется турбулентностью русловых потоков. Согласно современным представлениям турбулентный русловой поток состоит из совокупности вихревых возмущений различных масштабов, изменяющихся от значений поперечных размеров потока до долей миллиметра.

Крупномасштабные возмущения, возникающие по спектральной теории турбулентности А.Н. Колмогорова, вследствие неустойчивости основного движения, превращают энергию осредненного движения в энергию турбулентных пульсаций. Неустойчивость крупных вихрей приводит к образованию возмущений средних размеров, а затем более мелких. Энергия турбулентных пульсаций передается по каскаду вихрей от крупных к мелким; механическая энергия мельчайших вихрей превращается в тепловую, благодаря силе внутреннего трения. Движения вихревых возмущений средних и мелких размеров в потоках с большими числами Рейнольдса не подвержено ориентирующему влиянию границ потока и подчиняется общим статистическим закономерностям.

Сведения о структуре турбулентных потоков и параметрах вихревых образований можно получить на основании исследовании эйлеровых и лагранжевых характеристик турбулентности – законов и моментов распределения мгновенных скоростей течения, корреляционных и спектральных функций.

Размеры и форма частиц обусловлены свойствами пород и условиями образования и существования частиц. Для характеристики морфологических особенностей частиц несвязных грунтов предложены различные размеры (линейные, поверхностные, объемные), а также частные и обобщенные морфологические критерии (удлиненности, уплощенности, сферичности, окатанности и др.) [5 - 7].

Морфологические особенности зерен наносов оказывают влияние на устойчивость частиц на дне, ориентацию их при движении в потоке, коэффициент сопротивления и гидравлическую крупность.

Важным фактором, влияющим на процесс водной эрозии, является гранулометрический состав. Исследования процессов формирования гранулометрического состава показывают, что основные факторы – выветривание, перенос и отложение – вызывают изменение первоначального гранулометрического состава. В одних случаях эти процессы приводят к смещению различных гранулометрических совокупностей и к образованию многовершинных распределений, а в других к дифференциации состава и упрощению распределений. Наиболее полной количественной характеристикой гранулометрического состава грунта является аналитическое выражение закона распределения размеров частиц – плотность или функция распределения. Случайный процесс последовательного дробления частиц, показал, что закон счетного их распределения по размерам асимптотически стремится к логарифмически-нормальному [8-10]:

$$n(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma d} \cdot \exp\left(\ell_n d - \ell_n d_M\right)^2 / 2\sigma^2, \quad (1)$$

где σ^2 – дисперсия логарифма диаметра частиц, d_M – медиана распределения.

Вместе с тем в многочисленных работах содержатся указания на возможность описания гранулометрического состава наносов самыми разнообразными законами распределения, как известными в теории вероятности, так и чисто эмпирическими.

Г.К. Синявский предлагает описывать состав русловых отложений гамма-распределением:

$$n(d) = \frac{1}{r(\alpha)\beta^\alpha} \cdot d^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{d}{\beta}\right)^2, \quad (2)$$

где $d > -1$, $\beta > 0$, $r(\alpha)$ – гамма функция.

Наличие большого количества зависимостей для описания гранулометрических составов русловых грунтов и наносов свидетельствует о чрезвычайном разнообразии этих составов и невозможности точного описания их зависимостью какого-либо одного вида. Вследствие этого, в большинстве случаев, в эрозионных расчетах для учета гранулометрического состава грунта пользуются не законами распределения, а их числовыми характеристиками.

Форму кривой распределения достаточно полно характеризуют четыре числовые характеристики: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, коэффициент асимметрии и эксцесс. Однако на практике, применительно к описанию гранулометрических составов грунтов, получила распределение только первая из них – средневзвешенный диаметр частиц:

$$d_{cp} = \frac{\sum d_i P_i}{\sum P_i}, \quad (3)$$

где d_i – средний диаметр частиц i – ой фракции, равный полусумме крайних размеров ее частиц, P_i – относительное весовое содержание этой фракции в смеси.

Согласно действующим нормативам в эрозионных расчетах однородными по крупности считаются несвязные грунты, характеризующие отношением: $d_{95}/d_5 < 5$, где d_{95} и d_5 – диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится соответственно 95% и 5 % по весу. В результате статистической обработки данных гранулометрического анализа естественных и искусственных смесей несвязных грунтов установлена статистическая связь между параметрами гранулометрических кривых:

$$P_{d_{cp}} = \begin{cases} 0.95 - 2.8k_0^2 n_{pu} & 0 \leq k_0 \leq 0.2 \\ 0.5 + 2.1(k_0 - 0.6)^2 n_{pu} & 0.2 \leq k_0 \leq 0.6 \\ 0.5 n_{pu} & 0.6 \leq k_0 \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

где $P_{d_{cp}}$ – ордината интегральной гранулометрической кривой, соответствующая средневзвешенному диаметру частиц d_{cp} ; k_0 – коэффициент однородности, $k_0 = \frac{d_{cp}}{d_{95}}$.

Наряду с гранулометрическим составом в эрозионных расчетах учитывается плотность частиц грунта. Вследствие преобладания в составе русловых наносов некоторых пород, плотность частиц грунта колеблется в небольших пределах – от $2,45 \text{ т/м}^3$ до $2,76 \text{ т/м}^3$, составляя в среднем $\rho_r = 2,65 \text{ т/м}^3$. Наибольшим удельным весом обладают илистые частицы, наименьшим – песчаные.

В русловом потоке поверхностный слой частиц и придонная область потока представляют собой единую систему, в которой каждый из элементов в одно и тоже время зависит от другого и влияет на него. Поэтому определение ряда характеристик поверхностного слоя ча-

стиц – средней высоты выступов шероховатости разнородного грунта, параметров ориентировки частиц на поверхности дна – невозможно без учета кинематической структуры потока.

Однако некоторые из характеристик поверхностного слоя в первом приближении могут быть рассмотрены вне связи с кинематикой потока в придонном слое и, поэтому представляется возможным установить их теоретически.

Рассмотрим однородные по крупности грунты – монодисперсную систему шаров диаметром d . В силу принятого определения поверхностного слоя, число частиц на единице площади дна n_s должно быть равно среднему числу частиц, пересеченных единицей площади случайной плоскости сечения.

Соотношение между средним числом частиц в шлифе n_s и средним числом частиц в единице объема пространства, занятого шарами, n_v :

$$n_s = n_v d, \quad (5)$$

Число частиц в единице объема грунта можно определить через коэффициент сплошности отложений β и объем одной частицы:

$$n_v = 6\beta / \pi d^3, \quad (6)$$

С учетом (5), находим среднее число частиц на единице площади дна:

$$n_s = 6\beta / \pi d^2 \quad (7)$$

В случае разнородного грунта (полидисперсная система) со статистически равномерным распределением отдельных фракций в массиве грунта, формулы (6) и (7) применимы в отдельности для каждой фракции.

Обозначая плотность объемного распределения размеров частиц в массиве грунта через $\varphi_0(d)$, для числа частиц с размерами на единице площади дна в поверхностном слое на основе (7) получаем выражением:

$$n_{ds} = \frac{6\beta}{\pi} \frac{\varphi_0(d) \Delta d^2}{d^2}, \quad (8)$$

Среднее число частиц всех размеров на единице площади дна в поверхностном слое можно определить по формуле С.А. Салтыкова для числа сечений полидисперсной системы на единице площади секущей плоскости:

$$n_s = n_v d_{cp}, \quad (9)$$

где d_{cp} – средний диаметр шаров полидисперсной системы, найденный, исходя из закона счетного распределения размеров частиц, n_v – среднее число частиц всех размеров в единице объема массива грунта:

$$n_v = 6\beta / \pi d_{cp}^3 \quad (10)$$

Достаточно мощный поток приводит в движение наносы или сыпучую подстилку водотока. Механизм воздействия водного потока на твердую частицу, расположенную на дне, по исследованиям В.Н. Гончарова, М.А. Дементьева, М.А. Великанова, И.И. Леви, В.С. Кнорова, Ц.Е. Мирцхулава и др. можно представить следующим образом (рис. 1).

На переднюю грань частицы, расположенной на дне, поток оказывает положительное давление (лобовая сила), а на тыловой создается вакуум. Между нижней гранью частицы и дном потока происходит движение жидкости за счет разности напоров между передней и тыловой гранями. Так как абсолютное давление на переднюю грань больше, чем на тыловую, то среднее давление на нижнюю грань положительное. Вследствие искривления струи потока, обтекающей частицу, на верхней ее грани образуется отжим потока с вихревой вакуумной областью и отрицательным гидродинамическим давлением.

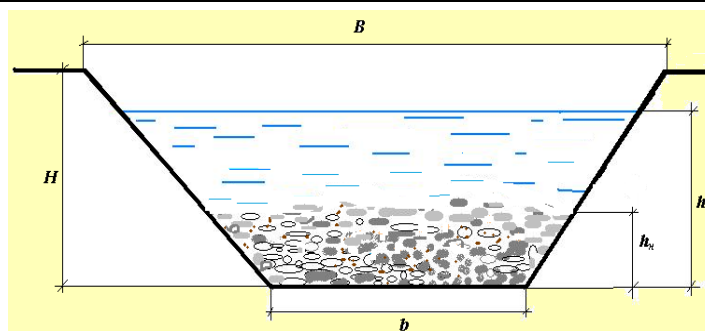


Рис. 1. Поверхностный слой частиц несвязного грунта
 Fig. 1. Surface layer of non-cohesive soil particles

Результирующее давление направлено вверх. Когда частица резко выделяется над остальными, на нее действует в основном лобовое усилие и в меньшей степени подъемное давление. Сила, с которой водный поток воздействует на частицу на дне водотока, подвержена мгновенным изменениям из-за турбулентного характера движения. Трогание частиц происходит при случайной совокупности различных факторов [3].

Для оценки устойчивости размыву несвязного грунта необходимо знать площадь, покрываемую частицами поверхностного слоя на дне. Вследствие случайного характера расположения частиц в поверхностном слое, часть проекций частиц на плоскость дна взаимно перекрываются, поэтому средняя площадь, покрываемая зерном на дне, оказывается меньше максимальной площади его сечения и приблизительно равна математическому ожиданию площади сечения зерна случайной площадью.

Вследствие предположения о статистически равномерном расположении частиц в пространстве можно полагать, что случайная величина подчиняется закону равномерной плотности. Математическое ожидание площади сечения частицы случайной плоскостью, эквивалентное средней площади, покрываемой частицей грунта на дне потока, находим по формуле математического ожидания функции случайной величины [1]:

$$\bar{S} = \int_0^{d/2} S(l) \cdot f(l) \cdot dl = \int_0^{d/2} n \left(\frac{d^2}{4} - L^2 \right) dL = \frac{\pi d^2}{6}, \quad (11)$$

Обозначив через $\varphi_{os}(d)$ плотность плоскостного распределения размеров частиц поверхностного слоя; при этом $\beta_s \varphi_{os}(d) \Delta d$ будет представлять собой долю площади, занимаемой частицами поверхностного слоя размером d на единице площади дна.

В силу принятой аналогии между несвязным грунтом и системой шаров, статистически равномерно расположенных в пространстве, эта величина, согласно принципу Кавальери-Анкера, будет равна объему частиц размера d в единице объема пространства, занятого грунтом:

$$\beta_s \varphi_{os}(d) \Delta d = \beta \varphi_o(d) \Delta d, \quad (12)$$

Интегрируя равенство (12) по всем размерам частиц:

$$\beta_s \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \varphi_{os}(d) \cdot d \cdot dd = \beta \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \varphi_o(d) \cdot d \cdot dd, \quad (13)$$

с учетом известных в теории вероятностей соотношений:

$$\int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \varphi_{os}(d) \cdot d \cdot dd = 1 \quad \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \varphi_o(d) \cdot d \cdot dd = 1$$

получаем:

$$\beta_s = \beta \quad (14)$$

Следовательно, плоскостной коэффициент сплошности укладки частиц переработанного потоком поверхностного слоя грунта равен объемному коэффициенту сплошности несвязного грунта. По данным Калинске значение β составляет в среднем 0,35, по данным Пантелло-

пулоса для щебня – 0,55, что охватывает тот же диапазон значений, в пределах которого изменяется коэффициент β .

Подстановка (12) в (14) приводит к равенству:

$$\varphi_{os}(d) = \varphi_0(d), \quad (15)$$

из которого следует, что закон плоскостного распределения размеров частиц переработанного потока поверхностного слоя русла равен закону объемного распределения размеров частиц в массиве грунта.

Выполняя интегрирование в пределах всего диапазона изменения размеров частиц, получаем:

$$\int_{d_{\min}}^{d_{\max}} d\varphi_{os}(d) \cdot \delta d = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} d\varphi_0(d) \cdot \delta d \quad (16)$$

То есть, средний диаметр частиц поверхностного слоя грунта, определяемый как средневзвешенный по площади, занимаемой частицами в поверхностном слое, в случае переработанного потоком разнородного грунта совпадает со средневзвешенным диаметром по объему частиц в массиве грунта.

Необходимость определения среднего диаметра частиц поверхностного слоя, как средневзвешенного по занимаемой частицами площади, вызвана тем, что принцип установления допускаемых неразмывающих скоростей для несвязных грунтов, основанный на равенстве напряжений срыва и сопротивляемости частиц при предельном их равновесии на дне потока, предполагает осреднение напряжений путем учета площади, занимаемой различными фракциями частиц в поверхностном слое, а не их объема.

Вследствие линейной зависимости между напряжением сопротивляемости отрыву и диаметром частиц, осреднение размеров частиц поверхностного слоя по площади дает репрезентативный диаметр смеси частиц в отношении сопротивляемости размыву поверхностного слоя грунта.

Понятие средневзвешенного по площади частиц в поверхностном слое средневзвешенного по объему в массиве грунта совпадают только в случае переработанного потоком разнородного грунта (отсутствует естественная отмостка). При наличии на поверхности русла отмостки из крупных частиц их средневзвешенный размер по объему оказывается больше средневзвешенного по занимаемой площади, что следует из математического анализа соответствующих законов распределения [11-14].

Обсуждение результатов. Как было отмечено выше, среди факторов, влияющих на параметры транспорта потоком руслоформирующих наносов при водной эрозии, одним из основных является гранулометрический состав русловых отложений, который в комплексе со статистическими характеристиками турбулентности потока определяет гранулометрический состав придонных и взвешенных наносов, а, следовательно, и твердый расход. При размыве русел на расход и гранулометрический состав транспортируемых наносов существенное влияние оказывает естественная отмостка поверхности русла крупными фракциями [1].

Разработанная методика расчета руслоформирующих наносов в турбулентном потоке апробирована на опубликованных материалах лабораторных и натурных исследований.

На рис. 2 приведено сопоставление предложенных зависимостей с экспериментальными и натурными данными, полученными по формулам других исследователей. Сопоставление с экспериментальными данными расчетных значений расхода наносов в исследованном диапазоне параметров потока и грунта дало удовлетворительные результаты.

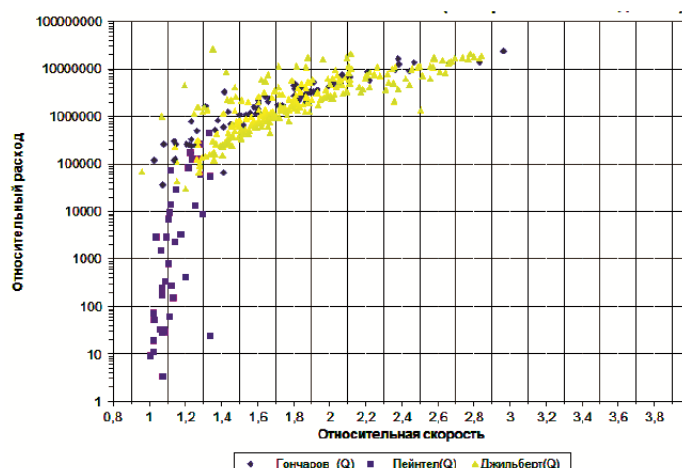


Рис. 2. Сопоставление с экспериментальными данными расчетных значений расхода

Fig. 2. Comparison with experimental data of calculated flow rates

Вывод. Основными факторами, определяющими количественные и качественные закономерности эрозионных процессов, являются: физико-механические свойства грунтов и турбулентная структура водных потоков. Разработка достоверных методов прогноза процессов водной эрозии возможна только при условии полного учета указанных выше факторов.

Среди показателей физико-механических свойств грунтов важную роль в эрозионных процессах играет гранулометрический состав поверхностного слоя грунта, непосредственно воспринимающего воздействие потока. Последний, характеризуется весовым законом распределения размеров частиц или комплексом специальных статистических характеристик: средне-взвешенным диаметром, коэффициентом однородности, позиционными диаметрами частиц и др.

Процесс водной эрозии обусловлен турбулентностью водных потоков. В эрозионных расчетах среди характеристик турбулентности обычно используются только первые моменты распределения пульсаций скорости. Задача повышения надежности эрозионных расчетов требует учета таких характеристик крупномасштабной турбулентности, как средние квадратичные отклонения, корреляционные и спектральные функции, частоты пульсаций эйлеровой и лагранжевой составляющих скорости потока, а также масштабы вихревых образований.

На основе предложенного метода моделирования и прогноза эрозионных процессов разработана методика прогноза общего размыва русел рек и каналов, сложенных однородными и неоднородными по крупности несвязными грунтами. Апробация этой методики на материале лабораторных и натурных исследований подтвердила ее удовлетворительную для практики точность в широком диапазоне гидравлических условий и гранулометрических составов грунтов.

Библиографический список:

1. Магомедова А.В. Эрозионные процессы в руслах рек и каналов. – М.: ВЗПИ, 1990. – С.88-108.
2. Алексеевский Н.И. Транспорт влекомых наносов при развитой структуре руслового рельефа // Метеорология и гидрология. 1990. № 9, с. 100-105.
3. Мирцхулава Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. М., 1967, 180 с.
4. Магомедова М.Р. Математическое моделирование движения придонных наносов в открытых руслах: Махачкала: Алеф, Овчинников М.А., 2014. – 137 с.
5. Kopalani Z.D. Problem of bed load discharge assessment in rivers. Proc. 10-th Inter Symp. on River Sedimentation. Moscow, 2007, vol. 3, pp. 175–181.
6. Bagnold R.A. Bed load transport by natural rivers // Water Recurs. Moscow, Res. 1977. 13. 2. P. 303-312.
7. Магомедова М.Р. Практическое применение авторской модели транспорта минеральных частиц // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки – 2015. – Т.37, - №2 - С.88-91.
8. By Rasmus Wiuff Transport of suspended material in open and submerged streams // Water Recurs. Moscow, 1986, vol. 5, P. 774-792.
9. Клаев А.Б., Копалиани З.Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса. – СПб.: Нестор-История, 2011. – С. 103–107.

10. Григорьян О.П., Магомедова М.Р. Имитационное математическое моделирование распространения взвешенных частиц для определения зон повышенной мутности при оценке ущерба водным биологическим ресурсам реки Черек // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки – 2016. – Т.42, – №3 – С.106-109.
11. Гончаров В.Н. Основы динамики русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 453 с.
12. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С.127-130.
13. Brian W.D., Peter F.F. Grain Size, Sediment Transport Regime, and Channel Slope in Alluvial Rivers. The Journal of Geology, 2011, vol. 106, no. 6, pp.662-673.
14. Benoit C., Magnus L.A General formula for non-cohesive bed load sediment transport. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2005, pp.251-258.
15. Магомедова М.Р. Расчетная модель движения твердых частиц в придонных турбулентных потоках // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки – 2019. – Т.46, – №2 – С.98-107.

References:

1. Magomedova A.V. Erosion processes in the channels of rivers and canals. M.: VZPI, 1990; 88-108. (In Russ)
2. Alekseevskiy N.I. Transport of traction sediments with a developed structure of the channel relief. *Meteorology and Hydrology*. 1990; 9:100-105. (In Russ)
3. Mirskhulava Ts.E. Erosion of channels and methods for assessing their stability. M., 1967;180. (In Russ)
4. Magomedova M.R. Mathematical modeling of the movement of bottom sediments in open channels: Makhachkala: Alef, Ovchinnikov M.A. 2014; 137. (In Russ)
5. Kopaliani Z.D. Problem of bed load discharge assessment in rivers. Proc. 10th International Symp. on River Sedimentation. Moscow, 2007; 3: 175–181.
6. Bagnold R.A. Bed load transport by natural rivers. *Water Recurs. Moscow, Res.* 1977; 13(2): 303-312.
7. Magomedova M.R. Practical application of the author's model of transport of mineral particles. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2015; 37(2):88-91. (In Russ)
8. By Rasmus Wiuff Transport of suspended material in open and submerged streams. *Water Recurs. Moscow*, 1986; 5: 774-792.
9. Klaven A.B., Kopaliani Z.D. Experimental studies and hydraulic modeling of river flows and channel process. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2011; 103–107. (In Russ)
10. Grigoryan O.P., Magomedova M.R. Simulation mathematical modeling of the spread of suspended particles to determine areas of increased turbidity in assessing damage to water biological resources of the Cherek River. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2016; 42(3):106-109. (In Russ)
11. Goncharov V.N. Fundamentals of channel flow dynamics. L.: Gidrometeoizdat, 1954; 453. (In Russ)
12. Rzhantsyn N.A. Channel-forming processes of rivers. L.: Gidrometeoizdat, 1985; 127-130. (In Russ)
13. Brian W.D., Peter F.F. Grain Size, Sediment Transport Regime, and Channel Slope in Alluvial Rivers. The Journal of Geology, 2011;106: 662-673.
14. Benoit C., Magnus L.A General formula for non-cohesive bed load sediment transport. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2005; 251-258.
15. Magomedova M.R. Calculation model of the movement of solid particles in near-bottom turbulent flows. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 201; 46(2):98-107. (In Russ)

Сведения об авторе:

Магомедова Милада Руслановна, кандидат технических наук, доцент, декан факультета нефти, газа и природообустройства; n-guseinova@mail.ru

Information about author:

Milada R. Magomedova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Dean of the Faculty of Oil, Gas and Environmental Engineering; n-guseinova@mail.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 02.10.2021.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 06.11.2021.

Принята в печать/Accepted for publication 08.11.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 004.05

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-123-132

Оригинальная статья /Original Paper

**Моделирование процесса поиска оперативно значимой информации
из открытых государственных информационных ресурсов**

Е.Ю. Никулина, Л.А. Обухова, Е.А. Рогозин

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

Резюме. Цель. Целью исследования является повышение эффективности мероприятий по выявлению, расследованию и раскрытию правонарушений и преступлений на основе анализа ресурсов сети Интернет на предмет выявления и структуризации пригодной для интеллектуального анализа информации; выявить взаимосвязи между категориями данных, разработать модель получения оперативно значимой информации из открытых государственных информационных ресурсов. **Метод.** Исследование основано на применении статистического анализа для описания общей структуры информации о физическом лице, размещенной в официальных государственных информационных ресурсах. Категоризованный список актуальных веб-ресурсов, содержащих оперативно значимую информацию о лице или предмете преступления, составлен на основании экспертных оценок сотрудников органов внутренних дел. Для определения взаимосвязей между категориями данных использован графоаналитический метод исследования потоков информации, построена графовая модель получения оперативно значимой информации из открытых государственных информационных ресурсов. **Результат.** Представлены результаты анализа ресурсов сети Интернет на предмет выявления пригодной для интеллектуального анализа информации, проведена их структуризация, выявлены взаимосвязи между категориями данных, разработана модель получения оперативно значимой информации из открытых государственных информационных ресурсов. **Вывод.** Проведенный системный анализ государственных информационных ресурсов сети Интернет позволил выявить взаимосвязи между категориями данных и использовать их для получения оперативно значимой информации из открытых государственных информационных ресурсов. На практике построенная модель может быть использована для оптимизации нечеткого поиска. Для решения поставленной задачи представляется возможным применение нейронных сетей Кохонена или алгоритмов Хемминга. Аппарат нейронных сетей позволит определить закономерностей и оптимизировать поиск оперативно значимой информации.

Ключевые слова: открытые государственные информационные ресурсы, взаимосвязи между категориями данных, оперативно значимая информация, графоаналитический метод

Для цитирования: Е.Ю. Никулина, Л.А. Обухова, Е.А. Рогозин. Моделирование процесса поиска оперативно значимой информации из открытых государственных информационных ресурсов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4): 123-132. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-123-132

**Modeling the process of searching for operationally significant information
from open state information resources**

E.Yu. Nikulina, L.A. Obukhova, E.A. Rogozin

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 increase the effectiveness of measures to identify, investigate and disclose offenses and crimes based on the analysis of Internet resources in order to identify and structure information suitable for intellectual analysis; identify relationships be-

tween data categories, develop a model for obtaining operationally significant information from open government information resources. **Method.** The study is based on the use of statistical analysis to describe the general structure of information about an individual posted in official state information resources. A categorized list of relevant web resources containing operationally significant information about a person or subject of a crime is compiled on the basis of expert assessments of law enforcement officers. To determine the relationships between data categories, a graphical-analytical method for studying information flows was used, and a graph model for obtaining operationally significant information from open state information resources was built. **Result.** The results of the analysis of Internet resources in order to identify information suitable for intellectual analysis are presented, their structuring is carried out, relationships between data categories are identified, and a model for obtaining operationally significant information from open state information resources is developed. **Conclusion.** The conducted system analysis of the state information resources of the Internet made it possible to identify the relationship between the categories of data and use them to obtain operationally significant information from open state information resources. In practice, the constructed model can be used to optimize fuzzy search. To solve this problem, it seems possible to use Kohonen neural networks or Hamming algorithms. The apparatus of neural networks will allow you to determine patterns and optimize the search for operationally significant information.

Keywords: open government information resources, relationships between data categories, operationally significant information, graphic-analytical method

For citation: E.Yu. Nikulina, L.A. Obukhova, E.A. Rogozin. Modeling the process of searching for operationally significant information from open state information resources. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (4): 123-132. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-123-132

Введение. В настоящее время объемы данных, представленных в государственных и негосударственных информационных ресурсах сети Интернет, растут в геометрической прогрессии. Для обработки стремительно растущих массивов различных по форме и представлению видов данных требуются большие объемы ресурсов и более сложные программные решения. Размещенная открытая информация касается разнообразных областей деятельности юридических и физических лиц. Поэтому мониторинг государственных и негосударственных информационных ресурсов, размещающих открытую информацию, особенно важен при выявлении оперативно значимой информации. Однако в настоящее время перечень таких информационных ресурсов отсутствует. Поэтому проведение исследований в данной области приобретают особую актуальность. Как следствие, разработка и реализация алгоритмов обработки и анализ разнообразных по форме представления больших объемов информации, позволит повысить эффективность мероприятий по выявлению, расследованию и раскрытию правонарушений и преступлений.

В статье представлены результаты анализа ресурсов сети Интернет на предмет выявления пригодной для интеллектуального анализа информации, проведена их структуризация, выявлены взаимосвязи между категориями данных, разработана модель получения оперативно значимой информации из открытых государственных информационных ресурсов.

Постановка задачи. На текущий момент сотрудниками правоохранительных органов для получения оперативно значимой информации все чаще используются различные информационные источники данных: средства массовой информации, автоматизированные информационные системы специального назначения, веб-ресурсы глобальной сети Интернет и др. В частности, в сети Интернет размещены сведения, опираясь на которые сотрудники предварительного следствия органов внутренних дел могут получить информацию о правонарушениях отдельных лиц и организаций, а также о противозаконных действиях отдельных лиц. Поэтому интенсификация информационного потока на сегодняшний день позволяет воспринимать Интернет как особый инструмент поиска информации, а не только, как технологический инструмент информационной системы.

Однако существует ряд проблем, связанных с использованием информации, размещенной на веб-ресурсах с открытым доступом. С одной стороны, не все открытые источники информации содержат актуальную и достоверную информацию, что не позволяет использовать ее в качестве доказательной базы при раскрытии и расследовании преступлений. Решением данной проблемы может стать использование информации, размещаемой на официальных веб-ресурсах ведомственных служб и организаций, с помощью которых могут быть установлены неизвестные следствию факты и сведения.

С другой стороны, проблема использования таких информационных источников заключается в значительном объеме разрозненных, логически не связанных между собой данных, что усложняет процесс поиска той информации, которая может быть актуальна на момент расследования правонарушения или преступления.

Сотрудники предварительного следствия органов внутренних дел, используя ресурсы сети Интернет, в ходе проведения поисково-разыскной работы выделяют исходную и розыскную информацию [1]. Исходные данные включают в себя информацию, полученную следователем письменно или устно:

- в результате проведенного первоначального следственного осмотра или опроса;
- в результате оформления предварительных показаний потерпевших и свидетелей;
- в результате оперативно-розыскных мероприятий органов следствия и дознания;
- в результате аналитической обработки информации, полученной из интернет-ресурсов,
- из медицинских учреждений и иных организаций, владеющих информацией о лицах и событиях в силу профессиональной деятельности.

Исходные данные становятся базой для проведения поисково-разыскной работы сотрудниками предварительного следствия. Информацию, содержащуюся в исходных данных, можно характеризовать как доказательственную или ориентирующую.

Розыскная информация содержит результаты, полученные органами расследования в ходе следствия. К такому виду информации относится и информация, полученная из Интернета, но в отличие от исходных сведений, розыскные должны быть правдоподобными и актуальными, что могут гарантировать лишь официальные государственные источники данных. Решением вопроса актуальности и достоверности информации является использование государственных информационных систем.

Анализ существующих информационных веб-ресурсов показал, многие из них содержат информацию о физических лицах, которая может быть использована при раскрытии и расследовании различных правонарушений и преступлений. Однако в настоящее время отсутствует перечень таких информационных систем.

Поэтому в ходе работы рассматривались только те системы, в которых содержится достоверная информация, т.е. государственные информационные системы, содержащие официальную информацию, размещаемую на официальных государственных информационных ресурсах.

Методы исследования. Согласно Федеральному закону от 27 июля 2006 г. № 149 «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» под государственными информационными системами подразумеваются федеральные и региональные информационные системы, созданные на основании соответственно федеральных законов, законов субъектов РФ, правовых актов государственных органов [2, 3].

Выберем в качестве объекта исследования физическое лицо, а также предметы или происшествия, связанные с ним. В ходе проведения структурного анализа открытой информации о

физическом лице определим общие сущности и атрибуты, характеризующие лицо по всем сферам жизнедеятельности [3-10].

В поисковых системах, связанных с индивидуальным налоговым номером физического лица, выделим сущность «Индивидуальный номер налогоплательщика», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Серия ИНН», «Номер ИНН», «Фамилия», «Имя», «Отчество», «Дата рождения», «Место рождения», «Вид документа, удостоверяющего личность», «Серия и номер документа», «Дата выдачи документа».

В поисковой системе, связанной с вопросами миграции, выделим:

- сущность «Запрет на въезд в Российскую Федерацию», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Фамилия», «Имя», «Отчество», «Пол», «Дата рождения», «Гражданство», «Тип документа», «Номер документа», «Дата действительности документа», «Выдавшая страна или организация»;

- сущность «Разрешение на работу», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Вид разрешения», «Серия», «Номер», «Серия бланка документа», «Вид деятельности лица», «Номер паспорта лица»;

- сущность «Разрешение на въезд в РФ», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Номер приглашения», «Серия бланка», «Номер бланка».

В поисковой системе, связанной с вопросами недвижимости, выделим:

- сущность «Объект недвижимости», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Субъект РФ», «Район», «Город», «Населённый пункт», «Элемент планировочной структуры», «Улица», «Номер здания», «Код ОКТМО», «Тип дома», «Способ управления», «Состояние», «Кадастровый номер»;

- сущность «Объект ЕГРН», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Тип объекта», «Кадастровый номер», «Условный номер», «Регион», «Район», «Город», «Населённый пункт», «Улица», «Дом», «Строение», «Корпус», «Квартира».

В поисковой системе, связанной с автотранспортными средствами, выделим:

- сущность «Водитель», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Серия», «Номер» и «Дата выдачи» свидетельства на транспортное средство;

- сущность «Регистрация транспортного средства», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «VIN», «Номер кузова» и «Номер шасси» транспортного средства;

- сущность «Транспортное средство», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Государственный знак» и «Свидетельство».

В поисковой системе, позволяющей получить информацию о физических лицах, находящихся в розыске, выделим:

- сущность «Розыск МВД», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Фамилия», «Имя», «Отчество»; «Год», «Месяц», «День» рождения;

- сущность «Розыск ФСИН», которая характеризуется следующим набором атрибутов: «Регион», «ФИО».

Указанные взаимосвязи сущностей информационных объектов физических лиц выявлены путем выделения идентичных параметров (атрибутов) различных сущностей. При этом атрибуты сущностей определялись из веб-интерфейса соответствующего информационного ресурса.

На основании экспертных оценок составим следующий категоризованный список актуальных на сегодняшний день информационных систем (веб-ресурсов), содержащих оперативно значимую информацию о лице или предмете правонарушения (преступления), сгруппированных по различным аспектам (категориям) жизнедеятельности физических лиц (табл.1).

Таблица 1. Перечень актуальных информационных систем (веб-ресурсов)
Table 1. List of current information systems (web resources)

№ п.п.	Категория/Category	Веб-ресурс/ Web resource
1	Социальные сети. Social networks.	https://duckduckgo.com/ https://findclone.ru/ http://220vk.com
2	Новостные источники, представленные в сети Интернет, архивные СМИ открытого доступа. News sources presented on the Internet, archival open access media	http://www.findsmi.ru/ http://www.compromat.ru/ http://rucompromat.com/
3	Поисковые системы, позволяющие получить информацию о юридических лицах, индивидуальных предпринимателях, физических лицах, налогах, бухгалтерской отчетности, задолженности по налогам, лицензиях на виды деятельности. Search engines that allow you to get information about legal entities, individual entrepreneurs, individuals, taxes, financial statements, tax debts, licenses for activities.	https://service.nalog.ru/ https://www.rusprofile.ru/ https://zachestnyibiznes.ru/ https://fedresurs.ru/company/ https://znaemvseh.ru/ https://www.vestnik-gosreg.ru/publ/vgr/ http://www.centerdolgov.ru/ https://www.gks.ru/accounting_report https://pb.nalog.ru/ https://egrul.nalog.ru/ https://www.rusprofile.ru
4	Поисковые системы кадастровой регистрации объектов недвижимости. Search systems for cadastral registration of real estate objects.	http://rosreestr.gov.ru https://dom.gosuslugi.ru/#!/houses/ https://egrn365.ru
5	Поисковые системы индивидуального налогового номера физического или юридического лица. Search engines for the individual tax number of a natural or legal person.	https://nalog-ru.com/inn https://www.nalog.ru/rn77/service/invalid_cert/ www.tinkoff.ru/inn
6	Поисковые системы задолженностей физических и юридических лиц по ИНН. Search systems for debts of individuals and legal entities by TIN.	https://npd.nalog.ru/check-status/ https://peney.net/ https://old.a-3.ru/pay_taxes https://money.yandex.ru/taxes/
7	Проверка действительности паспорта по паспортным данным на момент запроса. Checking the validity of the passport according to the passport data at the time of the request.	http://services.fms.gov.ru/info-service.htm?sid=2000 https://proverk.ru/passport/ http://services.fms.gov.ru/info-service.htm?sid=2000
8	Поисковые системы, связанные с автотранспортными средствами. Search engines related to motor vehicles.	https://xn--90adear.xn--p1ai/check/ https://гибдд.пф/check https://www.eaisto.info/ https://avinfotelegraph.com
9	Телефонные справочники, объявления о продаже/утере номерных вещей. Telephone directories, advertisements for the sale/loss of licensed items.	http://get-contact.ru/ https://www.imei.info/ https://numbuster.com/ru/ https://sndeep.info/lostolen https://www.oxygensoftware.ru долго, платный https://smspilot.ru/test.php?type=hlr https://smsc.ru/testhlr/?SE=c6a65a8a https://spravnik.com/ https://xinit.ru/bs/ https://www.kody.su/city/ https://www.spravportal.ru
10	Поисковые системы, справочники абонентских номеров и прочая информация о пользователе сети Интернет (физический адрес устройства, IP-адрес, провайдер, домен и т.п.). Search engines, directories of subscriber numbers and	www.2ip.ru/whois/ https://www.wservice.info/ http://whoishistory.ru/ http://whoishistory.ru/ https://mailtester.com/testmail.php

№ п.п.	Категория/Category	Веб-ресурс/ Web resource
	other information about the Internet user (physical address of the device, IP address, provider, domain, etc.).	https://xinit.ru https://www.shodan.io https://iplocation.com
11	Справочные системы контролирующих государственных органов (Роснадзор и пр.). Reference systems of controlling state bodies (Rosnadzor, etc.)	http://roszdravnadzor.ru/services/licenses http://roszdravnadzor.ru/services/licenses https://www.russiatourism.ru/operators/ https://fsa.gov.ru/use-of-technology/elektronnye-reestr/ https://public.fsrar.ru/checkmark/
12	Информация об образовании и научной деятельности физического лица. Information about the education and scientific activity of an individual.	https://elibrary.ru/ http://obrnadzor.gov.ru/ru/activity/main_directions/reestr_of_education/ https://scholar.google.ru https://www.mmnt.ru/
13	Поисковые системы, позволяющие получить информацию от правоохранительных и надзорных органов в отношении юридических и физических лиц, находящихся в розыске. Search engines that allow you to obtain information from law enforcement and supervisory authorities regarding legal entities and individuals who are wanted.	https://мвд.пф/wanted/ http://fsin.su/criminal/ http://fssprus.ru/iss/suspect_info/ http://eais.rkn.gov.ru/ https://www.interpol.int/How-we-work/Notices/View-Red-Notices/ http://www.fedsfm.ru/documents/terr-list/ https://genproc.gov.ru/anticor/register-of-illegal-remuneration/
14	Справочные системы Федеральной таможенной службы. Reference systems of the Federal Customs Service.	http://customs.ru/cars?vin=/ http://customs.ru/checkpoints/ http://customs.ru/servisy-i-reestr-bazy-dannyx/ http://www.tks.ru/db
15	Поисковые системы проверки сведений о физическом лице, связанных с вопросами миграции. Search engines verify information about an individual related to migration issues.	https://мвд.пф/сервисы-гувм https://proverk.ru/passport/ http://services.fms.gov.ru/info-service.htm?sid=2060
16	Сведения о ведении судебного и исполнительного делопроизводства в отношении физического или юридического лица. Information on the conduct of judicial and executive proceedings in relation to an individual or legal entity.	https://bsr.sudrf.ru/bigs/portal.html http://sudact.ru/ http://судебныерешения.пф/ http://kad.arbitr.ru/ https://pristav-russia.ru/services/fssp-proverka-zadolzhennosti.html http://fssprus.ru/iss/ip https://www.reestr-zalogov.ru/search/index http://bankrot.fedresurs.ru/ https://zalog.lot-online.ru/ http://lawyers.minjust.ru/ExcludeCertificates
17	Открытые сведения, предоставляемые банками, кредитными организациями и т.п. Public information provided by banks, credit institutions, etc.	www.fraudassets.com https://check-bin.com/ru/ https://psm7.com/bin-card/ https://karta-banka.ru/ https://finanso.com/ru/bin-search

Как видно из приведенного выше перечня информационных систем, с помощью Интернета можно получать необходимую оперативно значимую информацию в целях повышения эффективности мероприятий по выявлению, расследованию и раскрытию правонарушений и преступлений.

Применим графоаналитический метод исследования потоков информации и представим взаимосвязи между категориями данных, содержащихся в различных государственных информационных ресурсах, в виде взвешенного раскрашенного ациклического графа [11-22].

Для построения графовой модели будем использовать $G = (V, E, P, T)$, где V – множество категорий; $E \subset V \times V$ – отношение частичного порядка на множестве категорий; P – вершины,

различные по цветам и категориям; T – веса вершин, определяемые ценностью полученной информации и затраченным на это временем.

Для решения задачи поиска оперативно значимой информации в различных государственных информационных ресурсах опишем: множество категорий, содержание которых определено предметной областью; отношения частичного порядка на множестве категорий; цвета вершин, соответствующие функциональным возможностям узлов, и их названия, соответствующие определенным категориям графа; веса вершин.

Цвет определяет порядок функционирования и назначение вершины.

Определим информационные (нераскрашенные) и функциональные (раскрашенные) вершины.

Информационными вершинами графа (Z_i) будем считать выделенные в ходе анализа категории различных информационных ресурсов, где $i = \overline{1, 17}$ – количество информационных вершин графа.

Вершина графа (Z_i) включает в себя различные открытые информационные ресурсы (сайты (S_j), где j – количество URL-адресов сайтов, составляющих вершину Z_i). Поэтому определим структуру информационной вершины графа как $Z_i = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_j\}$. Для различных информационных вершин количество URL – адресов может быть разным.

Сайт S_j в свою очередь может иметь одно/несколько вложений (направлений поиска) на которых расположены обязательные/не обязательные поля ввода информации для организации поискового запроса (входные атрибуты).

Также сайты отличаются между собой и количеством выходных атрибутов. Обозначим n – количество вложений для каждого сайта, m_{in} – количество входных атрибутов сайта, m_{out} – количество выходных атрибутов сайта. Каждый сайт опишем как

$$S_j = \{\alpha, \tau\}, \quad (1)$$

где α – ценность, полученной на сайте информации,
 τ – время доступа к сайту.

Для оценки ценности информации используем семантический показатель, основанный на оценке релевантности между всеми выданными поисковой системой документами и запросом. Будем считать ценность информации величиной, соответствующей точности выдачи информации (TV), которая в свою очередь определяется [1] как:

$$TV = \frac{q}{q+b} * 100\%, \quad (2)$$

где q – множество релевантных и выданных системой документов,
 b – множество нерелевантных, но выданных системой документов.

С учетом количества выходных атрибутов сайта будем считать

$$\alpha = \frac{q}{q+b} * 100\% * m_{out}. \quad (3)$$

Время работы с сайтом прямо пропорционально количеству вложений (направлений поиска) сайта, а также количеству входных атрибутов сайта.

Поэтому,

$$\tau = t * n * m_{in}, \quad (4)$$

где t – время, затрачиваемое на заполнение одного поля ввода (входного атрибута).

Вес вершины Z_i можно описать с помощью характеристик α и τ , таким образом получим $Z_i = [\sum \alpha_i; \sum \tau_i]$. При этом лучшей по качественным характеристикам для поиска оперативно значимой информации будем считать вершину для которой $Z_i = \left\{ \begin{matrix} \sum \alpha_i \rightarrow \max \\ \sum \tau_i \rightarrow \min \end{matrix} \right.$.

Функциональными (раскрашенными) будем считать вершины a, b, c, d , на которых пользователь принимает решение о переходе к следующему уровню поиска или возврату на – предыдущий. Такое решение принимается исходя из оценки достаточности ценности полученной на уровне информации.

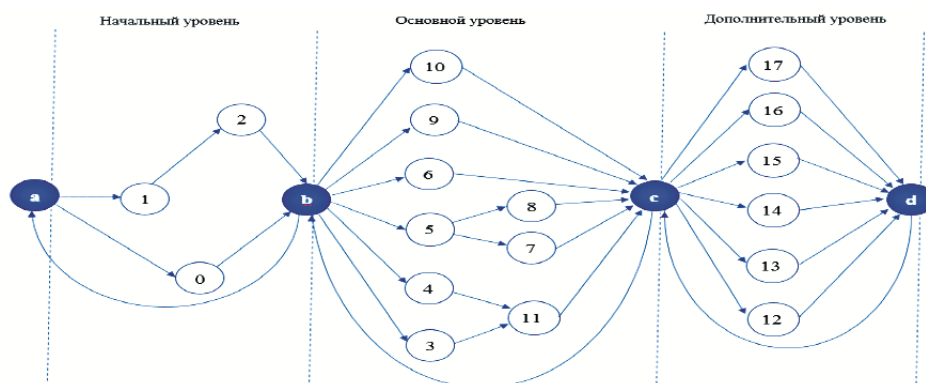


Рис. 1. Графовая модель поиска оперативно значимой информации в различных государственных информационных ресурсах

Fig. 1. Graph model of search for operationally significant information in various state information resources

Обсуждение результатов. По нашему мнению, наибольший интерес для выявления, расследования и раскрытия правонарушений и преступлений может представлять информация из больших массивов данных государственных информационных систем, связанная с индивидуальным налоговым номером, автотранспортом, паспортными данными, объектами недвижимости физических лиц, их налогами и задолженностями, а также информация об иностранных гражданах и лицах без гражданства.

В связи с этим, из предложенного категоризованного списка информационных систем выберем только государственные, в которых содержится наиболее актуальная для правоохранительных органов информация о физическом лице, с указанием принадлежности информационной системы государственной службе или организации:

1) поисковые системы индивидуального налогового номера физического лица (основным источником данных является сервис Федеральной налоговой службы РФ);

2) поисковые системы проверки сведений о физическом лице, связанных с вопросами миграции (основным источником данных являются сервисы Главного управления по вопросам миграции МВД России);

3) поисковые системы кадастровой регистрации объектов недвижимости (основными источниками данных являются сервисы Росреестра и Единого портала государственных услуг РФ);

4) поисковые системы, связанные с автотранспортными средствами физических лиц (основным источником данных являются поисковые сервисы Госавтоинспекции);

5) поисковые системы, позволяющие получить информацию от правоохранительных и надзорных органов в отношении юридических и физических лиц, находящихся в розыске (основными источниками данных являются официальные сайты МВД России, Федеральной службы исполнения наказания и Федеральной службы судебных приставов).

При использовании таких систем не возникает вопроса о достоверности информации, она представлена на официальных сайтах государственных служб и организаций, что гарантирует ее актуальность и достоверность. Проблема заключается в том, что эти информационные системы не связаны между собой, следовательно, получить полную информацию о жизнедеятельности физического лица, используя только один информационный ресурс, не представляется возможным.

В связи с этим возникает необходимость детального исследования значительных массивов данных, содержащихся в различных информационных системах, в целях получения всесторонней оперативно значимой информации об объекте исследования.

В дальнейшем физическое лицо как объект исследования в деятельности правоохранительных органов будем трактовать как информационный объект, а также определим множество физических лиц как предметную область, описанную в различных государственных информа-

ционных системах. Массив информации, относящейся к отдельно взятой сфере жизнедеятельности физического лица (информационного объекта), определим как его сущность.

С другой стороны, каждый аспект (сферу) жизнедеятельности физического лица можно описать с помощью набора специфических параметров, которые в нашем случае будут выступать атрибутами информационных объектов. Таким образом, конечный набор атрибутов качественно описывает сущность информационного объекта.

Вывод. Системный анализ государственных информационных ресурсов сети Интернет позволил выявить взаимосвязи между категориями данных и использовать их для получения оперативно значимой информации из открытых государственных информационных ресурсов. На практике построенная модель может быть использована для оптимизации нечеткого поиска. Для решения поставленной задачи представляется возможным применение нейронных сетей Кохонена или алгоритмов Хемминга. Аппарат нейронных сетей позволит определить закономерностей и оптимизировать поиск оперативно значимой информации.

Библиографический список:

1. Ишин А.М. Современные проблемы использования сети Интернет в расследовании преступлений // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. Вып. 9. С. 116–123.
2. Об информации, информационных технологиях и о защите информации : федер. закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (ред. от 13.07.2015) // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2006. – №31 (1ч.). – Ст. 3448.
3. О персональных данных : федер. закон от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ (ред. от 21.07.2014) // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2006. – №31 (1ч.). – Ст. 3451.
4. Гасанов Э. Э. Теория сложности информационного поиска. М.: Изд-во механико-математического ф-та МГУ, 2005.
5. Емельченков Е. П., Киселева О. М. О представлении предметных областей с помощью семантических сетей // NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 2. № 42. – С. 17 – 23.
6. Козлов С.В. Использование соответствия Галуа как инварианта отбора контента при проектировании информационных систем // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2015. Т. 2. № 11. С. 220-225.
7. Козлов С. В. Математические аспекты выбора оптимального набора тестовых заданий индивидуального теста // Психология, социология и педагогика. 2014. № 9 (36) [Электронный ресурс]. URL: <http://psychology.snauka.ru/2014/09/3603> (дата обращения: 07.10.2014).
8. Козлов С. В. Применение соответствия Галуа для анализа данных в информационных системах // Траектория науки. – 2016. – Т. 2. № 3 (8). – С. 18.
9. Кудрявцев В. Б., Гасанов Э. Э., Подколзин А. С. Введение в теорию интеллектуальных систем. – М.: Изд-во ф-та ВМиК МГУ, 2006.
10. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов: Учебное пособие для высших учебных заведений. – Изд.2-е, перераб. и доп. - М.: Логос, 2001. – 296 с.
11. Кучеренко Н. С. Сложность поиска идентичных объектов для случайных баз данных // Интеллект. сист. – 2007. – Т. 11, № 1-4. – С. 495–516.
12. Гасанов Э. Э. Функционально-сетевые базы данных и сверхбыстрые алгоритмы поиска. – М.: Изд. центр РГТУ, 1997.
13. Гасанов Э. Э. Информационно-графовая модель в теории баз данных // Математические вопросы кибернетики. Вып. 10 – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – С.225 – 234.
14. Гасанов Э. Э. Информационно-графовая модель хранения и поиска данных. Интеллектуальные системы (1998) 3, № 3-4, 163 – 192.
15. Гасанов Э. Э. Мгновенно решаемые задачи поиска. Дискретная математика (1996) 8, № 3, 119 –134.
16. Козлов С. В. Интерпретация инвариантов теории графов в контексте применения соответствия Галуа при создании и сопровождении информационных систем //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – № 7. С. 38-44.
17. Никулина Е.Ю. Декомпозиция графовых моделей информационных систем // Вестник Воронежского института МВД России. – 2009. – № 4. – С. 126 – 131.
18. Никулина Е.Ю. Использование графовой модели для решения общей задачи теории расписаний // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2009. – №5. – С. 41-43.
19. Никулина Е.Ю. Разработка модели выбора вариантов модернизации распределенной информационной системы ОВД – Вестник Воронежского института МВД России. – Воронеж: Воронежский институт МВД России. – №4. – 2007. – С. 156-160.
20. Силев В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М. : ИНФО-ПРЕСС, 1995. – 228 с.
21. Харина А. А. О сведении нечёткого информационного поиска к информационному поиску большей размерности // Интеллект. сист. – 2005. – Т. 9, № 1-4. – С. 57–76.
22. Шуткин Ю. С. Синтез информационных графов для предполных классов булевых функций // Интеллект. сист. – 2007. – Т. 11, № 1-4. – С. 689–604.

References:

1. Ishin A.M. Modern problems of using the Internet in the investigation of crimes. [Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta]. *Bulletin of the Baltic Federal University*. 2013; 9: 116–123. (In Russ)
2. About information, information technologies and information protection: Feder. Law of July 27, 2006 No. 149-FZ (as amended on July 13, 2015). Collected. legislation Ros. Federation. 2006; 31 (1). Art. 3448. (In Russ)

3. About personal data: feder. Law of July 27, 2006 No. 152-FZ (as amended on July 21, 2014). Collected. legislation Ros. Federation. 2006; 31(1). Art. 3451. (In Russ)
4. Gasanov Je. Je. Complexity theory of information retrieval. M.: Publishing House of the Mechanics and Mathematics Faculty of Moscow State University, 2005. (In Russ)
5. Emelchenkov E. P., Kiseleva O. M. On the representation of subject areas using semantic networks. NovaInfo.Ru. 2016; 2(42): 17 - 23. (In Russ)
6. Kozlov S. V. Using the Galois correspondence as a content selection invariant in the design of information systems. [Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie]. *Modern information technologies and IT education*. 2015; 2. (11): 220-225. (In Russ)
7. Kozlov S. V. Mathematical aspects of choosing the optimal set of test tasks for an individual test. *Psychology, sociology and pedagogy*. 2014. No. 9 (36) [Electronic resource]. URL: <http://psychology.snauka.ru/2014/09/3603>.
8. Kozlov S. V. Application of the Galois correspondence for data analysis in information systems. [Traektorija nauki] *Trajectory of Science*. 2016; 2(3) (8): 18. (In Russ)
9. Kudrjavcev V. B., Gasanov Je. Je., Podkolzin A. S. Introduction to the theory of intelligent systems. M.: Publishing house of the faculty of VMIK MGU, 2006. (In Russ)
10. Plotinskij Ju.M. Models of social processes: Textbook for higher educational institutions. Ed.2nd, revised. and additional. M.: Logos, 2001; 296. (In Russ)
11. Kucherenko N. S. Complexity of searching for identical objects for random databases [Intellektual'nye sistemy]. 2007; 11(1-4): 495–516. (In Russ)
12. Gasanov Je. Je. Funkcional'no-setevye bazy dannyh i sverhbystrye algoritmy poiska. M.: Izd. centp RGGU, 1997. (In Russ)
13. Gasanov Je. Je. Information-graph model in database theory [Matematicheskie voprosy kibernetiki] *Mathematical issues of cybernetics*. 2001; 10: 225 – 234. (In Russ)
14. Gasanov Je. Je. Information-graph model of data storage and retrieval. [Intellektual'nye sistemy] *Intelligent Systems* 1998; 3(3-4): 16– 192. (In Russ)
15. Gasanov Je. Je. Instantly Solvable Search Problems. [Diskretnaja matematika] *Discrete Mathematics*. 1996; 8(3): 119 –134. (In Russ)
16. Kozlov S. V. Interpretation of graph theory invariants in the context of the application of the Galois correspondence in the creation and maintenance of information systems. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016; 4(7): 38-44. (In Russ)
17. Nikulina E.Ju. Decomposition of graph models of information systems. [Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii] *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2009; 4: 126 – 131. (In Russ)
18. Nikulina E.Ju. The use of a graph model for solving a general problem of scheduling theory [Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tehnologij] *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2009; 5: 41-43. (In Russ)
19. Nikulina E.Ju. Development of a model for choosing options for upgrading a distributed information system of internal affairs . Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia [Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii]. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. Voronezh: Voronezhskij institut MVD Rossii. 2007; (4): 156-160. (In Russ)
20. Silov V. B. Making strategic decisions in a fuzzy environment. *INFO-PRESS*. 1995; 228. (In Russ)
21. Harina A.A. On the reduction of fuzzy information retrieval to higher-dimensional information retrieval. [Intellektual'nye sistemy] *Intelligent Systems*. 2005; 9(1-4): 57–76. (In Russ)
22. Shutkin Ju. S. Synthesis of Information Graphs for Precomplete Classes of Boolean Functions.[Intellektual'nye sistemy] *Intelligent Systems*. 2007; 11, (1-4):. 689–604. (In Russ)

Сведения об авторах:

Никулина Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; nikeu@mail.ru

Обухова Людмила Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; obuhova.lyudmila@bk.ru

Рогозин Евгений Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; evgenirogozin@yandex.ru

Information about the authors:

Ekaterina Yu. Nikulina, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; nikeu@mail.ru

Lyudmila A. Obukhova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; obuhova.lyudmila@bk.ru

Evgeny A. Rogozin, Dr. Cand. Sci. (Eng.), Prof., Prof., Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; evgenirogozin@uandex.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 30.09.2021.

Поступила после рецензирования/ Revised 25.10.2021.

Принята в печать/Accepted for publication 26.10.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 621.3: 004.05

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-133-138

Обзорная статья/ Review Article

Верификация вычислительного процесса корпоративной информационной системы

В.И. Поляков, Ф.Ф. Зиннатулин

Национальный исследовательский университет ИТМО,
197101, Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, 49, Россия

Резюме. Цель. В статье рассматривается вопрос верификации вычислительного процесса корпоративной информационной системы. Целью исследования является верификация вычислительного процесса корпоративной информационной системы. **Метод.** Методом верификации вычислительного процесса корпоративной информационной системы является графоаналитическая модель и программная модель вычислительного процесса. **Результат.** Результатом является успешная верификация вычислительного процесса корпоративной информационной системы. **Вывод.** Вычислительный процесс корпоративной информационной системы может быть верифицирован с помощью графоаналитической и программной моделей. Представлен процесс верификации вычислительного процесса корпоративной информационной системы на примере корпоративной информационной системы 1С: Предприятие. Вычислительный процесс проходит через архитектуру корпоративной информационной системы и выполняет поставленные задачи.

Ключевые слова: корпоративная информационная система, вычислительный процесс, архитектура, верификация, программная модель

Для цитирования: В.И. Поляков, Ф.Ф. Зиннатулин. Верификация вычислительного процесса корпоративной информационной системы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4): 133-138. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-133-138

Verification of the computing process of the corporate information system

V.I. Polyakov, F.F. Zinnatulin

Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics
49 Kronverksky Ave., Saint Petersburg 197101, Russia

Abstract. Objective. The article discusses the issue of verifying the computing process of a corporate information system. The purpose of the article is to verify the computing process of a corporate information system. **Method.** The method of verifying the computational process of a corporate information system is a graphic-analytical model and a software model of the computational process. **Result.** The result is a successful verification of the computing process of the corporate information system. **Conclusion.** The conclusion of the article is that the computational process of a corporate information system can be verified using graphic-analytical and software models. The process of verification of the computing process of a corporate information system is presented on the example of a corporate information system 1C: Enterprise. The computational process goes through the architecture of the corporate information system and performs its tasks.

Keywords: corporate information system, computing process, architecture, verification, software model

For citation: V.I. Polyakov, F.F. Zinnatulin. Verification of the computing process of the corporate information system. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48(4): 133-138. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-133-138

Введение. В настоящее время растущее влияние информационных технологий в обществе требует интеграции программных комплексов, их данных и метаданных, созданных на основе различных концепций, методологий, моделей и подходов, унификация которых не была получена ни ведущими компаниями-разработчиками ПО (Microsoft, IBM, Oracle, SAP, BEA и др.), ни крупными научными коллективами [1].

Проблема анализа качества аппаратного и программного обеспечения становится сегодня все более острой, особенно по мере расширения использования информационных технологий и нанотехнологий в приборостроении [2, 3].

Как известно, информационные системы - это и программное обеспечение, которое выполняет задачи компании, и среда реализации бизнес-функций, и инструмент обеспечения взаимодействия с хранимым объемом данных в компании. Корпоративные информационные системы (КИС) составляют важную часть программного обеспечения, интегрированы в контур программной инфраструктуры, реализованной в компании.

Постановка задачи. Структура Корпоративных информационных систем (КИС) представляет собой главные функциональные элементы, которые решают задачи КИС для обеспечения выполнения требований к самой КИС. Функциональные элементы КИС состоят из:

1. Блока обеспечения обработки входных данных пользователя.
2. Блока обеспечения вывода информации пользователю.
3. Блока получения входных данных от пользователя.
4. Блока предобработки данных для хранения в базе данных.
5. Блока хранения данных в базе данных.
6. Блока получения и сохранения пользовательских данных в базе данных.
7. Блока резервного копирования данных.

Графическая схема блоков представлена на рис. 1 и рис. 2.

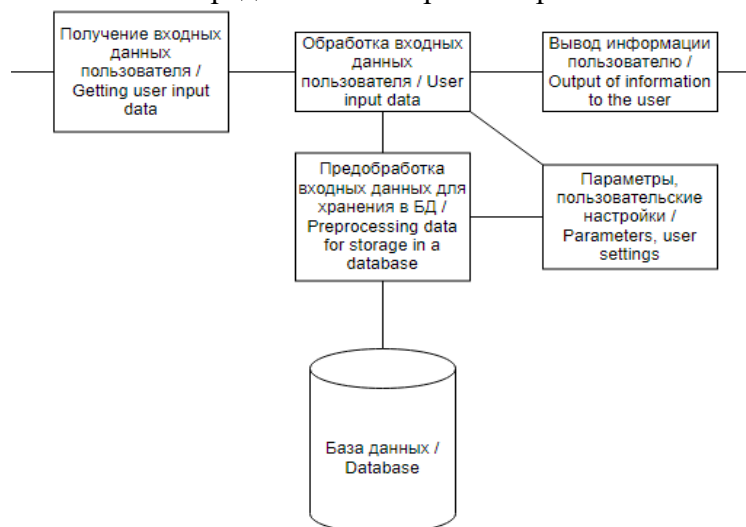


Рис. 1. Схема блоков корпоративной информационной системы с использованием пользовательских параметров

Fig. 1. Block diagram of a corporate information system using user parameters

При перемещении корпоративных данных в вычислительном процессе КИС отправка данных начинается от блока получения входных данных, далее в блок обработки входных данных, далее в блок взаимодействия с базой данных, далее в блок получения настроек пользователя, далее в блок вывода данных (рис. 3).

Данные, полученные пользователем на предыдущем этапе, обрабатываются получающим блоком и выводятся к следующему блоку. Каждый блок имеет не только схожую архитектуру, но и индивидуальные свойства, и методы обработки данных. Так, блок получения данных обладает следующими свойствами: наименование данных; значение данных; идентификатор данных; номер данных; дополнительное значение параметра или флага.

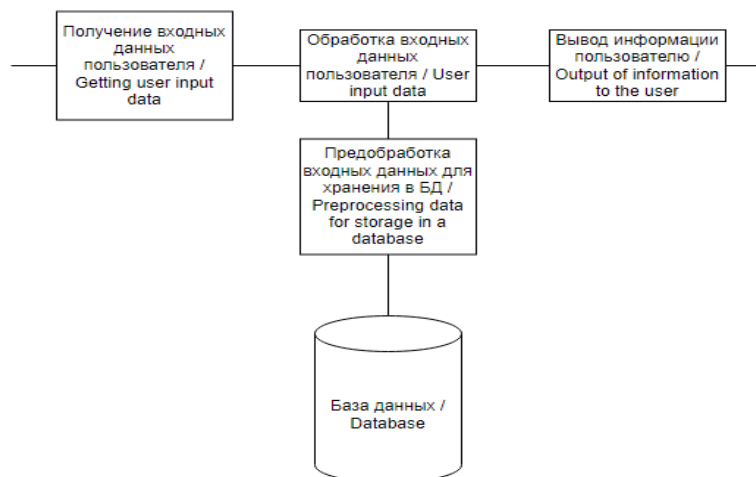


Рис. 2. Схема блоков корпоративной информационной системы без использования пользовательских параметров

Fig. 2. Block diagram of a corporate information system without using user parameters

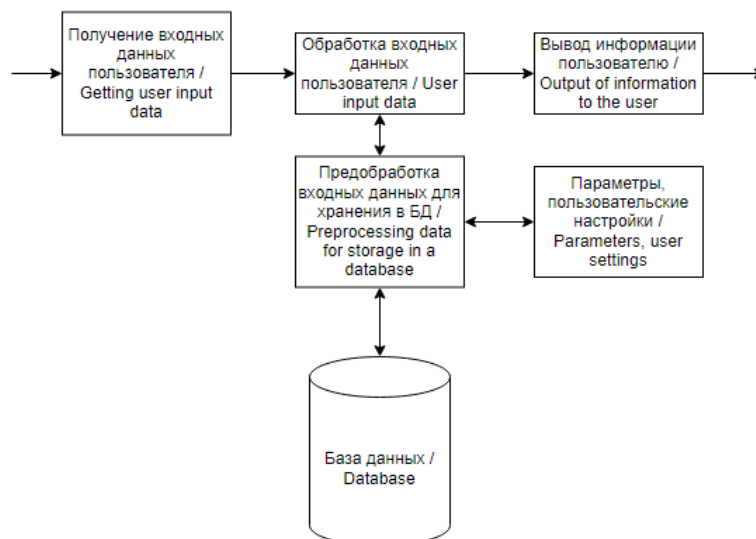


Рис. 3. Схема перемещения данных вычислительных процессов корпоративной информационной системы

Fig. 3. Scheme of moving data of computing processes of a corporate information system

Методы исследования. Решение, принимаемое блоком на этапе обработки, зависит от реализации методов функционирования блока. Блок получения данных обеспечивается следующими методами:

1. Проверка корректного наименования.
2. Проверка значения по регулярному выражению.
3. Проверка идентификатора по корректности значения.
4. Проверка номера по диапазону.
5. Проверка дополнительного значения по вычислению типа его значения.

Например, вычислительный процесс получения данных складских запасов в КИС 1С: Предприятие выглядит следующим образом:

1. Получение запроса на получение параметра склада.
2. Обработка запроса на получение параметра склада.
3. Проверка на корректность полученного запроса на синтаксическую и семантическую корректность.
4. Выполнение запроса.

Этап выполнения запроса на получение параметра склада состоит из следующих пунктов:

1. Попадание в блок хранения складских запасов.

2. Попадание в блок обработки данных, полученных из базы данных.
3. Попадание в блок пользовательской среды.
4. Попадание в блок отчета.

Любой вычислительный процесс (ВП) должен быть верифицирован, независимо от авторского стиля его проектирования и реализации [2]. В свою очередь, верификация обладает следующими обязательными пунктами:

1. Имеется ли данное значение на складе?
2. Является ли значение на складе больше 0?
3. Возможно ли получить значение со склада?
4. Возможно ли вывести значение на пользовательский вывод?

Формальные методы все шире используются для обеспечения качества программного обеспечения [6-12]. Графоаналитическая модель вычислительного процесса изображена на рис. 4. Графоаналитическая модель обладает блоком инициализации переменных, 4 блоками со значением переменных, подлежащих дальнейшему тестированию, а также блоком-условием с проверкой переменных.

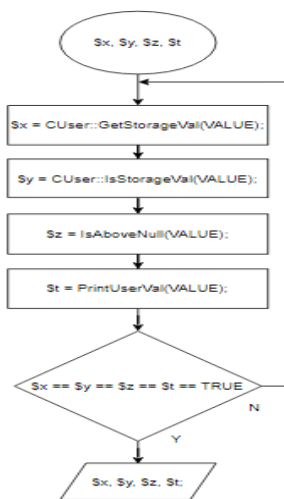


Рис.4. Графоаналитическая модель вычислительного процесса получения значения со склада

Fig. 4. Graph-analytical model of the computational process of obtaining a value from a warehouse

Далее находится блок вывода протестированных переменных [13-14]. Программная модель изображена на рис. 5.

```

1  <?php
2  a:
3  function initValues(){
4      $x = 0, $y = 0, $z = 0, $t = 0;
5  }
6
7  function setValues(VALUE){
8      $x = CUser::GetStorageVal(VALUE);
9      $y = CUser::IsStorageVal(VALUE);
10     $z = IsAboveNull(VALUE);
11     $t = PrintUserVal(VALUE);
12 }
13
14 initValues();
15 setValues(VALUE);
16
17 if($x == true){
18     if($y == true){
19         if($z == true){
20             if($t == true){
21                 echo $x." ", $y." ", $z." ", $t." ";
22             }
23             else goto a;
24         }
25         else goto a;
26     }
27     else goto a;
28 }
29 else goto a;
    
```

Рис. 5. Программная модель верификации вычислительного процесса обращения к складским значениям

Fig. 5. Software Model for Verification of the Computational Process of Accessing Storage Values

В программной модели используются функции GetStorageVal(), IsStorageVal(), IsAboveNull(), PrintUserVal() для значений переменных, а также функциями initValues() и setValues() для инициализации и установки значений.

Обсуждение результатов. Результатом верификации с помощью графоаналитической модели и программной модели вычислительного процесса является набор успешно выполненных тестов на основе графоаналитической и программной модели. Набор тестов с помощью обеих моделей показал одинаковый истинный результат. Данные результаты логировались в отдельном текстовом файле.

Вывод. В статье была исследована верификация вычислительного процесса КИС. В качестве рассмотрения была взята КИС 1С:Предприятие. Вычислительный процесс содержал обращение к складским запасам.

Верификация была проведена с помощью графоаналитической модели и программной модели. Данные модели пригодны для верификации вычислительных процессов программных систем. Верификация вычислительного процесса КИС 1С:Предприятие показала, что все обязательные пункты были выполнены.

Библиографический список:

1. Зыков С. В. Теоретические и методологические основы построения корпоративных порталов // Исследовано в России. 2005. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-i-metodologicheskie-osnovy-postroeniya-korporativnyh-portalov> (дата обращения: 11.03.2021).
2. Немолочнов О. Ф., Зыков А. Г., Поляков В. И., Македонский А. А. Параллельные структуры управления вычислительными процессами в САПР // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011. №4 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parallelnye-struktury-upravleniya-vychislitelnymi-protsessami-v-sapr> (дата обращения: 07.11.2021).
3. Зыков А. Г., Безруков А. В., Немолочнов О. Ф., Поляков В. И., Андронов А. В. Графо-аналитические модели вычислительных процессов в САПР // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011. №4 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskie-modeli-vychislitelnyh-protsessov-v-sapr> (дата обращения: 07.11.2021).
4. Винниченко И. В. Автоматизация процессов тестирования. СанктПетербург, Питер, 2005, 203 с.
5. Канер С., Фолк Дж., Нгуен Е. К. Тестирование программного обеспечения. Киев, «ДиаСофт», 2001, 544 с.
6. Лукин М. А. Верификация параллельных автоматных программ // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. №1 (89). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-parallelnyh-avtomatnyh-programm> (дата обращения: 11.03.2021).
7. Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Поляков В.И., Петров К.В. Учебно-исследовательская САПР верификации и тестирования вычислительных процессов программ // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2006. №32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchebno-issledovatel'skaya-sapr-verifikatsii-i-testirovaniya-vychislitelnyh-protsessov-programm> (дата обращения: 07.11.2021).
8. Зыков А.Г., Кочетков И.В., Поляков В.И., Чистиков Е.Г. Синтезирование программ на основе описания графоаналитической модели // Программные продукты и системы. 2017. Т 30. №4. С. 561-566. DOI: 10.15827/0236-235X.120.561-566
9. Зыков А.Г., Голованев Я.С., Поляков В.И. Автоматизация верификации программ с использованием графоаналитических моделей вычислительного процесса // Программные продукты и системы. 2019. Т. 32. №3. С. 398-402. DOI: 10.15827/0236-235X.127.398-402.
10. Баканова С.А. Графоаналитическая модель распространения знаний в организациях // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2015. №1 (211). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskaya-model-rasprostraneniya-znaniy-v-organizatsiyah> (дата обращения: 07.11.2021).
11. Ситникова Л. В. Графоаналитическая модель определения условий лицензирования // УЭК. 2011. №29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskaya-model-opredeleniya-usloviy-litsenzirovaniya> (дата обращения: 07.11.2021).
12. Верлан А. И. Графоаналитическая модель функционирования железнодорожных станций // ВЕЖИТ. 2014. №3 (72). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskaya-model-funktsionirovaniya-zheleznodorozhnyh-stantsiy> (дата обращения: 07.11.2021).
13. Черноморец А.А., Петина М.А., Коваленко А.Н., Зайцева Н.О. Графоаналитическая модель динамики распространения подземных вод // Экономика. Информатика. 2017. №2 (251). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskaya-model-dinamiki-rasprostraneniya-podzemnyh-vod> (дата обращения: 07.11.2021).
14. Зимовец О. А., Маторин С. И. Формально-семантическое описание графоаналитических моделей административных процедур // Экономика. Информатика. 2012. №7-1 (126). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formalno-semanticheskoe-opisanie-graf-analiticheskikh-modeley-administrativnyh-protsedur> (дата обращения: 07.11.2021).

References:

1. Zykov S.V. Theoretical and methodological foundations of building corporate portals. *Investigated in Russia*. 2005. no. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-i-metodologicheskie-osnovy-postroeniya-korporativnyh-portalov> (date of access: 03/11/2021). (In Russ)

2. Nemolochnov OF, Zykov AG, Polyakov VI, Makedonskiy AA Parallel structures of control of computational processes in CAD. Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. 2011; 4 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parallelnye-struktury-upravleniya-vychislitelnymi-protsessami-v-sapr> (date accessed: 07.11.2021). (In Russ)
3. Zykov A. G., Bezrukov A. V., Nemolochnov O. F., Polyakov V. I., Andronov A. V. Graph-analytical models of computational processes in CAD // Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. 2011; 4 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskie-modeli-vychislitelnyh-protsessov-v-sapr> (date accessed: 07.11.2021). (In Russ)
4. Vinnichenko IV Automation of testing processes. St. Petersburg, Peter, 2005; 203. (In Russ)
5. Kaner S., Folk J., Nguyen EK Software testing. Kiev, "DiaSoft". 2001; 544.
6. Lukin MA Verification of parallel automatic programs. Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. 2014; 1(89). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-parallelnyh-avtomatnyh-programm> (date accessed: 03/11/2021). (In Russ)
7. Nemolochnov O.F., Zykov A.G., Polyakov V.I., Petrov K.V. Educational and research CAD for verification and testing of computational processes of programs. Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. 2006. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchebno-issledovatel'skaya-sapr-verifikatsii-i-testirovaniya-vychislitelnyh-protsessov-programm> (date accessed: 07.11.2021). (In Russ).
8. Zykov A.G., Kochetkov I.V., Polyakov V.I., Chistikov E.G. Synthesis of programs based on the description of the graph-analytical model. *Software products and systems*. 2017; 30(4): 561-566. DOI: 10.15827 / 0236-235X.120.561-566. (In Russ)
9. Zykov A.G., Golovanov Y.S., Polyakov V.I. Automation of program verification using graphic-analytical models of the computational process. *Software products and systems*. 2019; 32(3):398-402. DOI: 10.15827 / 0236-235X.127.398-402. (In Russ)
10. Bakanova S. A. Graphic-analytical model of the dissemination of knowledge in organizations. Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. *Economic sciences*. 2015; 1(211). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskaya-model-rasprostraneniya-znaniy-v-organizatsiyah> (date accessed: 07.11.2021). (In Russ)
11. Sitnikova L. V. A graphic-analytical model for determining the conditions of licensing // UEkS. 2011. No. 29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskaya-model-opredeleniya-usloviy-litsenzirovaniya> (date of access: 07.11.2021). (In Russ)
12. Verlan A.I. Graphic-analytical model of the functioning of railway stations. VEZHPT. 2014; 3(72). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskaya-model-funktsionirovaniya-zheleznodorozhnyh-stantsiy> (date accessed: 07.11.2021). (In Russ)
13. Chernomorets A.A., Petina M.A., Kovalenko A.N., Zaitseva N.O. A graphoanalytical model of the dynamics of groundwater distribution. *Economics. Informatics*. 2017; 2(251). <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskaya-model-dinamiki-rasprostraneniya-podzemnyh-vod> (date accessed: 07.11.2021). (In Russ)
14. Zimovets O.A., Matorin SI Formal-semantic description of graphic-analytical models of administrative procedures // *Economics. Informatics*. 2012; 7-1(126). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formalno-semanticheskoe-opisanie-graf-analiticheskikh-modeley-administrativnyh-protsedur> (date accessed: 07.11.2021). (In Russ)

Сведения об авторах:

Владимир Иванович Поляков, кандидат технических наук, доцент, факультет программной инженерии и компьютерной техники; v_i_polyakov@mail.ru

Файль Фидаэлевич Зиннатулин, аспирант, факультет программной инженерии и компьютерной техники; f_f_zinnatulin@mail.ru

Information about the authors:

Vladimir I. Polyakov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Faculty of Software Engineering and Computer Engineering;

v_i_polyakov@mail.ru

Fail F. Zinnatulin, Postgraduate Student, Faculty of Software Engineering and Computer Engineering; f_f_zinnatulin@mail.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 08.11.2021.

Одобрена после рецензирования Revised 01.12.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 01.12.2021.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 004.588

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-139-146

Оригинальная статья / Original Paper

Оценка результативности использования интеллектуальной адаптивной системы обучения проектированию модулей на основе печатных плат

К. К. Хоанг¹, Ю.В. Донецкая²

¹Верфь X52,

¹провинция Бинь Зыонг, г. Зиан, ул. Кай Заце 15/2, Вьетнам,

²Национальный исследовательский университет ИТМО,

²197101, Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, 49, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является обоснование алгоритма и математических моделей системы оценки результативности обучения в интеллектуальной адаптивной системе. Решается проблема выбора адекватной оценки уровня полученных знаний и навыков при проектировании модулей на основе печатных плат (ПП) в САПР ПП. Рассматривается вопрос оценки результативности использования интеллектуальной адаптивной системы обучения, являющейся основополагающим критерием эффективности процесса обучения проектированию ПП. **Метод.** Раскрыты параметры, алгоритм и закономерности построения интеллектуальных адаптивных систем обучения проектированию модулей на основе ПП судовых интегрированных систем управления. **Результат.** Приведен пример интеллектуальной адаптивной системы обучения проектированию модулей на основе ПП, позволяющей проводить оценку результативности. Выделены целевые показатели результативности обучения проектированию модулей на основе ПП. Полнофункциональный алгоритм оценки результативности обучения проектированию модулей на основе ПП в интеллектуальных адаптивных системах определен по шагу технологических операций для обеспечения единства контроля качества обучения. Предложен подход к реализации оценки результативности использования интеллектуальной адаптивной системы обучения проектированию модулей на основе ПП. **Вывод.** Результаты исследования могут быть полезны для преподавателей и обучаемых-специалистов, а также применяться на этапе оценки достижимых характеристик, что может существенно ускорить процесс обучения. Рекомендуемая методика применялась в обучении проектированию ПП персонала верфи X52 Вьетнама. Методика применима не только для обучения персонала верфей, но и для разного уровня подготовки персонала промышленного предприятия, например в авиастроении, машиностроении, приборостроении.

Ключевые слова: интеллектуальная адаптивная система, система обучения, автоматизационное проектирование, печатная плата, проектирование модулей

Для цитирования: К.К. Хоанг, Ю.В. Донецкая. Оценка результативности использования интеллектуальной адаптивной системы обучения проектированию модулей на основе печатных плат. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4): 139-146. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-139-146

Evaluating the effectiveness of using the intelligent adaptive training system for design modules based on printed circuit boards

K.K. Hoang¹, Yu.V.Donetskaya²,

¹Shipyards X52,

¹15/2 Kai Zatse Str., Binh Duong Province, Zian, Vietnam,

²Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics

²49 Kronverksky Ave., Saint Petersburg 197101, Russia

Abstract. Objective. The article studies the problem of adequate assessment of the level of acquired knowledge and skills with design of modules based on printed circuit boards (PCB) using CAD PCB. The article considers the issue of assessing the effectiveness of the use of an intelligent adaptive training system, which is the fundamental criterion for the effectiveness of the training process for designing of modules based on PCB. This intelligent adaptive training system of design of modules based PCB enables learners to assess their own performances. The main purpose of the study is to substantiate the algorithm and mathematical models of the developed system for assessing the effectiveness of training using an intelligent adaptive system. **Method.** The parameters, algorithm and patterns of building intelligent adaptive learning systems for designing modules based on PCB of ship integrated control systems for future specialists are disclosed. **Result.** The target indicators of the effectiveness of training in the design modules based on PCB are highlighted. A fully functional algorithm for assessing the effectiveness of learning the design modules based on PCB in intelligent adaptive systems is determined by the step of technological operations to ensure the uniformity of the learning quality control. **Conclusion.** This system can be useful for teachers and specialists-studying the design modules based on PCB. This system can be used at the stage of assessing the achievable characteristics which can significantly speed up the learning process. The research methods are applied in training the design modules based on PCB to the personnel of the shipyard X52 in Vietnam. It is suitable not only for training shipyard personnel to work, for teaching various levels of training of personnel of any industrial enterprise, for example, in aircraft engineering, mechanical engineering or instrument making, and for teaching any CAD system in general.

Keywords: Intelligent adaptive system, training system, CAD, PCB, module design

For citation: K.K. Hoang, Yu.V. Donetskaya. Evaluating the effectiveness of using the intelligent adaptive training system for design modules based on printed circuit boards. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48(4): 139-146. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-139-146

Введение. В данной работе будет проанализирована эффективность обучения по индивидуальным траекториям обучаемого, в которых результаты обучаемого зависят от уровня владения знаниями до обучения, охвата и длительности тестов, времени изучения материала и времени изучения дополнительных материалов, уровня владения знанием после обучения и уровня владения компетенциями для выполнения практического задания [1,4,11]. Сценарий обучения формируется из двух частей: изучение теоретических материалов и выполнение практического задания.

Постановка задачи. Оценка эффективности x -го этапа индивидуальных сценариев обучения автоматизированному проектированию печатных плат может осуществляться по алгоритму, представленному на рис. 1.

Алгоритм оценки эффективности i -го этапа индивидуальных сценариев обучения осуществляется пошагово. Предварительно до обучения проверим уровень знаний обучаемого [2, 5,12]:

- Первый шаг включает формирование учебного материала: обычного и адаптивного. Предоставляется учебный материал в зависимости от результатов обучения или случайно.
- На втором шаге осуществляется процесс обучения по стационарному и адаптивному этапам сценария обучения. В каждой группе должно быть равное количество обучаемых.
- На третьем шаге проводится проверка знаний и умений по i -му этапу сценария обучения.
- На 4-ом шаге осуществляется процесс изучения практической части по стационарному и адаптивному этапам сценария обучения.
- На 5-ом шаге проводится проверка умений и навыков по i -му этапу сценария обучения.

- На 6-ом шаге автоматически сравниваются результаты обучаемого с нормативом модуля системы обучения. Сравнение оценок обучаемого со стандартными значениями баллов традиционного обучения осуществляется с целью определения альтернативных подходов к каждому обучаемому.

Очевидно, что при величине $I_x > 90$ рассматриваемый сценарий обучения оценивается как «отлично», продолжается изучение следующего этапа по сложному уровню учебных материалов.

Если $90 \geq I_x \geq 71$ оценивается «хорошо», обучение продолжается по следующему этапу на среднем уровне учебных материалов.

Если $71 \geq I_x \geq 50$ оценивается «удовлетворительно», обучение продолжается по следующему этапу на легком уровне.

Если значение $I_x < 50$ необходимо изучить учебный материал, но на степень ниже текущего уровня сложности. И отправить данные результаты к следующему шагу.

- На 7-ом шаге определяется эффективность данного модуля курса, формируются рекомендации обучаемому для устранения ошибок и совершенствования своих компетенций.
- На 8-ом шаге обучаемый устраняет свои ошибки и совершенствует свои компетенции. Закончив этот модуль, обучаемый приступит к следующему модулю. Процесс обучения закончится, когда обучаемый достигнет все цели обучения.

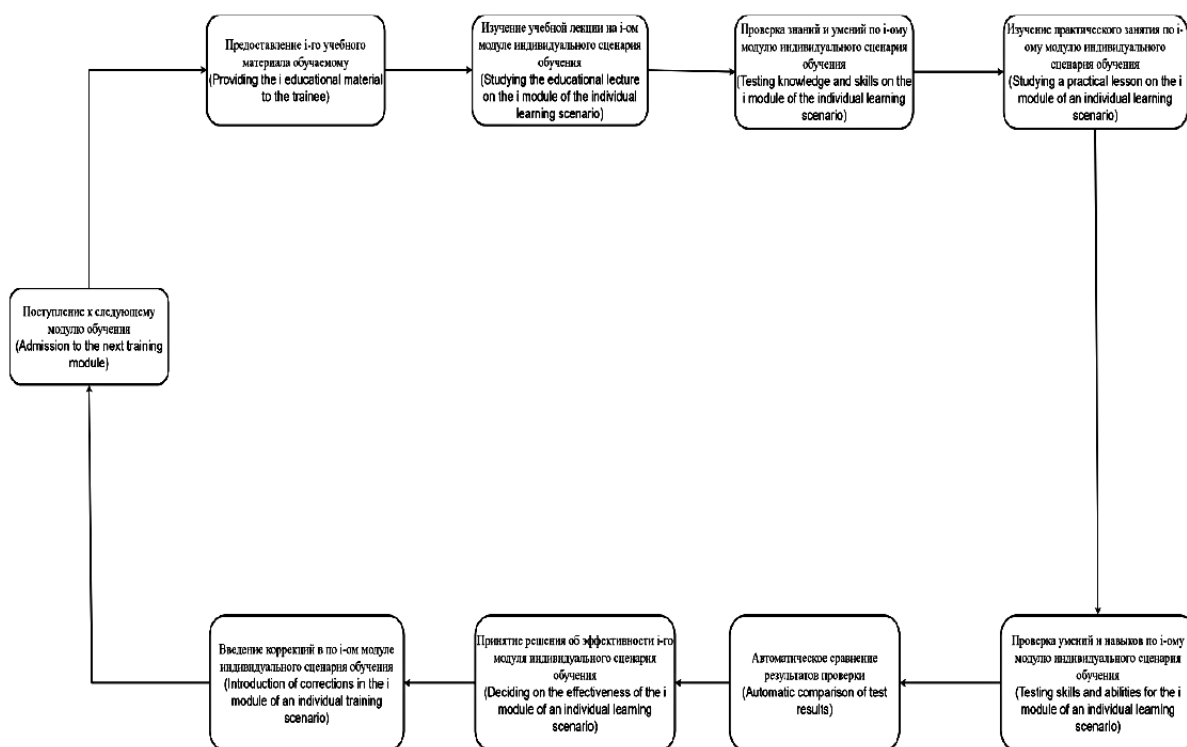


Рис. 1. Алгоритм оценки эффективности i-го этапа индивидуальных сценариев обучения
Fig. 1. Algorithm for evaluating the effectiveness of the i stage of individual learning scenarios

Для анализа эффективности интеллектуального адаптивного сценария может использоваться теория принятия решений, в которой проводится коллективная экспертиза с участием обучаемых в авторском и стационарном сценариях, что позволит получить реальную оценку сценария обучения [6,7].

Методы исследования. В курсе «Проектирование модулей на основе ПП» сценарий обучения состоит из 8 модулей, каждый из которых включает в себя учебный материал и практические задания.

При этом время, которое обучаемый тратит на каждом этапе обучения, рассчитывается по формуле:

$$T_{об} = \sum_{x=0}^m T_{изx} + \sum_{y=0}^n T_{пры} + T_{Пр} \quad (1)$$

где $T_{из}$ – время изучения x -го учебного материала, $x = 1 \dots m$,

$$T_{из} = \sum_{y=0}^{P_3} P_{yу} * T_{m,y} * L_{m,y}, \quad (2)$$

где P_3 – множество тем, изучаемых в x -ом учебном материале; $P_{yу}$ – содержание y -ой темы в x -ом учебном материале; $T_{m,y}$ – необходимое время для полного изучения y -ой темы в x -ом учебном материале; $L_{m,y}$ – коэффициент, отражающий изучил ли обучаемый m -ую тему в x -ом учебном материале; $T_{пр}$ – время изучения z -го практического материала, $z = 1 \dots n$, вычисляемое по формуле:

$$T_{пр} = \sum_{y=0}^{P_n} P_{ny} * C_{n,y} * D_{n,y}, \quad (3)$$

где P_n – множество навыков изучаемых в ходе y -ой лабораторной работы, P_{ny} – содержание y -ого навыка в y -ой лабораторной работе, $C_{n,y}$ – необходимое время для полного изучения y -го навыка в ходе y -ой лабораторной работы, $D_{n,y}$ – коэффициент, отражающий факт изучения обучаемым y -ый навыка в x -ой лабораторной работы;

$T_{Пр}$ – время решения практического задания, вычисляемое по формуле:

$$T_{Пр} = \sum_{y=0}^{P_y} T_{Пу} * K_{a,y} + T_{реш}, \quad (4)$$

где P_y – множество навыков, необходимых для решения практического задания; $K_{a,y}$ – коэффициент, отражающий факт изучения обучаемым a -го навыка в x -ом учебном материале; $T_{Пу}$ – время, затрачиваемое на изучение вспомогательных данных для выполнения практического задания,

$$T_{Пу} = T_{Пв} * R_y, \quad (5)$$

где $T_{Пв}$ – необходимое время для собственно прочтения вспомогательных данных для выполнения практического задания; R_y – необходимость наличия y -й компетенции для поиска практического решения; $T_{реш}$ – время выполнения практического задания при владении необходимыми знаниями.

Предполагаем, что множество тем P задействуется между темами x -го учебного материала и практического задания на данном этапе обучения, то $P = P_x \cap P_y \cap P_n$.

Время изучения будет рассчитываться по формуле:

$$T_{об} = \sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^P \left[P_{yу} * T_{m,y} * L_{m,y} + P_{ny} * C_{n,y} * D_{n,y} + R_y * T_{Пв} * K_{a,y} + T_{реш} \right] \quad (6)$$

Уровень владения компетенциями обучаемого будет рассчитываться по формуле:

$$O_y = O_0 + \sum_{y=0}^P (1 - O_{y-1}) (1 - L_{m,y} * P_{yу}) (1 - P_{ny} * D_{n,y}) \quad (7)$$

Допустим, что обучаемый владеет темами до обучения O_0 , и в любом случае ему необходимо учить все учебные материалы.

Рассмотрим механизм адаптации авторского сценария обучения. В авторской сценарии обучения входной тест позволяет определить уровень владения знаниями O_0 обучаемого.

После выполнения входного теста учебный материал Y_x в зависимости от результата теста представляется как:

$$Y_x = \sum_{x=0}^P \left[(1 - (1 - O_0 + O_0 * B_x) * Y_{тест}) (1 - P_{yу}) (1 - P_{ny}) \right] \quad (8)$$

где B_x – соответствие результата x -го теста существующим знаниям обучаемого;

$Y_{тест}$ – условие тестирования x -ой темы;

Уровень владения компетенциями обучаемого после обучения будет рассчитываться по формуле:

$$O_y = O_0 + \sum_{y=0}^P Y_x * (1 - O_{y-1}) (1 - L_{m,y} * P_{y_y}) (1 - P_{п_y} * D_{n,y}) \quad (9)$$

Время прохождения этапа индивидуального сценария будет рассчитываться по формуле:

$$T_{обн} = \sum_{y=0}^P \sum_{x=0}^m \left[P_{y_y} * T_{m,y} * L_{m,y} * Y_x * \left(1 - \frac{O_0}{O_y}\right) + P_{п_y} * C_{n,y} * D_{n,y} * Y_x + Y_{тест} * T_{тест_x} + R_y * T_{Пв} * K_{a,y} + T_{реш} \right] \quad (10)$$

В случае если обучаемый уже владеет некоторыми навыками K_0 по решению практического задания, то ему может не требоваться изучение практического материала.

Время, затрачиваемое в процессе изучения при наличии существенного навыка K_0 до обучения, будет рассчитываться по формуле:

$$T_M = \sum_{y=0}^P \sum_{x=0}^m \left[\left(1 - \frac{O_0}{O_y}\right) (P_{y_y} * T_{m,y} * L_{m,y} * Y_x + P_{п_y} * C_{n,y} * D_{n,y} * Y_x) + Y_{тест} * T_{тест_x} + (1 - K_0) (R_y * T_{Пв} * K_{a,y} + T_{реш}) \right] \quad (11)$$

Исследуем случай сценария, в котором обучаемый изучает необходимые элементы компетенции в одном учебном модуле для выполнения одного практического задания. Сокращение времени обучения по авторским сценариям рассчитывается по формуле:

$$\Xi = \left(1 - \frac{\sum_{y=0}^P \left[\left(1 - \frac{O_0}{O_y}\right) (P_{y_y} * T_{m,y} + P_{п_y} * C_{n,y}) + (1 - K_0) * T_{Пв} * K_{a,y} \right]}{\sum_{y=0}^P [P_{y_y} * T_{m,y} + P_{п_y} * C_{n,y} + R_y * T_{Пв} * K_{a,y}]} \right) * 100, \% \quad (12)$$

Для расчета времени сокращения обучения по авторскому сценарию, вводим следующие значения [13, 14]: уровень владения знаниями до обучения - $O_0 = 0, \dots, 0,5$, уровень владения навыками для выполнения практического задания - $K_0 = 0, \dots, 0,2$, вероятность прочтения дополнительной информации необходимой для решения практического задания - $P_d = 0, \dots, 1$, вероятность покрытия тестами элементов - $V_{п} = 0,7$, вероятность изучения обучаемым элементов знаний при первичном просмотре учебного материала - $P_{п} = 0,6, \dots, 1$, уровень владения знаниями после обучения $A_y = 0,6, \dots, 1$, относительная длительность авторского этапа сценария D_a , относительная длительность стационарного этапа сценария D_0 , относительная длительность тестирования D_t , относительная длительность выполнения практического задания D_p .

Расчет приведен в табл.1. В итоге среднее сокращение времени обучения по авторскому сценарию составляет 24,7%.

Обсуждение результатов. Для оценки эффективности интеллектуального адаптивного сценария обучения были применены экспертизы на группах обучаемых – инженеров верфи.

Основными параметрами данного исследования являются 2 группы обучаемых – инженеров по 5 человек в каждой, длительность исследования составляет 2 месяца.

Целью обучения является формирование у обучаемого – инженера компетенций по проектированию печатных плат Altium Designer [8, 9]: способность работать с интерфейсом; приобретение навыков построения эскизов, компонентов, электрических принципиальных схем и печатных плат; владения умениями и навыками моделирования печатных плат. Данные полученных результатов приведены в табл. 2.

Таблица 1. Расчет сокращения времени обучения по авторскому сценарию
Table 1. Calculation of the reduction in training time according to the author's scenario

№	O_0	K_0	D_p	P_{II}	P_d	B_{II}	A_y	D_a	D_o	D_T	Ξ (%)
1	0,5	0,0	0,4	0,7	1,0	0,7	0,6	1,1	1,2	0,05	40,3
2	0,0	0,0	0,3	0,6	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,05	-8,0
3	0,3	0,0	0,3	0,9	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,05	26
4	0,1	0,0	0,4	0,7	0,5	0,7	0,6	0,9	1,0	0,05	17,4
5	0,0	0,0	0,4	0,6	0,9	0,7	0,6	1,5	1,3	0,05	-15,3
6	0,2	0,1	0,2	0,9	0,5	0,7	1,0	0,6	0,7	0,05	30,3
7	0,2	0,1	0,2	0,8	0,2	0,7	0,6	0,7	0,8	0,05	29,4
8	0,4	0,1	0,2	0,7	0,8	0,7	0,8	1,0	1,1	0,05	39,9
9	0,1	0,1	0,1	0,6	0,4	0,7	0,9	0,9	1,0	0,05	19,0
10	0,2	0,1	0,2	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,6	0,05	32,2
11	0,0	0,2	0,4	0,8	0,1	0,7	0,8	1,4	1,2	0,05	-6,1
12	0,0	0,2	0,1	0,7	0,2	0,7	0,7	0,8	1,0	0,05	22,1
13	0,3	0,2	0,0	0,8	0,1	0,7	0,9	0,9	1,1	0,05	42,5
14	0,4	0,2	0,1	0,9	0,3	0,7	0,9	0,7	0,8	0,05	46,4
15	0,4	0,2	0,0	1,0	0,1	0,7	1,0	0,6	0,8	0,05	54,7

В одной группе проводилось обучение по интеллектуальной адаптивной системе, в другой группе – обучение по стационарному сценарию.

Таблица 2. Экспериментальные результаты обучения по адаптивному и стационарному сценариям

Table 2. Experimental learning outcomes for adaptive and stationary scenarios

Обучаемый Teachable	Адаптивный сценарий Adaptive Script					Стационарный сценарий Stationary Scenario				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результат входного теста, % Result of the entrance test, %	84	73	67	80	73	93	67	73	87	80
Время обучения, мин Training time, min	509,8	565,4	576,7	545,1	578,5	597,3	705,9	698,7	679,1	656,8
Время тестирования, мин Testing time, min	112,7	136,5	140,3	134,7	143,5	128,2	154,5	162,7	144,4	157,5
Время выполнения проектов, мин Project execution time, min	295,2	307,1	369,7	315,8	302,6	374,5	573,6	591,4	477,9	557,8
Итоги баллов Point totals	94	88	69	89	86	91	68	67	81	75

Анализ этих данных показал, что выявлено сокращение времени при использовании интеллектуального адаптивного обучения моделированию печатных плат по сравнению с традиционным обучением на 17%, время тестирования меньше на 11%, чем при стационарном обучении, а время выполнения проектов меньше на 38,2%, чем при стационарном обучении.

По итогам обучения с помощью интеллектуального адаптивного обучения, 1 обучаемый – инженер достиг (20%) эвристического уровня компетентности в области проектирования печатных плат Altium Designer, 3 обучаемых – инженеров получили творческий уровень (60%) с средним баллом 86. По итогам обучения по стационарному обучению, 1 обучаемый–инженер достиг (20%) эвристического уровня компетентности, 2 обучаемых–инженеров (40%) получили творческий уровень со средним баллом 77.

Вывод. Достижение результативности обучения и оптимального расхода является важнейшей задачей любого вуза. Одним из основных направлений является интеллектуальное адаптивное обучение, обеспечивающее индивидуальный характер и активную деятельность обучаемого в ходе обучения с использованием ЭВМ [15].

В статье предложен подход к реализации оценки результативности использования интеллектуальной адаптивной системы обучения проектированию ПП. Интеграция индивидуальных характеристик обучаемого и нейронной сети [10] позволяет реализовать эффективное обучение и контроль его результатов.

В ходе проведения педагогического эксперимента были использованы различные дидактические приемы обучения: адаптивный и стационарный.

Практика показывает, что возможно уменьшить время обучения, например, на верфи X52 Вьетнама в ходе обучения персонала работе в САПР ПП было показано, что эффективность методики использования интеллектуальной адаптивной системы обучения, которая позволяет сократить время обучения на 17%, время тестирования на 11%, время выполнения проектов на 38,2%, количество обучаемых получивших оценку выше и удовлетворительно и больше 20% с высшим средним баллом и 9% больше, чем при стационарном обучении.

Оптимально разработанная система обеспечивает эффективность повышения уровня компетентности обучаемого инженера и способствует расширению доступа к росту конкурентоспособности будущего проектировщика на рынке труда.

Библиографический список:

1. Растринин Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. - Рига: Зинатне, 1988. - 160 с.
2. В. И. Токмарова, С. Н. Федорова. Оценка результативности обучения математике в адаптивной системе: критерии и показатели // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2020. №6 (212). С. 151-157. DOI: 10.23951/1609-624X-2020-6-151-157
3. С. Г. Зайдуллина, Н. Г. Мигранов. Модель формирования адаптивной среды обучения и оценка ее эффективности // Программные продукты и системы. 2012. №1. С. 100 – 104.
4. Башмаков И.А., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 302 с.
5. С. В. Тархов. Адаптивное электронное обучение и оценка его эффективности // Открытое образование. 2005. №5. С. 37- 48.
6. Канев Д. С. Разработка моделей, методов и средств формирования профиля компетенций проектировщика в процессах автоматизированного проектирования машиностроительных объектов (на примере САПР КОМПАС): диссертация ... к.т.н.:05.13.12 [Ульяновский государственный технический университет], 2016. Ульяновск. С. 186.
7. Черепашков А. А., Самойлов П. А., Применение графоаналитических моделей в задачах анализа процессов разработки и внедрения комплексных автоматизированных систем // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. № 2. С. 268-278.
8. Заботина Н. Н. Проектирование информационных систем: Учебное пособие //М.: НИЦ ИНФРА-М. – 2014. — 336 с.
9. Тархов С.В. Управление адаптивным обучением и его оптимизация на базе теории абстрактных автоматов и Марковских процессов // Информационные технологии моделирования и управления. Научн.-технич. Журнал. 2005. №1. С.39-45.
10. Хоанг К.К., Авксентьева Е. Ю., Федосов Ю.В. Формирование индивидуальной траектории обучения автоматизированному проектированию средствами интеллектуальной адаптивной системы//Эргодизайн. 2021. №1 (11). С. 41-48.
11. Toktarova V. I. Assessing the Efficiency of Teaching Mathematics in the E-Learning Environment. Proceedings of 6th International Conference on Education and Social Sciences. 2019; 428–431
12. C. Martins, C. Faria. User Modeling in Adaptive Hypermedia Educational Systems//Educational Technology & Society. 2008; 11(1): 194-207.

13. Mahnane L., Laskri M. T., Trigano P. A model of adaptive e-learning hypermedia system based on thinking and learning styles. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. 2013; 8(3): 336-350.
14. Lin H., Xie S., Deng X., Yue H., Cai K. Adaptive recommender system for an intelligent classroom teaching model // *International journal of emerging technologies in learning*. 2019; 14(5): 51-63. DOI: 10.3991/ijet.v14i05.10251
15. Eckroth Z. J. A course on big data analytics. *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2018; 118(1): 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.02.019>

References:

1. Rastrigin L.A., Erenstein M.Kh. Adaptive learning with a learner model. Riga: Zinatne, 1988; 160.
2. V. I. Tokmarova, S. N. Fedorova. Evaluation of the effectiveness of teaching mathematics in an adaptive system: criteria and indicators. [Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta] *Bulletin of the Tomsk State Pedagogical University*. 2020; 6(212): 151-157. DOI: 10.23951/1609-624X-2020-6-151-157 (In Russ)
3. S. G. Zaidullina, N. G. Migranov. Model for the Formation of an Adaptive Learning Environment and Evaluation of Its Efficiency. *Software Products and Systems*. 2012; 1: 100 - 104. (In Russ)
4. Bashmakov I.A., Bashmakov I.A. Intelligent information technologies. Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2006; 302. (In Russ)
5. S. V. Tarkhov. Adaptive e-learning and evaluation of its effectiveness. Open education. 2005; 5: 37-48. (In Russ)
6. Kanev D. S. Development of models, methods and means of forming a profile of a designer's competencies in the processes of automated design of machine-building objects (on the example of CAD KOMPAS): dissertation ... Ph.D.: 05.13.12 [Place of defense: Ulyanovsk State Technical University], 2016; 186. (In Russ)
7. Cherepashkov A. A., Samoilov P. A., The use of gaoanalytical models in the problems of analyzing the processes of development and implementation of complex automated systems. [Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve] *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2017; 2: 268-278. (In Russ)
8. Zabolina N. N. Designing information systems: Textbook. M.: SIC INFRA-M. 2014 - 336 p. (In Russ)
9. Tarkhov S.V. Control of adaptive learning and its optimization based on the theory of abstract automata and Markov processes. [Informatsionnyye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya] *Information technologies of modeling and control. Scientific-technical Magazine*. 2005; 1: 39-45 (In Russ).
10. K. K. Hoang, E. Yu. Avksent'eva, and Yu. 2021; Formation of an individual trajectory of learning computer-aided design by means of an intelligent adaptive system. [Ergodizayn] *Ergodesign* 1 (11): 41-48. (In Russ)
11. Toktarova V. I. Assessing the Efficiency of Teaching Mathematics in the E-Learning Environment. Proceedings of 6th International Conference on Education and Social Sciences. 2019; 428-431.
12. C. Martins, C. Faria. User Modeling in Adaptive Hypermedia Educational Systems. *Educational Technology & Society*. 2008; 11(1): 194-207.
13. Mahnane L., Laskri M. T., Trigano P. A model of adaptive e-learning hypermedia system based on thinking and learning styles. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. 2013; 8(3): 336-350.
14. Lin H., Xie S., Deng X., Yue H., Cai K. Adaptive recommender system for an intelligent classroom teaching model // *International journal of emerging technologies in learning*. 2019; 14(5): 51-63. DOI: 10.3991/ijet.v14i05.10251
15. Eckroth Z. J. A course on big data analytics. *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2018; 118(1): 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.02.019>

Сведения об авторах:

Хоанг Конг Кинь, совместитель; hoangkinh@yandex.ru
Донецкая Юлия Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, факультет безопасности информационных технологий; donetskaya_julia@mail.ru

Information about the authors:

Kinh K. Hoang, совместитель; hoangkinh@yandex.ru
Yuliya V. Donetskaya, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Faculty of Information Technology Security; donetskaya_julia@mail.ru

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 20.11.2021.

Одобрена после/рецензирования Revised 02.12.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 02.12.2021.

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE**

УДК 772.962:699.86

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-147-158

Оригинальная статья/Original Paper

**Специфика комплексного тепловизионного мониторинга
современных гражданских зданий и теплофизических свойств
ограждающих конструкций из строительных материалов массового производства**

Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов, А.Г. Гудков

Вологодский государственный университет,
160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Россия

Резюме. Цель. Цель работы состоит в повышении точности определения ключевых теплофизических характеристик строительных материалов и изделий при стационарном тепловом режиме, а также расширении возможностей применения комплексного тепловизионного мониторинга при оценке теплопроводных качеств неоднородных однослойных строительных конструкций, находящихся, в том числе и в нестационарных температурных условиях. **Метод.** Методологической основой служат положения теорий теплопередачи, теплового контроля и инфракрасной диагностики, методы качественного и количественного анализа термограмм. **Результат.** Предложена схема комплексной неразрушающей диагностики теплотехнического состояния теплозащитных оболочек объектов капитального и завершенного строительства, инженерно-технических систем и подсистем жизнеобеспечения различного назначения по результатам термографирования и качественно-количественной оценки тепловых изображений. Обобщена практика применения тепловизионной техники и вспомогательного контрольно-измерительного оборудования в натурном обследовании светопрозрачных конструкций и не-светопрозрачных вентилируемых фасадных систем реального здания гражданского назначения. Представлены итоги тепловизионной идентификации основных теплофизических свойств фрагмента ограждающей строительной конструкции в виде стенки из силикатного кирпича. **Вывод.** Представленный метод активного теплового неразрушающего определения основных теплофизических свойств конструкционных строительных материалов и изделий, также экспериментальная установка для его реализации, позволяют в различных условиях и режимах исследовать весь комплекс теплотехнических характеристик.

Ключевые слова: тепловой контроль, тепловизионный мониторинг и диагностика, тепловизионная съемка, термографирование, тепловизор, термограмма, тепловое изображение, объекты строительства, инженерная система, строительный материал и изделие, коэффициенты теплопроводности и теплопередачи, термическое сопротивление

Для цитирования: Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов, А.Г. Гудков. Специфика комплексного тепловизионного мониторинга современных гражданских зданий и теплофизических свойств ограждающих конструкций из строительных материалов массового производства. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 147-158. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-147-158

**Specifics of integrated thermal imaging monitoring modern civil buildings
and thermophysical properties of enclosing structures made
of building materials of mass production**

D.F. Karpov, M.V. Pavlov, A.G. Gudkov

Vologda State University,
15 Lenin Str., Vologda 160000, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to improve the technical procedure and increase the accuracy of determining the key thermophysical characteristics of building materials and products in a stationary thermal regime, as well as expanding the possibilities of using integrated thermal imaging monitoring in assessing the heat-conducting qualities of heterogeneous single-layer building structures, which are, including in non-stationary temperature conditions. **Method.** The methodological basis of the study is the fundamental provisions of the theories of heat transfer, thermal control and infrared diagnostics, methods of qualitative and quantitative analysis of thermograms. **Result.** The scheme of complex non-destructive diagnostics of the thermal and technical condition of heat-protective shells of capital and completed construction facilities, engineering and technical systems and subsystems of life support for various functional, technological, operational purposes based on the results of thermography and qualitative and quantitative assessment of thermal images is presented. Examples of the use of thermal imaging equipment and other auxiliary control and measuring equipment in the field examination of translucent structures and non-translucent ventilated facade systems of a real civil building are given, as well as the results of thermal imaging identification of the main thermal properties of a fragment of an enclosing building structure in the form of a wall of silicate brick. **Conclusion.** The presented method of active thermal non-destructive determination of the main thermophysical properties of structural building materials and products, as well as an experimental setup for its implementation, make it possible to study the entire range of thermal characteristics under various conditions and modes using a thermal imager and related instrumentation.

Keywords: thermal control, thermal imaging monitoring, thermal imaging diagnostics, thermal imaging, thermography, thermal imager, thermogram, thermal image, construction objects, engineering system, building material and product, thermal conductivity coefficient, thermal resistance, heat transfer coefficient

For citation: D.F. Karpov, M.V. Pavlov, A.G. Gudkov. Specifics of integrated thermal imaging monitoring modern civil buildings and thermophysical properties of enclosing structures made of building materials of mass production. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48(4):147-158. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-147-158

Введение. Стратегические вопросы энергоэффективности и энергоресурсосбережения в различных отраслях народного хозяйства (строительство, энергетика, машиностроение, транспорт и др.) входят в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации (Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899), а также в перечень критических технологий РФ. Жизненно важные задачи рационального использования энергоресурсов различной природы происхождения заложены в парадигму энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, в проект энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года; соответствуют Федеральному закону от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...», стратегиям развития строительного и топливно-энергетического комплексов страны и отдельных субъектов РФ; отвечают целям национальных проектов «Экология» (2018-2024 гг.) и «Жилье и городская среда» (2018-2024 гг.), государственной программы РФ «Охрана окружающей среды»; составляют основу федеральной целевой программы обеспечения безопасности в России и полностью отвечают национальным интересам государства.

Так, согласно Федеральному закону от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», тепловизионная диагностика объектов капитального и завершенного строительства является неотъемлемой частью энергетического обследования. Она позволяет оценивать качество тепловой защиты ограждающих конструкций зданий и сооружений, контролировать функциональное и эксплуатационное состояние инженерных систем, идентифицировать скрытые и явные дефекты в них. Тепловизионная диагностика базируется на методах и средствах теплового контроля [1–20]. В свою очередь тепловой контроль основан на измерении, мониторинге и анализе температуры обследуемых объектов.

Главным условием применения теплового контроля является наличие в контролируемом объекте тепловых потоков. Процесс передачи тепловой энергии, выделение или поглощение теплоты в объекте контроля приводит к тому, что его температура изменяется относительно окружающей среды. Распределение температуры по поверхности объекта контроля является основным параметром в тепловом методе, так как несет информацию об особенностях процесса теплопередачи (теплообмена), о режиме работы объекта контроля, его внутренней структуре, наличии или отсутствии дефектов [3, 16, 21]. Тепловые потоки в контролируемом объекте могут возникать по различным причинам.

Практически любой строительный объект (здание, сооружение, строение), при наличии инженерных систем кондиционирования микроклимата, является сложной структурой с точки зрения теплообмена. Воздушный и температурно-влажностный режим такого объекта формируются под действием внешних метеорологических (климатических) воздействий, внутренних теплопоступлений от отопительных приборов, оборудования, присутствия людей (бытовые теплопоступления) и совместной работы ограждающих конструкций и инженерных систем (в первую очередь систем отопления и вентиляции) [2, 4, 6, 8, 10, 12, 14].

Постановка задачи. В связи с этим продолжает оставаться актуальным и практически значимым текущий и оперативный контроль качества теплозащитных оболочек, как вводимых в эксплуатацию, так эксплуатируемых и прошедших капитальный ремонт, реконструкцию или модернизацию зданий. Такой тепловой контроль (тепловизионная инспекция) позволяет определить фактические теплопотери через ограждающие конструкции и сделать итоговое заключение о классе энергоэффективности контролируемых объектов (рис. 1).

Термографирование объектов капитального и завершенного строительства, инженерно-технических систем, отдельных установок и их элементов выполняют с помощью инфракрасного прибора – тепловизора [22, 23].

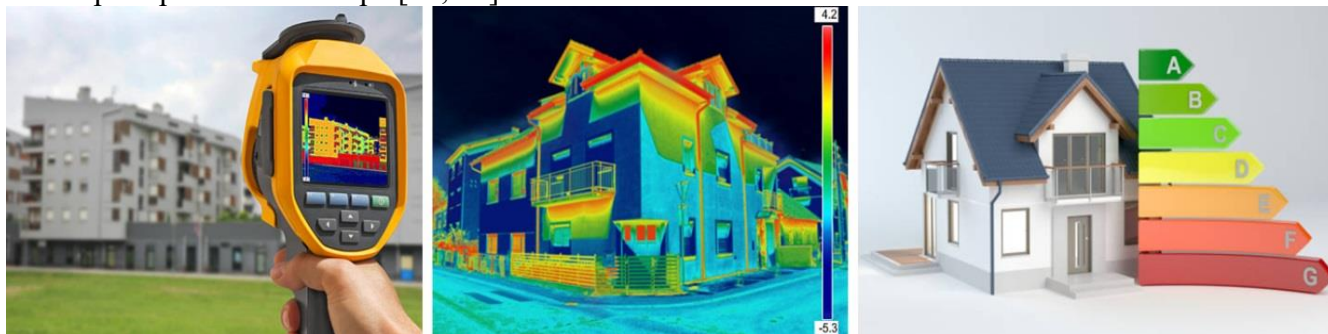


Рис. 1. Тепловизионный мониторинг современных объектов строительства в решении вопросов энергосбережения и повышения энергетической эффективности

Fig. 1. Thermal imaging monitoring of modern construction projects in addressing energy saving and energy efficiency issues

Особый интерес в настоящее время в проведении подобной тепловизионной (тепловой) диагностики наблюдается в отношении светопрозрачных фасадных систем зданий и сооружений, а также нестепрозрачных навесных вентилируемых фасадных систем объектов капитального и завершенного строительства [12, 13, 24–26].

В первом случае такой интерес обоснован высоким спросом на строительные объекты с большой площадью остекления для удовлетворения потребностей максимальной по времени естественной освещенности и инсоляции помещений.

Во втором случае – связан с увеличением количества капитальных ремонтов, модернизаций, реконструкций, реноваций в отношении существующих эксплуатируемых гражданских зданий и промышленных сооружений, необходимых для выполнения ужесточающихся требований к теплозащитным оболочкам различного назначения [1, 3, 5, 7, 9, 11]. Наряду с вышеиз-

ложенным, тепловизионная техника и сопутствующее контрольно-измерительное оборудование могут применяться для определения целого комплекса основных теплофизических свойств конструкционных, тепло- и гидроизоляционных строительных материалов и изделий: теплопроводности, температуропроводности, термического сопротивления, теплоемкости, тепловой активности, термостойкости и других [11, 13, 15, 17, 22, 27, 28].

Это обусловлено тем, что техническая сложность и большой объем экспериментальных исследований по определению качества, долговечности, надежности и безопасности традиционных и современных строительных материалов и изделий требуют разработки новых и усовершенствования существующих методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики [29–32]. При помощи этих методов и средств можно идентифицировать указанные свойства исследуемых строительных материалов и готовых изделий по определяемым теплофизическим характеристикам [11, 13, 15, 17, 19, 22, 23, 27, 28, 30, 32].

Методы исследования. Методологической основой исследования служат фундаментальные положения теорий теплопередачи, теплового контроля и инфракрасной диагностики, методы качественного и количественного анализа термограмм. Применяемые методы исследования и обработки полученных результатов базируются на действующих нормативных документах РФ, федеральных законах, современных научных работах и объектах интеллектуальной собственности отечественных и зарубежных авторов, классических учебных и справочных материалах.

Исследование можно условно разделить на две части. Первая часть посвящена представлению многоуровневой схемы комплексной неразрушающей диагностики теплотехнического состояния ограждающих конструкций объектов строительства и инженерных систем различного назначения по результатам термографирования и качественно-количественного анализа тепловых изображений, а также представлению некоторых результатов натурного тепловизионного обследования светопрозрачных ограждающих конструкций в виде оконных блоков и несветопрозрачных частей навесной вентилируемой фасадной системы объекта завершенного строительства на примере эксплуатируемого административно-производственного здания ЗАО «Вологодский Хлебокомбинат» (рис. 2). Тепловизионная диагностика данного объекта контроля и анализ ее результатов продиктованы необходимостью сокращения потребления энергетических ресурсов и экономией денежных средств ЗАО «Вологодский Хлебокомбинат».

Предложенная схема состоит из трех уровней. На каждом уровне есть пронумерованные последовательные (параллельные) этапы. Последовательная и (или) параллельная реализация предложенных этапов позволяет достичь поставленных целей. Так, на первом уровне представлены примеры светопрозрачных ограждающих и несветопрозрачных навесных вентилируемых фасадных систем объектов капитального и завершенного строительства, результаты термографирования гражданского здания, а также этапы сбора, анализа и обработки информации по контролируемому объекту. Анализ полученных термограмм (на втором и третьем уровнях) позволяет констатировать отсутствие технических и тепловых дефектов в обследуемых строительных конструкциях.

Тепловому контролю подвергались все наружные поверхности ограждающих конструкций обследуемого объекта завершенного строительства. Тепловизионная диагностика выполнялась в холодный период года (февраль 2021 года) тепловизором марки *Testo 875-2* с соблюдением всех норм и требований, предъявляемым к подобного рода обследованиям [1 – 20, 22, 27, 28, 30, 32].

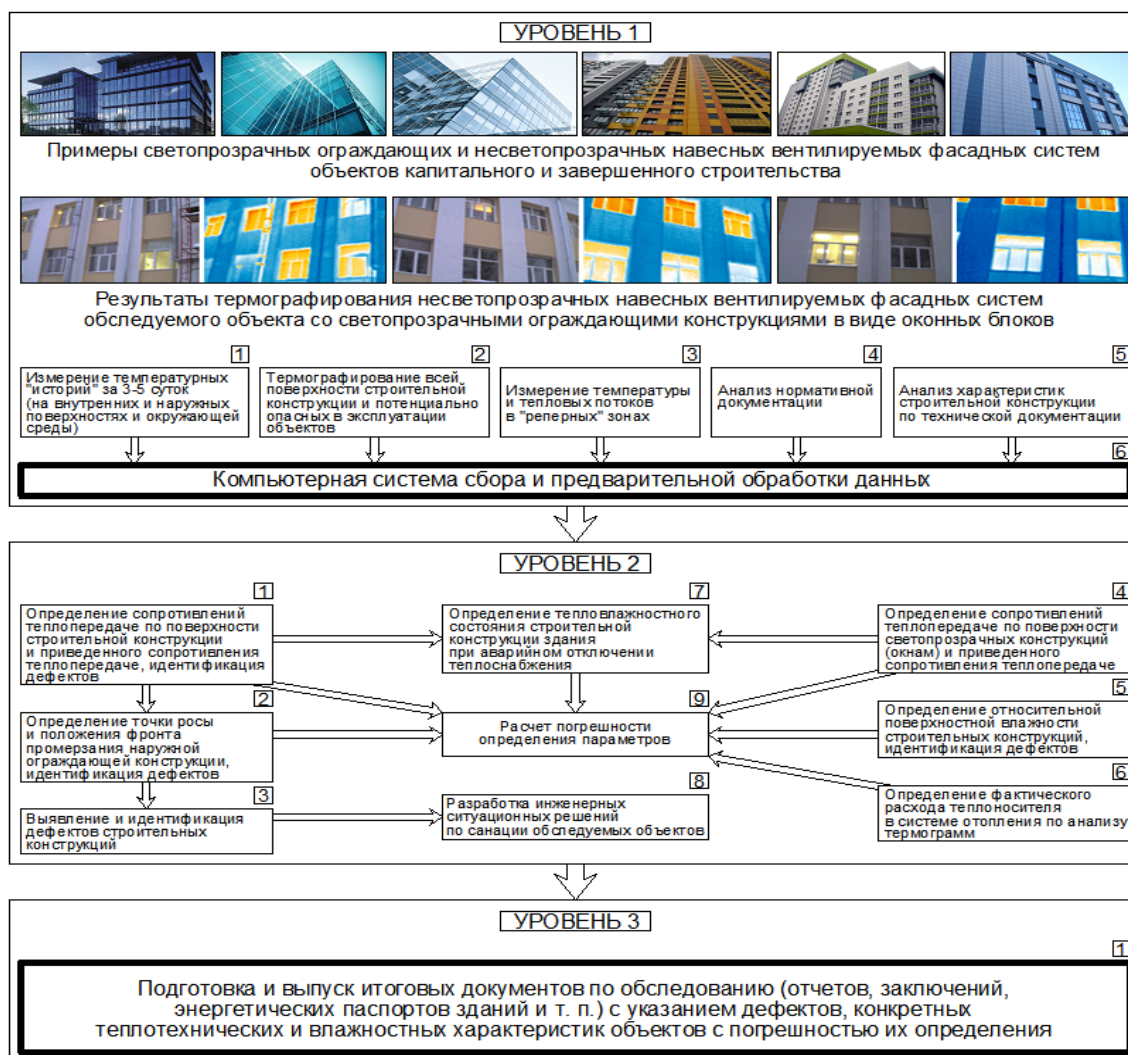


Рис.2. Многоуровневая графо-аналитическая схема, примеры и результаты тепловизионного мониторинга объектов строительства и их структурных элементов по анализу термограмм

Fig. 2. Multi-level graphic-analytical scheme, examples and results of thermal imaging monitoring of construction objects and their structural elements for the analysis of thermograms

Основные технические характеристики используемого тепловизионного контрольно-измерительного оборудования:

- 1) тип детектора – FPA 160×120, a.Si;
- 2) температурная чувствительность NETD – < 80 мК при 30 °С;
- 3) оптическое поле зрения / мин. фокусное расстояние – 32°×23° / 0,1 м (стандартный объектив);
- 4) частота обновления кадра – 9 Гц;
- 5) спектральный диапазон – 8...14 μm;
- 6) размер изображения – 640×480 / 0,4 м;
- 7) дисплей – ЖК, 3,5", 320×240;
- 8) точность измерений – ±2 °С или ±2 % от измер. знач.;
- 9) диапазон измерений: от –20 °С до 100 °С / от 0 °С до 280 °С (переключаемый);
- 10) вес / габариты – 900 г / 152×108×262 мм.

Качественный анализ термограмм по результатам тепловизионного мониторинга навесных вентилируемых фасадов ЗАО «Вологодский Хлебокомбинат» не выявил избыточных тепловых потерь в строительной оболочке контролируемого объекта (рис. 2).

Данный факт свидетельствует о высоком качестве монтажных работ по устройству нестепрозрачной навесной вентилируемой фасадной системы и светопрозрачных ограждающих

конструкций в виде оконных блоков, а также других строительных конструкций, элементов, инженерных систем и установок. Идентифицированные в процессе теплового контроля и качественного анализа тепловых изображений незначительные тепловые аномалии рекомендовано устранить (ликвидировать) с помощью утепления (герметизации) современными теплоизоляционными материалами [3, 15].

Методология тепловизионного мониторинга объектов строительства, инженерных систем, строительных материалов, изделий максимально подробно изложена в [2, 11, 14, 19] и реализована в строгом соответствии с ГОСТ Р 8.619-2006 «Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки», ПНСТ 57-2015 «Контроль неразрушающий. Инфракрасная термография. Система и оборудование. Часть 1. Описание характеристик», ГОСТ 34379-2018 «Конструкции ограждающие светопрозрачные. Правила обследования технического состояния в натуральных условиях».

Во второй части работы представлена экспериментальная установка, схема, алгоритм реализации и результаты метода активного теплового неразрушающего контроля основных теплофизических свойств – коэффициентов теплопроводности, термического сопротивления и теплопередачи конструкционных строительных материалов и изделий с помощью тепловизора, термографирования и анализа тепловых изображений (рис. 3).

Подобные исследования могут быть реализованы на втором уровне схемы (рис. 1).

Основная идея метода заключается в упрощении технической процедуры и повышении точности определения ключевых теплофизических характеристик (коэффициентов теплопроводности, температуропроводности, термического сопротивления и теплопередачи и др.) строительных материалов и изделий при стационарном тепловом режиме, а также расширении возможностей его применения на исследование теплопроводных качеств неоднородных однослойных строительных конструкций, находящихся, в том числе и в нестационарных температурных условиях [23, 26].

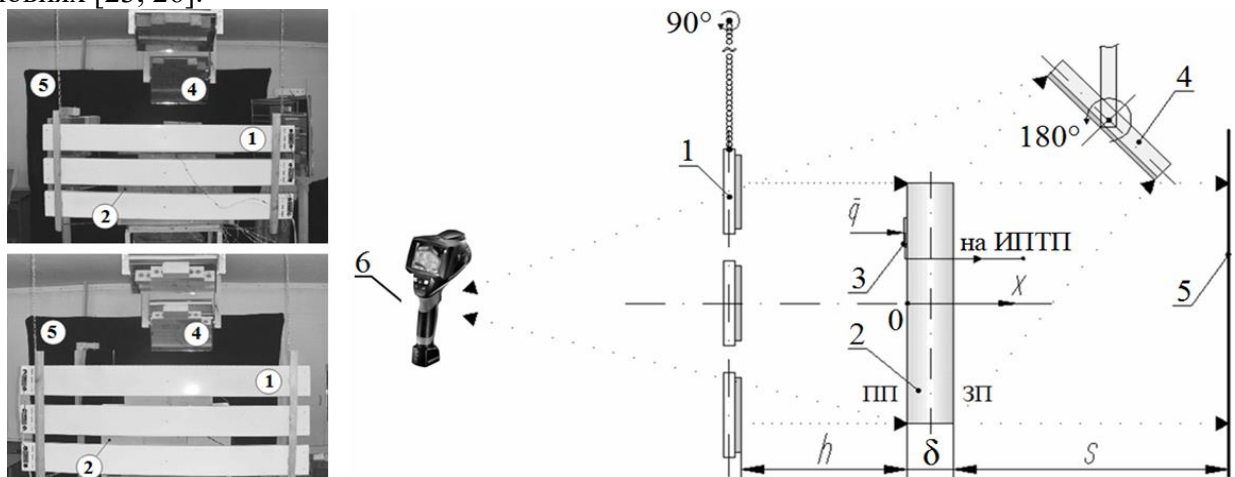


Рис. 3. Внешний вид экспериментальной установки и схема реализации метода активного теплового неразрушающего контроля основных теплофизических свойств строительных материалов и изделий: 1 – источник термостимуляции; 2 – объект контроля;

3 – преобразователь плотности теплового потока; 4 – зеркальный отражатель;

5 – светопоглощающий экран; 6 – тепловизор; ПП и ЗП – передняя и задняя поверхности объекта контроля; ИПТП – измеритель плотности теплового потока

Fig. 3. Appearance of the experimental setup and scheme for implementing the method of active thermal non-destructive testing of the main thermophysical properties of building materials and products: 1 – thermal stimulation source; 2 – object of control; 3 – heat flux density converter; 4 – mirror reflector; 5 – light-absorbing screen; 6 – thermal imager; PP and ZP - front and rear surfaces of the test object; IPTP - heat flux density meter

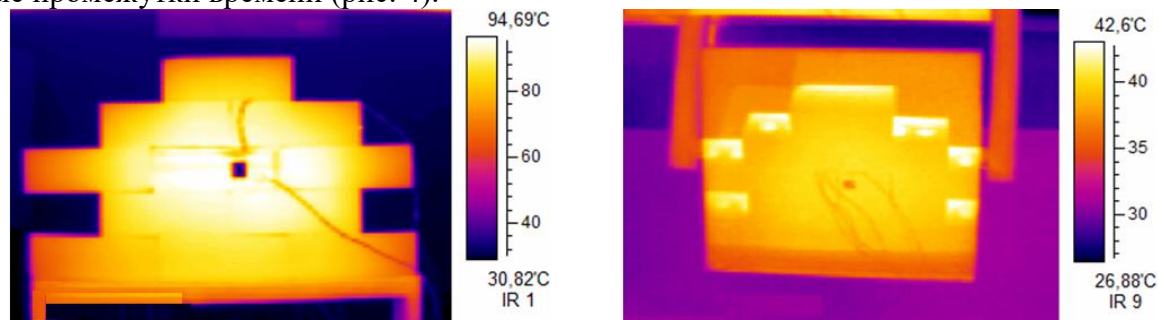
Обсуждение результатов. Рассмотрим краткий алгоритм и пример реализации предложенного метода на фрагменте ограждающей строительной конструкции в виде стенки из сили-

катных кирпичей (кирпич строительный 3-х пустотный М150 по ГОСТ 379-2015 «Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные»):

1. Тепловая стимуляция стенки источником инфракрасного излучения – электрическими инфракрасными излучателями марки Эколайн ЭЛК 10R суммарной мощностью $N = 3$ кВт.

2. Определение времени начала выхода стенки на стационарный тепловой режим $\tau = 27170$ с (экспериментально $\tau' = 30000$ с).

3. Термографирование поверхностей стенки тепловизором Testo 875-2 три раза через равные промежутки времени (рис. 4).



Передняя поверхность стенки ($x = 0$)
 $t_{max} = 94,69$ °C, $t_{min} = 61,45$ °C, $t_{av} = 78,07$ °C
Задняя поверхность стенки ($x = \delta$)
 $t_{max} = 42,60$ °C, $t_{min} = 35,50$ °C, $t_{av} = 39,05$ °C

Рис. 4. Термограммы поверхностей ограждающей строительной конструкции в виде стенки из силикатных кирпичей

Fig. 4. Thermograms of the surfaces of the enclosing building structure in the form of a wall of silicate bricks

4. Определение среднеинтегральных значений температур отдельных участков t_0 передней и t_δ задней поверхностей стенки соответственно (табл.1) в координатах $x = 0$ и $x = \delta$ (рис. 4).

5. Определение коэффициента теплопроводности, термического сопротивления и коэффициента теплопередачи стенки (табл.1).

Выбор термограмм поверхностей ограждающей строительной конструкции в виде стенки из силикатных кирпичей (рис. 4) осуществлен с учетом качества тепловых изображений, дающих максимально полную и точную информацию о температурном поле поверхностей объекта контроля.

Таблица 1. Расчетные значения приведенных коэффициентов теплопроводности, термического сопротивления и теплопередачи фрагмента ограждающей строительной конструкции в виде стенки из силикатных кирпичей

Table 1. Calculated values of the reduced coefficients of thermal conductivity, thermal resistance and heat transfer of a fragment of the enclosing building structure in the form of a wall of silicate bricks

№ п/п	q , Вт/м ²	δ , м	t_0 , °C	t_δ , °C	λ_t , Вт/(м·°C)	R , (м ² ·°C)/Вт	k , Вт/(м ² ·°C)
1	375	0,12	94,4	39,5	0,82	0,146	6,849
2			94,2	38,4	0,81	0,148	6,757
3			94,0	37,2	0,79	0,152	6,579
Средние значения/ Averages $\lambda_{t, av}$, Вт/(м·°C), R_{av} , (м ² ·°C)/Вт, k_{av} , Вт/(м ² ·°C)					0,81	0,148	6,757

Для фрагмента ограждающей строительной конструкции в виде стенки из силикатных кирпичей по результатам расчетов получили среднее значение коэффициента теплопроводности 0,81 Вт/(м·°C).

Данное значение согласуется с нормативной величиной (СП 23-101-2004. Свод правил по проектированию и строительству: Проектирование тепловой защиты зданий), равной 0,82 Вт/(м·°C). Средние значения коэффициентов термического сопротивления и теплопередачи составили соответственно 0,148 (м²·°C)/Вт и 6,757 Вт/(м²·°C).

Метод определения основных теплофизических свойств конструкционных строительных материалов и изделий с помощью тепловизионной измерительной техники, позволяет в процессе исследовательских, контрольных, определительных, лабораторных, стендовых, натурных

и эксплуатационных испытаний идентифицировать фактическое значение коэффициентов теплопроводности, термического сопротивления (сопротивления теплопередачи), теплопередачи ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Знание указанных величин позволяет количественно оценить теплотехнические свойства ограждающих конструкций объектов капитального и завершенного строительства и их соответствие или несоответствие нормативным требованиям, установить реальные теплопотери через наружные ограждения, проверить расчетные и конструктивные решения [5, 12].

Предложенная экспериментальная установка (рис. 3) позволяет методом активного теплового контроля исследовать и другие теплофизические свойства, как конструкционных, так и современных инновационных тепло- и гидроизоляционных строительных материалов и готовых изделий.

На основании проведенных научно-исследовательских изысканий авторы работы констатируют следующие положения и факты:

1. Тепловой неразрушающий контроль позволяет с высокой степенью технологичности и безопасности проводить оценку и диагностику текущего состояния и потенциала энергосбережения различных объектов строительства и их структурных элементов.

2. Тепловизионное обследование обеспечивает возможность безопасного и непрерывного мониторинга теплового состояния объектов контроля без вывода их из эксплуатации, прогнозирования и выявления дефектов на ранней стадии их развития, сокращение затрат на техническое обследование и т. д.

3. Практический опыт предыдущих аналогичных обследований объектов капитального и завершенного строительства, инженерных систем и подсистем жизнеобеспечения с применением законов и принципов теплового контроля подтвердил – тепловизионный мониторинг является одним из наиболее прогрессивных и востребованных направлений качественной и количественной оценки функционирования различных объектов жилищно-коммунального и топливно-энергетического секторов страны.

4. Предложенная многоуровневая графо-аналитическая схема комплексной диагностики теплотехнического состояния ограждающих конструкций объектов строительства с помощью тепловизора и качественно-количественного анализа термограмм является максимально полной среди известных аналогов и прототипов.

5. Представленный метод активного теплового неразрушающего определения основных теплофизических свойств конструкционных строительных материалов и изделий, также экспериментальная установка для его реализации, позволяют в различных условиях и режимах исследовать весь комплекс теплотехнических характеристик с помощью тепловизора и сопутствующего контрольно-измерительного оборудования.

6. Описанные в работе особенности теплового неразрушающего контроля объекта завершенного строительства на примере административно-производственного гражданского здания и определения основных теплофизических свойств конструкционных материалов и готовых изделий с помощью тепловизионной измерительной техники могут найти широкое практическое применение в решении стратегически важных внутри- и межнациональных вопросов сохранения и роста потенциала энерго- и ресурсосбережения, энергоэффективности, экологической безопасности, охраны окружающей природной среды.

Вывод. В связи с ростом популярности применения тепловизионной и другой измерительной техники, основная идея исследования заключается в представлении некоторых особенностей ее применения в: комплексном тепловом неразрушающем контроле объектов капитального и завершенного строительства, инженерных систем, установок, оборудования различного функционально-технологического и эксплуатационного назначения; качественном анализе тепловых изображений объектов тепловизионного мониторинга с возможностью визуальной идентификации дефектов различной природы происхождения; комплексном определении ключевых теплофизических свойств строительных материалов и изделий, выполняющих конструкционные, несущие, тепло- и гидроизоляционные и другие функции.

Полученные результаты позволяют осуществлять локализацию и последующую количественную оценку теплозащитных оболочек различных эксплуатируемых строительных объектов и их структурных элементов, а также термических характеристик отдельных фрагментов ограждающих конструкций, классических и инновационных теплоизоляционных материалов и изделий, применяемых в них.

Библиографический список:

1. Развитие и особенности диагностики строительных конструкций с применением тепловизионной съемки / А. И. Бедов, А. И. Габитов, А. С. Салов [и др.] // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 1(87). – С. 59-70. – DOI 10.33979/2073-7416-2020-87-1-59-70.
2. Lucchi E. Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review / E. Lucchi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 82. – pp. 3077-3090. – DOI 10.1016/j.rser.2017.10.031.
3. Использование тепловизионной съемки для поиска скрытых дефектов / В. А. Шинкевич, Д. А. Гресь, И. И. Еремеев, Г. Д. Петров // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2020. – № 6(7). – С. 285-295.
4. Comparative analysis of infrared thermography and CFD modelling for assessing the thermal performance of buildings / C. Morón, D. Ferrández, R. Felices, P. Saiz // Energies. – 2018. – Vol. 11. – No 3. – P. 638. – DOI 10.3390/en11030638.
5. Плотников, Е. А. Оценка сокращения тепловых потерь при замене оконного блока на основе данных тепловизионного обследования / Е. А. Плотников, О. В. Руденко // Молодой ученый. – 2020. – № 21(311). – С. 579-580.
6. A model for the improvement of thermal bridges quantitative assessment by infrared thermography / G. Baldinelli, F. Bianchi, A. Rotili [et al.] // Applied Energy. – 2018. – Vol. 211. – Pp. 854-864. – DOI 10.1016/j.apenergy.2017.11.091.
7. Аспекты тепловизионного обследования энергооборудования / Р. Б. Гольдман, В. А. Щебетеев, А. В. Ошатицкий [и др.] // Colloquium-journal. – 2021. – № 10-1(97). – С. 54-55.
8. Locating hidden elements in walls of cultural heritage buildings by using infrared thermography / H. Glavaš, T. Barić, M. Hadzima-Nyarko, I. H. Buljan // Buildings. – 2019. – Vol. 9. – No 2. – P. 32. – DOI 10.3390/buildings9020032.
9. Игнатюк, А. С. Информационная система тепловизионного обследования конструкций здания / А. С. Игнатюк, С. Д. Николенко, С. А. Сазонова // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2021. – № 2(24). – С. 88-94.
10. Improving the detection of thermal bridges in buildings via on-site infrared thermography: The potentialities of innovative mathematical tools / S. Sfarra, S. Perilli, A. Ciccone [et al.] // Energy and Buildings. – 2019. – Vol. 182. – Pp. 159-171. – DOI 10.1016/j.enbuild.2018.10.017.
11. Карпов, Д. Ф. Комплексная энергосберегающая диагностика технического состояния ограждающих конструкций объектов капитального строительства и инженерных систем на основе теплового контроля / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Сеницын // Научно-технический журнал «Энергосбережение и водоподготовка». – 2020. – № 2 (124). – С. 29-33.
12. Heat loss from defects of hinged facade systems of buildings / A. E. Rusanov, A. Kh. Baiburin, D. A. Baiburin, V. Bianco // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – No 3(95). – Pp. 57-65. – DOI 10.18720/MCE.95.6.
13. Карпов, Д. Ф. Некоторые особенности и результаты теплового контроля навесных вентилируемых фасадных систем объектов капитального строительства / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Сеницын, Н. Н. Монархин, А. Г. Гудков // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47. – № 1. – С. 147-155. doi:10.21822/2073-6185-2020-47-1-147-155.
14. Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: A review-Post-processing procedures / I. Garrido, R. Otero, P. Arias, S. Lagüela // Applied Energy. – 2020. – Vol. 266. – P. 114857. – DOI 10.1016/j.apenergy.2020.114857.
15. Карпов Д. Ф. Применение активного и пассивного теплового контроля в дефектоскопии строительных материалов и изделий, ограждающих конструкций зданий и сооружений // Строительные материалы и изделия, 2019. – Т. 2. – № 4. – С. 39-44.
16. Kolesnichenko, S. Detection of dangerous defects and damages of steel building structures by active thermography / S. Kolesnichenko, A. Popadenko, Y. Selyutyn // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1038 MSF. – Pp. 417-423. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.417.
17. Карпов, Д. Ф. О возможности применения тепловизионной съемки для контроля теплозащитных качеств ограждающих конструкций строительных объектов / Д.Ф. Карпов // XIX Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2018»: материалы конференции (21-23 марта 2018 г.). В 5 ч. Ч. 4. – Ухта: УГТУ, 2019. – С. 111-113.
18. Building envelope modeling calibration using aerial thermography / N. Bayomi, S. Nagpal, T. Rakha, J. E. Fernandez // Energy and Buildings. – 2021. – Vol. 233. – P. 110648. – DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110648.

19. Карпов, Д. Ф. Обзор нормативных и руководящих документов по тепловизионному обследованию зданий и сооружений / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, Е. Г. Касьянов, В. П. Никулин // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 22-23 ноября 2018 г. Часть 2. – Рубцовск: РИИ (филиал) ФГБОУ ВО «АГТУ им. И.И. Ползунова», 2018. – С. 301-306.
20. Golovin, Y. I. Dynamic Thermography for Technical Diagnostics of Materials and Structures / Y. I. Golovin, D. Y. Golovin, A. I. Tyurin // Russian metallurgy (Metally). – 2021. – Vol. 2021. – No 4. – Pp. 512-527. – DOI 10.1134/S0036029521040091.
21. Milovanović, B. Principal component thermography for defect detection in concrete / B. Milovanović, M. Gaši, S. Gumbarević // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – No 14. – P. 1-21. – DOI 10.3390/s20143891.
22. Карпов, Д. Ф. Активный метод теплового контроля теплопроводности строительных материалов и изделий / Д. Ф. Карпов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. – № 7. – С. 57-62. doi:10.34031/article_5d35d0b79c34c5.75173950.
23. Патент № 2530473 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Устройство и способ комплексного определения основных теплофизических свойств твердого тела : № 2013119005/28 : заявл. 23.04.2013 : опубл. 10.10.2014 / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Синицын [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный университет» (ВоГУ).
24. Васильева, И. Л. Снижение энергопотребления здания с применением конструкции двойного фасада / И. Л. Васильева, Д. В. Немова, Н. И. Ватин // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – № 3(143). – С. 18-25.
25. Немова, Д. В. Снижение энергопотребления здания с применением конструкции двойного стеклянного фасада / Д. В. Немова, Н. И. Ватин, И. Л. Васильева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 3(14). – С. 17-25.
26. Васильева, И. Л. Внедрение двойных стеклянных фасадов на территории Российской Федерации / И. Л. Васильева, Д. В. Немова, Н. И. Ватин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2019. – № 9(84). – С. 51-62. – DOI 10.18720/CUBS.84.4.
27. Патент № 2488102 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Способ определения теплопроводности твердого тела активным методом теплового неразрушающего контроля : № 2012106323/28 : заявл. 21.02.2012 : опубл. 20.07.2013 / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Синицын, В. И. Игонин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет» (ВоГТУ).
28. Karpov, D. Determination of surface temperature and moisture fields of structural elements of buildings by thermal imaging / D. Karpov, M. Pavlov, R. Salikhova // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 141. – Pp. 253-258. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67654-4_28.
29. Соловьева, А. А. Исследование развития моделей случайных величин в расчетах надежности строительных конструкций при неполной статистической информации / А. А. Соловьева, С. А. Соловьев // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16. – № 5. – С. 587-607. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.5.587-607.
30. Karpov, D. Thermal method for non-destructive control of actual coolant mass flow through a heating device / D. Karpov D, A. Sinitsyn // ICEPP-2020. E3S Web of Conferences. Vol. 161, 01041 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202016101041.
31. Соловьева, А. А. Метод оценки надежности элементов плоских ферм на основе р-блоков / А. А. Соловьева, С. А. Соловьев // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16. – № 2. – С. 153-167. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.2.153-167.
32. Karpov D. Algorithm for integrated non-destructive diagnostics of technical condition of structures of buildings and constructions using the thermogram analysis / D. Karpov D, A. Sinitsyn // ICEPP-2020. E3S Web of Conferences. Vol. 161, 01040 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202016101040.

References:

1. A. I. Bedov, A. I. Gabitov, A. S. Salov Development and features of diagnostics of building structures using thermal imaging. [Stroitel'stvo i rekonstrukciya.] *Construction and reconstruction*. 2020; 1(87): 59-70. – DOI 10.33979/2073-7416-2020-87-1-59-70. (In Russ.).
2. Lucchi E. Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review / E. Lucchi. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018; 82: 3077-3090. – DOI 10.1016/j.rser.2017.10.031.
3. V. A. SHinkevich, D. A. Gres', I. I. Eremeev, G. D. Petrov. The use of thermal imaging to search for hidden defects. [Aktual'nye problemy voenno-nauchnyh issledovaniy]. *Actual problems of military scientific research* 2020; 6(7): 285-295. (In Russ.).
4. Comparative analysis of infrared thermography and CFD modelling for assessing the thermal performance of buildings / C. Morón, D. Ferrández, R. Felices, P. Saiz. *Energies*. 2018; 11 (3): 638. – DOI 10.3390/en11030638.
5. Plotnikov, E. A. Assessment of the reduction of heat losses when replacing a window block based on thermal imaging survey data [Molodoj uchenyj]. *Young scientist*. 2020; 21(311): 579-580. (In Russ.).

6. A model for the improvement of thermal bridges quantitative assessment by infrared thermography / G. Baldinelli, F. Bianchi, A. Rotili [et al.]. *Applied Energy*. 2018; 211:854-864. –DOI 10.1016/j.apenergy.2017.11.091.
7. Aspects of thermal imaging inspection of power equipment. R. B. Goldman, V. A. Shchebetev, A.V. Oshatinsky [et al.]. *Colloquium-journal*. 2021;10-1(97): 54-55. (In Russ.).
8. Locating hidden elements in walls of cultural heritage buildings by using infrared thermography / H. Glavaš, T. Barić, M. Hadzima-Nyarko, I. H. Buljan. *Buildings*. 2019; 9(2): 32. – DOI 10.3390/buildings9020032.
9. Ignatyuk A. S. Information system of thermal imaging inspection of building structures. A. S. Ignatyuk, S. D. Nikolenko, S. A. Sazonova. [Informacionnye tekhnologii v stroitel'nyh, social'nyh i ekonomicheskikh sistemah] *Information technologies in construction, social and economic systems*. 2021; 2(24): 88-94. (In Russ.).
10. Improving the detection of thermal bridges in buildings via on-site infrared thermography: The potentialities of innovative mathematical tools. S. Sfarra, S. Perilli, A. Ciccone [et al.]. *Energy and Buildings*. 2019;1(182):159-171. – DOI 10.1016/j.enbuild.2018.10.017.
11. Karpov D. F. Integrated energy-saving diagnostics of the technical condition of fencing structures of capital construction objects and engineering systems based on thermal control / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinitsyn. [Energobezopasnost' i vodopodgotovka] *Energy saving and water treatment*. 2020; 2 (124): 29-33. (In Russ.).
12. Heat loss from defects of hinged facade systems of buildings / A. E. Rusanov, A. Kh. Baiburin, D. A. Baiburin, V. Bianco. *Magazine of Civil Engineering*. 2020; 3(95): 57-65. – DOI 10.18720/MCE.95.6.
13. Karpov D. F. Features of mounted ventilated facade heat control systems in construction projects / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinitsyn, N. N. Monarkin, A. G. Gudkov [Vestnik Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki] *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2020; 47(1): 147-155. (In Russ.).
14. Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: A review-Post-processing procedures I. Garrido, R. Otero, P. Arias, S. Lagüela. *Applied Energy*. 2020;266:114857. – DOI 10.1016/j.apenergy.2020.114857.
15. Karpov D. F. Application of active and passive thermal control in defectoscopy of construction materials and products, filler structures of buildings and constructions. [Stroitel'nye materialy i izdeliya Construction] *Building Materials and Products*. 2019; 2(4): 39-44. (In Russ.).
16. Kolesnichenko, S. Detection of dangerous defects and damages of steel building structures by active thermography / S. Kolesnichenko, A. Popadenko, Y. Selyutyn. *Materials Science Forum*. 2021; 1038 MSF: 417-423. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.417.
17. Karpov, D. F. About the possibility of using thermal imaging for monitoring thermal qualities of the walling of construction projects / D. F. Karpov // XIX International youth scientific conference “Severgeoteh-2018”: materials of the conference (21-23 March 2018). In 5 parts. Part 4. – Ukhta: Ukhta State Technical University, 2019; 111-113. (In Russ.).
18. Building envelope modeling calibration using aerial thermography / N. Bayomi, S. Nagpal, T. Rakha, J. E. Fernandez. *Energy and Buildings*. 2021; 233: 110648. – DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110648.
19. Karpov D. F. Review of regulatory and guidance documents for thermal imaging inspection of buildings and structures / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, E. G. Kasyanov, V. P. Nikulin // Materials VIII all-Russian scientific and practical conference with international participation 22-23 November 2018. Part 2. – Rubtsovsk: RII (branch) of the Federal state budgetary educational institution of higher education “Altai state technical University. I. I. Polzunova”. 2018; 301-306. (In Russ.).
20. Golovin, Y. I. Dynamic Thermography for Technical Diagnostics of Materials and Structures / Y. I. Golovin, D. Y. Golovin, A. I. Tyurin. *Russian metallurgy (Metally)*. 2021; 2021(4):512-527. – DOI 10.1134/S0036029521040091.
21. Milovanović, B. Principal component thermography for defect detection in concrete / B. Milovanović, M. Gaši, S. Gumbarević. *Sensors*. 2020; 20(14): 1-21. – DOI 10.3390/s20143891.
22. Karpov D. F. The active method of control the thermal conductivity of building materials and products [Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova] *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, 2019; 7: 57-62. (In Russ.).
23. Patent No. 2530473 C1 Russian Federation, IPC G01N 25/18. Device and method of complex determination of the basic thermophysical properties of a solid : No. 2013119005/28 : application 23.04.2013 : publ. 10.10.2014 / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinitsyn [et al.] ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Vologda State University” (VoSU). (In Russ.).
24. Vasilyeva, I. L. Reduction of energy consumption of a building using the construction of a double facade / I. L. Vasilyeva, D. V. Nemova, N. I. Vatin. [Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury] *Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture*. 2020; 3(143): 18-25. (In Russ.).
25. Nemova, D. V. Reduction of energy consumption of a building using the construction of a double glass facade / D. V. Nemova, N. I. Vatin, I. L. Vasilyeva. [Zhilishchnoe ho-zyajstvo i kommunal'naya infrastruktura] *Housing and communal infrastructure*. 2020; 3(14): 17-25. (In Russ.).
26. Vasilyeva, I. L. Introduction of double glass facades on the territory of the Russian Federation / I. L. Vasilyeva, D. V. Nemova, N. I. Vatin. [Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij] *Construction of unique buildings and structures*. 201; 9(84): 51-62. – DOI 10.18720/CUBS.84.4. (In Russ.).
27. Patent No. 2488102 C1 Russian Federation, IPC G01N 25/18. Method for determining the thermal conductivity of a solid by the active method of thermal non-destructive control : No. 2012106323/28 : application. 02/21/2012 :

publ. 20.07.2013 / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinitsyn, V. I. Igonin ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Vologda State Technical University" (VoGTU). (In Russ.).

28. Karpov, D. Determination of surface temperature and moisture fields of structural elements of buildings by thermal imaging / D. Karpov, M. Pavlov, R. Salikhova. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021; 141: 253-258. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67654-4_28.

29. Solovyova, A. A. Investigation of the development of models of random variables in calculations of reliability of building structures with incomplete statistical information / A. A. Solovyova, S. A. Solovyov. *Vestnik MGSU*. 2021; 16(5): 587-607. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.5.587-607. (In Russ.).

30. Karpov D. Thermal method for non-destructive control of actual coolant mass flow through a heating device /D. Karpov D, A. Sinitsyn. ICEPP-2020. E3S Web of Conferences. 2020;161: 01041. doi.org/10.1051/e3sconf/202016101041.

31. Solovyova, A. A. Method for assessing the reliability of elements of flat trusses based on p-blocks / A. A. Solovyova, S. A. Solovyov. *Vestnik MGSU*. 2021;16(2): 153-167. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.2.153-167. (In Russ.).

32. Karpov D. Algorithm for integrated non-destructive diagnostics of technical condition of structures of buildings and constructions using the thermogram analysis / D. Karpov D, A. Sinitsyn // ICEPP-2020. E3S Web of Conferences. 2020; 161: 01040 (. doi.org/10.1051/e3sconf/202016101040).

Сведения об авторах:

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель; karpovdf@vogu35.ru

Павлов Михаил Васильевич, кандидат технических наук; pavlovmv@vogu35.ru

Гудков Александр Геннадьевич, доцент, кандидат технических наук; gudkovag@vogu35.ru

Information about authors:

Denis F. Karpov, Senior Lecturer, karpovdf@vogu35.ru

Mikhail V. Pavlov, Cand. Sci. (Eng); pavlovmv@vogu35.ru

Alexander G. Gudkov, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof.; gudkovag@vogu35.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 07.10.2021.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 25.10.2021.

Принята в печать/Accepted for publication 26.10. 2021.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.042

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-159-170

Оригинальная статья /Original Paper

Статический расчет несущей способности двухпоясной мембранно-стержневой системы с учетом воздухоопорного эффекта с применением численной процедуры Эйлера-Коши

А.Ю. Ким, М.Ф. Амоян, В.Е.Хапилин

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, Россия

Резюме. Цель. Целью данного исследования является создание легкого, достаточно жесткого несущего покрытия, которое можно усиливать воздухоопорным эффектом при перегрузках во время форс-мажорных обстоятельств. Данные сооружения можно смонтировать в очень короткое время, как в условиях боевых действий, так и при стихийных бедствиях. **Метод.** Исследование выполнено в программном комплексе «Программа расчета мембранно-пневматических сооружений шаговым методом с применением численной процедуры Эйлера – Коши» по методике статического расчета мембранно-пневматических систем с учетом нелинейных факторов. **Результат.** Разработана методика расчета воздухоопорных двухпоясных мембранно-стержневых систем покрытий больших пролетов итерационным методом приращений параметров с применением на итерации МКЭ и численной процедуры Эйлера-Коши третьего порядка точности. Произведено технико-экономическое сравнение нелинейных линзообразных мембранно-пневматических систем двух типов при действии расчетных снеговых нагрузок. **Вывод.** В практике проектирования эффект усиления покрытия за счет воздухоопорного эффекта ориентировочно можно принимать равным трем. Применение воздухоопорного эффекта позволяет сэкономить значительные средства, иногда достигающие до 25% процентов от сметной стоимости сооружения за счет применения элементов конструкций меньшего сечения.

Ключевые слова: двухпоясные мембранно-стержневые системы, воздухоопорный эффект, численная процедура Эйлера – Коши, большепролетная мембранно-стержневая система, несущая способность

Для цитирования: А.Ю. Ким, М.Ф. Амоян, В.Е.Хапилин. Статический расчет несущей способности двухпоясной мембранно-стержневой системы с учетом воздухоопорного эффекта с применением численной процедуры Эйлера-Коши. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021;48(4):159-170. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-159-170

Static calculation of the bearing capacity of a two-pole membrane-rod system taking into account the air-bearing effect using the numerical Euler-Cauchy procedure

A.Yu. Kim, M.F. Amoyan, V.E. Khapilin

Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University,
77 Politekhnicheskaya Str., Saratov 410054, Russia

Abstract. Objective. The purpose of this study is to create a light, sufficiently rigid bearing coating, which can be strengthened by the air-supporting effect during overloads during force majeure. These structures can be erected in a very short time, both in combat conditions and during natural disasters. **Method.** The study was carried out in the software package "Program for calculating membrane-pneumatic structures by the step method using the numerical Euler-Cauchy procedure" according to the method of static calculation of membrane-pneumatic systems, taking into account non-linear factors. **Result.** A method for calculating air-supported double-belt membrane-rod systems for cover-

ing large spans by the iterative method of parameter increments using FEM and the Euler-Cauchy numerical procedure of the third order of accuracy has been developed. **Conclusion.** In design practice, the effect of strengthening the coating due to the air-supporting effect can approximately be taken equal to three. The use of the air-supported effect makes it possible to save significant funds, sometimes reaching up to 25% of the estimated cost of the structure due to the use of structural elements of a smaller section.

Keywords: two-belt membrane-rod systems, air support effect, Euler-Cauchy numerical procedure, long-span membrane-rod system, load-bearing capacity

For citation: A.Yu. Kim, M.F. Amoyan, V.E. Khapilin. Static calculation of the bearing capacity of a two-pole membrane-rod system taking into account the air-bearing effect using the numerical Euler-Cauchy procedure. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48(4):159-170. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-159-170

Введение. Авторы статьи раскрывают проблему усиления несущей способности большепролетной мембранно-стержневой системы за счет недорогих и эффективных способов с помощью мгновенных увеличений нагрузок на сооружение. Научных работ в таком направлении очень мало и они всегда вызывают большой интерес у исследователей. Данные системы авторы статьи рекомендуют применять для строительства в регионах с суровыми климатическими условиями, в основном для нужд МЧС и Министерства обороны. Судя по последним заявлениям министра обороны РФ Шойгу С.К. вопрос строительства нескольких городов в Сибири вопрос решенный, поэтому для развития современной инфраструктуры необходимо применять такие достаточно эффективные и быстровозводимые сооружения.

Данные сооружения могут быть универсального назначения и ими можно перекрывать достаточно большую площадь объектов (рис. 1).

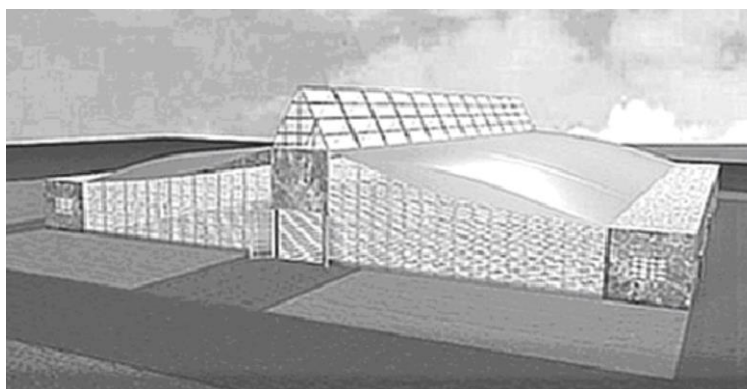


Рис. 1. Быстровозводимое мембранно-стержневое сооружение (составлено авторами)
Fig. 1. Prefabricated membrane-rod structure (compiled by the authors of the article)

Такие сооружения можно строить и на вечной мерзлоте, например в Арктике, где в настоящее время разворачивается Арктическая группировка российских войск. Данные сооружения достаточно утеплены, и в них можно легко организовать отопление с помощью автономных котельных на угле или любом другом топливе. Удобней всего для фундамента таких сооружений применять буронабивные сваи. Такие сваи показали себя очень хорошо при возведении зданий на вечной мерзлоте, и они достаточно экономичные [6,7,10]. В данных сооружениях можно размещать как личный состав военной группировки, так и необходимую технику, что очень удобно и экономично. Технология возведения таких быстровозводимых сооружений достаточно проста и известна. Фактически это сооружения заводского изготовления, которые привозятся на место, например транспортной авиацией, и здесь бригадой собираются уже на готовый фундамент. После возведения сооружения, требуется подключение его ко всем коммуникациям [3,9].

Удобно и относительно дешево применять такие сооружения для спортивных целей, например для плавательного бассейна. Данное сооружение может быть возведено достаточно быстро, все основные строительные конструкции и мембраны могут быть выполнены из алюминиевых конструкций, что очень удобно и дешево, так как такие конструкции гораздо меньше подвержены коррозии, чем стальные конструкции.

Известно, что сильно коррозия проявляет себя во влажной среде, а особенно если добавляется в воду хлорсодержащие вещества, поэтому очень важно защищать поверхность алюминия с помощью покраски и других мер. Детали крепления мембран к конструкциям, должны быть оцинкованным, а для фасада сооружения, обязательно нужно использовать детали из нержавеющей стали [4, 5].

Постановка задачи. Целью данного исследования является создание легкого, достаточно жесткого несущего покрытия, которое можно усиливать воздухоопорным эффектом при перегрузках во время форс-мажорных, т.е. чрезвычайных обстоятельств.

Методы исследования. Авторами статьи проведено численное исследование на ЭВМ несущей способности нелинейной двухпоясной мембранно-стержневой системы покрытия пролетом шестьдесят метров без усиления воздухоопорным эффектом и с усилением.

Для этого был использован программный комплекс «Программа расчета мембранно-пневматических сооружений шаговым методом с применением численной процедуры Эйлера – Коши».

В основе данного программного комплекса лежит методика статического расчета мембранно-пневматических систем с учетом нелинейных факторов, таких как показана на рис. 2.

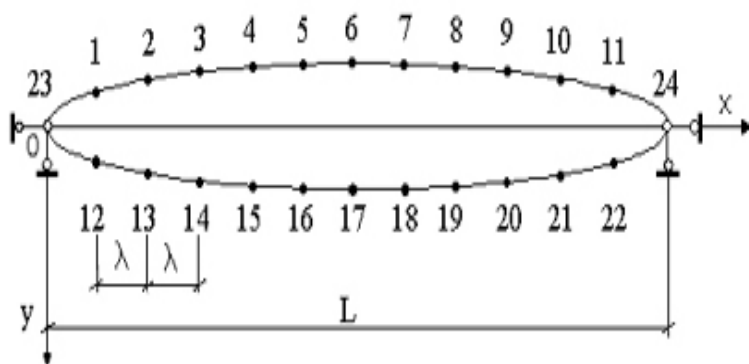


Рис. 2. Расчетная схема мембранно-пневматического сооружения*
*(составлено авторами статьи)

Fig 2. Calculation scheme of the membrane-pneumatic structure*
*(compiled by the authors of the article)

Для расчета применялся итерационный метод с численной процедурой Эйлера-Коши третьего порядка точности. Для расчета пневматических сооружений многими как отечественными авторами, так и зарубежными были применены шаговые методы с применением на шаге метода конечных элементов [8,14-20]. Впервые эти попытки в своей книге описал в 1983 году советский ученый В.В. Ермолов [1,2,11].

Далее авторами статьи было проведено определение максимальной несущей способности той же мембранно-стержневой системы, но уже в воздухоопорном режиме эксплуатации. Сопоставляемые системы рассчитаны на одни и те же нагрузки в соответствии с нормами проектирования капитальных покрытий

Приводим табл. 1 с результатами расчета несущей двухпоясной системы при отсутствии избыточного давления воздуха под покрытием (задача 1).

Несущая способность двухпоясной системы пролетом 60 метров при отсутствии избыточного давления воздуха во внутреннем помещении под покрытием, $p = 0$ па;

Толщина верхней мембраны 3 мм, толщина нижней мембраны 4 мм.

Таблица 1. Результаты статического расчета несущей двухпоясной мембранно-стержневой системы пролетом 60 метров *
Table 1. The results of the static calculation of the bearing two-belt membrane-rod system with a span of 60 meters*

№	Силовая нагрузка Power load	Узловая нагрузка Nodal load	Температура или осадка Temperature or precipitation	Прогиб в среднем узле 6 Deflection at the middle node 6
1	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	1500 Н	-	<u>0,009751 м</u>
2	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q2 =1373 Н	11797,5 Н	-	<u>0,076820 м</u>
3	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q3 =1373 Н	1) 1500 Н 2) 11797,5Н 3) 1500 Н	-	<u>0,073577 м</u>
4	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	1500 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T1	<u>-0,049406 м</u>
5	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	1500 Н	Температура/ Temperature T1, Осадка опор/ Draft supports VC	<u>-0,234022 м</u>
6	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q2 =1373 Н	11797,5 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T2	<u>0,209704 м</u>
П.1	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	1500 Н	Вертикальная осадка опор/ Vertical settlement of supports VC	<u>0,035396 м</u>
ПП.2	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q2 =1373 Н	11797,5 Н	Вертикальная осадка опор/ Vertical settlement of supports VC	<u>-0,102479 м</u>
ПП.3	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q2 =1373 Н	11797,5 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T1	<u>0,018635 м</u>
ПП.4	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	1500 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T2	<u>0,142743 м</u>

*Составлено авторами/ Compiled by the authors

Далее было проведено численное исследование на этой же мембранно-стержневой системе, но с увеличенной толщиной верхней и нижней мембран (Задача 2).

Несущая способность двухпоясной системы пролетом 60 метров при отсутствии избыточного давления воздуха во внутреннем помещении под покрытием, $p = 0$ па.

Толщина верхней мембраны 4 мм, толщина нижней мембраны 6 мм

Таблица 2. Результаты статического расчета несущей двухпоясной мембранно-стержневой системы пролетом 60 метров с увеличенной толщиной мембран
Table 2. The results of the static calculation of the bearing two-belt membrane-rod system with a span of 60 meters with an increased thickness of the membranes

№	Силовая нагрузка Power load	Узловая нагрузка Nodal load	Температура или осадка Temperature or precipitation	Прогиб в среднем узле 6 Deflection at the middle node 6
1	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	1500 Н	-	<u>0,008641 м</u>
2	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	11797,5 Н	-	<u>0,066816 м</u>
3	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_3 = 1373$ Н	1) 1500 Н 2) 11797,5 Н 3) 1500 Н	-	<u>0,063643 м</u>
4	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	1500 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T_1	<u>-0,046305 м</u>
5	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	1500 Н	Температура/ Temperature T_1 , Осадка опор/ Draft supports VC	<u>-0,235432 м</u>
6	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	11797,5 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T_2	<u>0,199604 м</u>
П.1	Собственный вес/ dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	1500 Н	Вертикальная осадка опор/ Vertical settlement of supports VC	<u>0,029396 м</u>
ПП.2	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	11797,5 Н	Вертикальная осадка опор/ Vertical settlement of supports VC	<u>-0,103368 м</u>
ПП.3	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	11797,5 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T_1	<u>0,017535 м</u>
ПП.4	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	1500 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T_2	<u>0,139742 м</u>

*Составлено авторами/ Compiled by the authors

Далее приводим табл. 3 с результатами расчета двухпоясной системы при наличии избыточного давления воздуха во внутреннем помещении под покрытием $P = 4300$ Па. Так называемая, задача с воздухоопорным эффектом, когда производится при больших нагрузках подкачка воздуха во внутреннее помещение сооружения (Задача 3). Несущая способность воздухоопорной системы при избыточном давлении воздуха во внутреннем помещении под покрытием $P = 4300$ Па

Таблица 3. Результаты статического расчета воздухоопорной двухпоясной мембранно-стержневой системы пролетом 60 метров с учетом воздухоопорного режима
Table 3. Results of the static calculation of an air-supported two-belt membrane-rod system with a span of 60 meters, taking into account the air-supported mode

№	Силовая нагрузка Power load	Узловая нагрузка Nodal load	Температура или осадка Temperature or precipitation	Прогиб в среднем узле 6 Deflection at the middle node 6
1	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	- 30750 Н	-	<u>- 0,118663 м</u>
2	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	- 20452,5 Н	-	<u>-0,132411 м</u>
3	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_3 = 1373$ Н	1) -30750 Н 2) -20452,5 Н	-	<u>-0,135596 м</u>
4	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	-30750 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T_1	<u>- 0,260634 м</u>
5	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	-30750 Н	Температура/ Temperature T_1 , Осадка опор/ Draft supports VC	<u>- 0,234704 м</u>
6	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	-20452,5 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T_2	<u>+ 0,063551 м</u>
П.4.1	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	- 30750 Н	Вертикальная осадка опор/ Vertical settlement of supports VC	<u>- 0,173075 м</u>
П.4.2	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	-20452,5 Н	Вертикальная осадка опор/ Vertical settlement of supports VC	<u>- 0,106802 м</u>
П.4.3	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	-20452,5 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T_1	<u>- 0,193522 м</u>
П.4.4	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	-30750 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T_2	<u>- 0,065672 м</u>

*Составлено авторами/ Compiled by the authors

В задаче 4 была исследована под нагрузкой эта же система, но со стойками в четвертях и в середине пролета (табл. 4). Несущая способность воздухоопорной системы при избыточном давлении воздуха во внутреннем помещении под покрытием $P = 4300$ Па

Обсуждение результатов. Все расчеты в данном исследовании производились по разработанной авторами методике расчета воздухоопорных двухпоясных мембранно-стержневых систем покрытий больших пролетов итерационным методом приращений параметров с применением на итерации МКЭ и численной процедуры Эйлера-Коши третьего порядка точности [3,12,13].

Таблица 4. Результаты статического расчета воздухоопорной двухпоясной мембранно-стержневой системы пролетом 60 метров со стойками в середине пролета и четвертях
Table 4. Results of the static calculation of an air-supported two-belt membrane-rod system with a span of 60 meters with racks in the middle of the span and quarters

№	Силовая нагрузка Power load	Узловая нагрузка Nodal load	Температура или осадка Temperature or precipitation	Прогиб в среднем узле 6 Deflection at the middle node 6
1	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	- 30750 Н	-	<u>- 0,102362 м</u>
2	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q2 =1373 Н	- 20452,5 Н	-	<u>-0,093243 м</u>
3	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q3 =1373 Н	1) -30750 Н 2)-20452,5 Н	-	<u>-0,085596 м</u>
4	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	-30750 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T1	<u>- 0,260634м</u>
5	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	-30750 Н	Температура/ Temperature T1, Осадка опор/ Draft supports VC	<u>- 0,234704 м</u>
6	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q2 =1373 Н	-20452,5 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T2	<u>+ 0,053551 м</u>
П.4.1	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	- 30750 Н	Вертикальная осадка опор/ Vertical settlement of supports VC	<u>- 0,153075 м</u>
П.4.2	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q2 =1373 Н	-20452,5 Н	Вертикальная осадка опор/ Vertical settlement of supports VC	<u>- 0,102602 м</u>
П.4.3	Вес/ Weight q1, Снеговая нагрузка/ Snow load Q2 =1373 Н	-20452,5 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T1	<u>- 0,174522 м</u>
П.4.4	Собственный вес/ Dead load q1= 200 Н/кв. м	-30750 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T2	<u>- 0,054672 м</u>

*Составлено авторами/ Compiled by the authors

Как видно по результатам расчета, геометрическая нелинейность исследуемой воздухоопорной двухпоясной системы также не превышает двух процентов. Прогибы капитального покрытия сооружения нормами России допускаются равными (1/200) пролета, в нии - (1/100) пролета.

Для выявления возможностей воздухоопорного эффекта в повышении несущей способности системы покрытия сооружения авторами рассмотрены задачи 5 (табл.5) и 6 с максимальными прогибами (табл. 6 и 7).

Таблица 5. Задача №5
Table 5. Task No. 5

Прогиб несущей двухпоясной системы/ Deflection of the bearing two-belt system				
	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	Узловая нагрузка/ Nodal load 1500 Н	Летняя температура среды/Summer ambient temperature T_1	Прогиб/ Deflection -0,049406 м
Прогиб воздухоопорной двухпоясной системы при воздухоопорном режиме / Deflection of an air-supported two-belt system in air-supported mode				
	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	Узловая нагрузка/ Nodal load -30750 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T_1	Прогиб/ Deflection -0,260634м
Суммарный прогиб проектируемой воздухоопорной двухпоясной системы/ The total deflection of the designed air-supported two-belt system				
	Собственный вес/ Dead load $q_1 = 200$ Н/кв. м	Узловая нагрузка/ Nodal load -30750 Н	Летняя температура среды/ Summer ambient temperature T_1	Прогиб/ Deflection -0,310000 м

*Составлено авторами/ Compiled by the authors

Прогиб в середине пролета в летнее время при сложении нагрузок.

Заметим, что в задаче 5 суммарный прогиб воздухоопорной двухпоясной системы возникает от действия удвоенного собственного веса, удвоенной летней температуры и действующего на систему воздухоопорного эффекта с избыточным давлением воздуха во внутреннем помещении, равным 4300 Па.

Прогиб в середине пролета в зимнее время при сложении нагрузок.

Таблица 6. Задача №6
Table 6. Task No. 6

Прогиб несущей двухпоясной системы/ Deflection of the bearing two-belt system				
	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	Узловая нагрузка/ Nodal load 11797,5 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T_2	Прогиб/ Deflection 0,209704 м
Прогиб воздухоопорной двухпоясной системы/ Deflection of the air-supported two-belt system				
	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	Узловая нагрузка/ Nodal load -20452,5 Н	Зимняя температура среды/ Winter environment temperature T_2	Прогиб/ Deflection 0,065507 м

Учитывая малую геометрическую нелинейность исследуемой системы (менее двух процентов), и полученные результаты расчета задачи 6, сложим все нагрузки этой задачи и будем считать, что эти суммарные нагрузки приложены к исследуемой воздухоопорной системе.

В результате получим суммарный прогиб воздухоопорной двухпоясной системы (табл.7).

Таблица 7. Задача 6
Table 7. Task No. 6

Суммарный прогиб проектируемой воздухоопорной двухпоясной системы/ The total deflection of the designed air-supported two-belt system				
	Вес/ Weight q_1 , Снеговая нагрузка/ Snow load $Q_2 = 1373$ Н	Узловая нагрузка/ Nodal load -20452,5 Н	Зимняя температура сре- ды/ Winter environment temperature T_2	Прогиб/ Deflection +0,275000 м

*Составлено авторами/ Compiled by the authors

В Задаче 6 суммарный прогиб воздухоопорной двухпоясной системы возникает от действия удвоенного собственного веса, удвоенной зимней температуры и действующего на систему воздухоопорного эффекта с избыточным давлением воздуха во внутреннем помещении, равным 4300 Па.

Обсуждение результатов. Авторы рассмотрели наиболее опасные (при невыгодном сочетании нагрузок в летнее и зимнее время) случаи возможного нагружения системы и установили, что прогиб воздухоопорной системы, составляющий $-0,31$ м (или $+0,275$ м), не превышает допустимый по второму предельному состоянию прогиб, указанный в нормах проектирования прогиб, составляющий $L/200 = 0,45$ м.

Таким образом, воздухоопорная система по прогибам позволяет значительно увеличить расчетную нагрузку, по сравнению с обычной двухпоясной системой.

По результатам проведенного исследования проведенного на линзообразных мембранно-пневматических системах, усиленных расположенными вдоль пролета стойками, соединяющими мембраны можно сделать вывод: трех стоек, расположенных в четвертях и в середине пролета вполне достаточно.

В этом случае между стойками, то есть на четверти пролета, мембрана работает за счет избыточного давления воздуха. Главное то, что стойка делает одинаковыми прогибы нижней и верхней мембран системы в районе расположения стойки, что существенно уменьшает кинематические смещения поясов относительно друг друга. Общее же повышение жесткости пневматической системы повышает сопротивляемость и живучесть линзообразного покрытия при больших нагрузках, что особенно важно для районов с частыми ураганами и тайфунами.

Исследования показали, что при наличии стоек наблюдается эффект значительного усиления жесткости и несущей способности линзообразных мембранно-пневматических систем при больших пролетах. Расстояние между стойками вдоль здания можно при проектировании корректировать и тем самым, регулировать эффект усиления системы.

Выявлено также, что усиление мембранно-пневматических систем при больших пролетах за счет изгибной жесткости монтажных арок нецелесообразно из-за малого эффекта. Чем больше пролет, тем меньше влияние монтажной арки. Обычно эти арки свариваются из двух швеллеров и влияние их на материалоемкость невелико. Часто монтаж мембранных линз производят в накаченном состоянии без установки арок.

Авторами статьи произведено технико-экономическое сравнение нелинейных линзообразных мембранно-пневматических систем двух типов при действии расчетных снеговых нагрузок.

Первая из сопоставляемых систем – это гибкая линзообразная мембранно-пневматической система классического типа, когда между двумя выпуклыми мембранами закачан воздух. Эта система проста конструктивно, работает на распределенные снеговые нагрузки, рациональна и к настоящему времени недостаточно изучена учеными.

Для этих систем достаточно электроэнергии от аккумуляторов, им не нужны шлюзы, они надежны в военное время (при автоматных очередях и более сильных обстрелах), быстро возводятся и демонтируются, и в настоящее время применяются в вооруженных силах стран НАТО, наряду с широко распространенными воздухоопорными системами. Вторая система это такая же система, но роль воздуха выполняют стойки, которые соединяют две мембраны в единое целое.

Несмотря на увеличение стоимости покрытия сооружения за счет установки этих стоек, происходит значительное увеличение несущей способности данного перекрытия, оно становится значительно жестче.

Далее приведем результаты анализа работы, то есть возникающего избыточного давления и прогибов нагруженной снегом верхней мембраны нелинейного покрытия с гибкими линзообразными мембранно-пневматическими системами классического типа и нелинейного покрытия с линзообразными мембранно-пневматическими системами, усиленными в пролете тремя стойками, связывающими мембраны.

Результаты исследования сопоставляемых линзообразных мембранно-пневматических систем при действии расчетных снеговых нагрузок приведены в табл. 8 и табл. 9.

Таблица 8. Характеристики линзообразных мембранно-пневматических систем при действии расчетных снеговых нагрузок
Table 8. Characteristics of lenticular membrane-pneumatic systems under the action of calculated snow loads

Снеговая нагрузка/ Snow load $q_{1/2}$ на полу-пролете при числе шагов $n=2$ on a half-span with the number of steps	Мембранно- пневматическая линза с тремя стойками, соединяющими мембраны Membrane-pneumatic three post lens connecting membranes	Мембранно- пневматическая линза классического типа Membrane-pneumatic lens of classical type	Расхождение результатов Divergence of results
Избыточное давление в линзе /Excessive pressure in the lens PN (Па)	84,62 Па	373,94 Па	В 4,42 раза больше/ larger (на 342%)
Вертикальный прогиб/ Vertical deflection V_6 (м)	0,113000 м	0,410000 м	В 3,63 раза больше/ larger (на 263%)

*Составлено авторами/ Compiled by the authors

Таблица 9. Характеристики линзообразных мембранно-пневматических систем при действии расчетных снеговых нагрузок
Table 9. Characteristics of lenticular membrane-pneumatic systems under the action of calculated snow loads

Снеговая нагрузка/ Snow load q_l по всему пролету при числе шагов $N=2$ Throughout the span with the number of steps	Мембранно- пневматическая линза с тремя стойками, соединяющими мембраны Membrane-pneumatic three post lens connecting membranes	Мембранно- пневматическая линза классического типа Membrane-pneumatic lens of classical type	Расхождение результатов Divergence of results
Избыточное давление в линзе/ Excessive pres- sure in the lens PN (Па)	196,46 Па	423,21 Па	В 2,15 раза больше/ larger (на 115%)
Вертикальный прогиб/ Vertical deflection V_6 (м)	0,037362 м	0,047141 м	В 1,26 раза больше/ larger (на 26%)

*Составлено авторами/ Compiled by the authors

Вывод. При подведении итогов данного исследования можно сказать, что применение воздухоопорного эффекта при значительных повышении нагрузки на большепролетную систему, например при ураганном ветре или сильном и продолжительном снегопаде очень эффективно. Усилие в несущем (нижнем) поясе проектируемой воздухоопорной системы вычисляем, учитывая его величину на конечной стадии монтажа: $1033740 + 245826,9 - 200140,5 = 1033740 + 45686,4 = 1079426,4$ Н.

Видим, что усилия в верхнем и нижнем поясах запроектированной воздухоопорной системы изменились незначительно (на четыре процента) и о перегрузке речи не идет. Из приведенных расчетов видно, что при наличии воздухоопорного эффекта система может быть нагружена более чем в три раза, но при этом прогибы ее остаются в пределах нормы, а пояса из работы не выключаются. Усиление несущей способности линзообразного покрытия за счет избыточного давления воздуха во внутреннем помещении сооружения оказалось высокоэффективным. Учитывая, что нелинейность невелика, можно быстро определить, насколько несущая способность покрытия увеличилась. Так, при силовых нагрузках, действующих вниз, система

была запроектирована на общую нагрузку, равную $200 \text{ Н} + 1373 \text{ Н} = 1573 \text{ Н}$. Но воздухоопорная нагрузка действует вверх и составляет 4300 Н . Следовательно, к исследуемой воздухоопорной системе можно приложить расчетную нагрузку, которая в $(4300/1573)$ раза, то есть в 2,7 раз больше первоначальной. Заметим, что и по второму предельному состоянию нормативную нагрузку, равную 100 Н/кв. м , можно увеличить в $(4300/1181)$ раз, то есть в 3,6 раза.

В качестве рекомендаций проектировщикам, работающим с данным классом большепролетных сооружений, можно сказать, что в практике проектирования эффект усиления покрытия за счет воздухоопорного эффекта ориентировочно можно принимать равным трем. Применение воздухоопорного эффекта нужно только при экстремальных ситуациях, которые могут возникнуть за весь срок эксплуатации сооружения один-два раза, но его применение позволяет сэкономить значительные средства, иногда достигающие двадцати-двадцати пяти процентов от сметной стоимости сооружения за счет применения элементов конструкций меньшего сечения. Что касается усиления данных линзообразных мембранно-пневматических систем стойками, то это дает значительный эффект, так как система становится жестче, прогибы становятся меньше примерно в три раза, не нужно тратить деньги на подкачку воздуха во внутренние помещения сооружения для создания воздухоопорного эффекта, но внесение данных конструктивных изменений увеличивает стоимость данного сооружения. Увеличение толщины мембран данного линзообразного мембранно-пневматического сооружения практически ничего дает, прогибы сокращаются незначительно, но стоимость сооружения значительно увеличивается из-за большей материалоемкости мембран и увеличения веса покрытия.

Авторы надеются, что данные проведенного исследования позволят увеличить практику применения большепролетных двухпоясных мембранно-стержневых систем для создания инфраструктуры, как в городах РФ, так и в Арктике и других местах с суровыми климатическими условиями. Данные сооружения позволяют создать в условиях мирового экономического кризиса инфраструктуру для достойной жизни людей, как в мирное время, так и в условиях природных и военных катаклизмов.

Библиографический список:

1. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон. М.: Стройиздат, 1982. 447с.
2. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер. – М.: МИР, 1984. – 428 с.
3. Ким А.Ю. Итерационный метод приращений параметров в теории расчета нелинейных мембранно-пневматических систем с учетом упругой работы воздуха / А. Ю. Ким; М-во образования и науки Рос. Федерации, Саратов. гос. техн. ун-т. - Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. 186с.
4. Овчинников И.Г. О задачах оптимального проектирования конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред [Текст] // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1988. № 9. С. 17 – 22.
5. Петров, В.В. Расчёт элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой [Текст] / В.В. Петров, И.Г. Овчинников, Ю.М. Шихов. – Саратов: Саратов. ун-т, 1987. – 288 с.
6. Погонин А.О. Принципы формирования автономных жилых зданий в экстремальных условиях природного характера: Автореф. дис. ... канд. арх. – Москва, 2010. – 30 с.
7. Поросенкова К.В., Пучков М.В. Проектирование нового города в экстремальных условиях крайнего севера // Архитектон: известия вузов, приложение к № 34, 2011 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа
8. Райзер В.Д. Вероятностные методы в анализе надежности и живучести сооружений / В.Д. Райзер. – Москва: Издательство АСВ, 2018. – 396 с.
9. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лapidус А.А. Технология возведения зданий и сооружений для студ. строит. спец. – М.: Высш. шк., 2006. – 446 с
10. Уткин В.С. Расчет несущей способности буронабивных свай и подбор длины свай по коэффициенту запаса // Транспортные сооружения, 2017 №2, <https://t-s.today/PDF/02TS217.pdf> (доступ свободный)
11. Ermolov V.V., Bird W.W., Bubner, W. (1983). Pneumatic Building Structures. Moscow: Stroyizdat, 439 p.
12. Voznsenskiy S.B., Ermolov V.V. (1975). Design of Pneumatic Structures in the USSR and Abroad. Moscow: TzINIS Gostroya USSR.
13. Geiger David (1975). Low-profile air structures in the USA. Building Research and Practice, March-April, p. 80-87.
14. Krivoshepko, S.N., Galishnikova, V.V. (2015). Architectural-and-Building Structures: Text Book, Moscow: Izd-vo "URAIT", 476 p.
15. Travush V.I. Contemporary Digital Technologies in Construction Part 1: About Mathematical (Numerical) Modelling / V.I. Travush, A.M. Belostosky, P.A. Akimov. – DOI 10.1088/1757-899X/456/1/012029 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Т 456.
16. Дзагов А.М., Сидорчук В.Ф. Геотехнические аспекты устройства и работы под нагрузкой буронабивных свай в просадочных грунтах // Геотехника, 2012. – N 6. – С. 4-21.

17. Иванова Т.В., Альберт И.У., Кауфман Б.Д., Шульман С.Г. Несущая способность свай по критерию прочности материала сваи или грунта // Инженерно-строительный журнал, 2016 – No7 (67). – С. 3-12.
18. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В. И др. Сваи и свайные фундаменты: конструкции, проектирование, технологии / М.: АСВ, 2015. – 314 с.
19. Метелюк Н.С., Шишко Г.Ф., Соловьев А.Б. и др. Сваи и свайные фундаменты. Изд-во К.: Будивельник, 1977. 256 с.
20. Интернет портал: «Экоустойчивая архитектура: большепролётные светопрозрачные здания и сооружения». Режим доступа: <http://blog.dp.ru/post/4699/>

References:

1. Bate K. Numerical methods of analysis and the finite element method. Vilson. M.: Strojizdat, 1982; 447. (In Russ)
2. Gallager R. Gallagher, Finite Element Method. Fundamentals. M.: MIR, 1984; 428. (In Russ)
3. Kim A.Yu. Iterative method of parameter increments in the theory of calculation of nonlinear membrane-pneumatic systems taking into account the elastic work of air. Ministry of Education and Science Ros. Federation, Sarat. state tech. un-t. - Saratov: Sarat. state tech. un-t2005; 186. (In Russ)
4. Ovchinnikov I.G. On the problems of optimal design of structures exposed to aggressive media. [Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arkhitektura] *Proceedings of universities. Construction and architecture*. 1988; 9: 17 – 22. (In Russ)
5. Petrov V.V. Calculation of structural elements interacting with an aggressive environment [Tekst] / V.V. Petrov, I.G. Ovchinnikov Yu.M. Shixov. Saratov: Sarat. un-t, 1987; 288. (In Russ)
6. Pogonin A.O. Principles for the formation of autonomous residential buildings in extreme natural conditions: Avtoref. dis. ... kand. arx. Moskva, 2010; 30. (In Russ)
7. Porosenkova K.V., Puchkov M.V. Designing a new city in the extreme conditions of the Far North. [Arhitekton: izvestiya vuzov, prilozhenie] Architecton: news of universities, supplement. 2011; 34 [E'lektronny'j resurs].
8. Rajzer V.D. Probabilistic methods in the analysis of reliability and survivability of structures. Moscow: DIA Publishing House, 2018; 396. (In Russ)
9. Telichenko V.I., Terent'ev O.M., Lapidus A.A. Lapidus A.A. Technology of construction of buildings and structures for students. builds. specialist. Higher. School. 2006; 446. (In Russ)
10. Utkin V.S. Calculation of the bearing capacity of bored hanging piles and selection of the pile length according to the safety factor. [Transportny'e sooruzheniya] *Transport facilities*. 2017; 2, <https://t-s.today/PDF/02TS217.pdf> (dostup svobodny'j) (In Russ)
11. Ermolov V.V., Bird W.W., Bubner W. Pneumatic Building Structures. Moscow: Stroyizdat. 1983; 439. (In Russ)
12. Vozsenskiy S.B., Ermolov V.V. Design of Pneumatic Structures in the USSR and Abroad. Moscow: TzINIS Gosstroya USSR, 1975. (In Russ)
13. Geiger David. Low-profile air structures in the USA. *Building Research and Practice*, March-April, 1975; 80-87.
14. Krivoshepko S.N., Galishnikova V.V. Architectural-and-Building Structures: Text Book, Moscow: Izd-vo "URAIT", 2015; 476. (In Russ)
15. Travush V.I. Contemporary Digital Technologies in Construction Part 1: About Mathematical (Numerical) Modelling / V.I. Travush, A.M. Belostosky, P.A. Akimov. – DOI 10.1088/1757-899X/456/1/012029 // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 456.
16. Dzagov A.M., Sidorchuk V.F. Geotechnical aspects of the device and work under load of bored piles in subsidence soils. [Geotekhnika] *Geotechnical*. 2012; 6: 4-21. (In Russ)
17. Ivanova T.V., Al'bert I.U., Kaufman B.D., Shul'man S.G. Bearing capacity of hanging piles according to the criterion of the strength of the pile material or soil [Inzhenerno-stroitel'ny'j zhurnal] *Civil Engineering Journal*. 2016 ;7 (67): 3-12. (In Russ)
18. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamenskij V.V. Piles and pile foundations: structures, design, technologies. M.: ASV, 2015; 314. (In Russ)
19. Metelyuk N.S., Shishko G.F., Solov'ev A.B. Piles and pile foundations. Izd-vo K.: Budivel'nik, 1977; 256.
20. Internet portal: Eco-sustainable architecture: large-span translucent buildings and structures. Rezhim dostupa: <http://blog.dp.ru/post/4699/>

Сведения об авторах:

Ким Алексей Юрьевич, доктор технических наук, профессор, кафедра строительных материалов, конструкций и технологий; sberbanksp@yandex.ru

Миша Фрикович Амоян, аспирант, кафедра строительных материалов, конструкций и технологий; ezid-007@ya.ru

Виктор Евгеньевич Хапилин, аспирант, кафедра строительных материалов, конструкций и технологий; khapil-in2010@yandex.ru

Information about authors:

Aleksey Yu.Kim, Dr.Sci. (Eng), Prof., Department of Building Materials, Structures and Technologies; sberbanksp@yandex.ru

Misha F. Amoyan, Postgraduate Student, Department of Building Materials, Structures and Technologies; ezid-007@ya.ru

Viktor E. Khapilin, Postgraduate Student, Department of Building Materials, Structures and Technologies; khapil-in2010@yandex.ru; orcid:0000-0002-0690-3601

Конфликт интересов/Conflict of interest

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

Поступила в редакцию/ Received 01.10.2021.

Одобрена после рецензирования / Revised 30.10.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 02.11.2021.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.04

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-171-177

Оригинальная статья /Original Paper

Предельное состояние по условию потери устойчивости равновесных форм

Г.М. Муртазалиев, М.М. Пайзулаев

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

Резюме. Цель. Целью исследования является определение группы предельного состояния по условию потери устойчивости формы равновесия конструкций. **Метод.** Исследование основано на положениях теории устойчивости равновесных состояний строительных конструкций; теории ветвления решений нелинейных уравнений; метода возмущений; методов теории катастроф. **Результат.** Обобщены результаты анализа послекритического поведения конструкций, основанного на решении задачи в более высоких приближениях и из фундаментальных положений теории катастроф. Доказано, что исследование устойчивости равновесных форм конструкций с помощью алгебраических средств и геометрических образов теории катастроф позволяет однозначно определить тип критических точек бифуркации, предсказать характер поведения конструкции и определить группу предельного состояния, к которой следует отнести достигнутое конструкцией состояние. **Вывод.** Представляется необходимым переименование порядковых номеров типов критических точек бифуркаций для того, чтобы они совпадали с номерами соответствующих им групп предельных состояний.

Ключевые слова: предельные состояния, равновесные формы, потеря устойчивости, бифуркация (ветвление), послекритическое поведение, предельные нагрузки, теория катастроф

Для цитирования: Г.М. Муртазалиев, М.М. Пайзулаев. Предельное состояние по условию потери устойчивости равновесных форм. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 171-177. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-171-177

Limit state according to the condition of loss of stability of equilibrium forms

G.M. Murtazaliev, M.M. Paizulaev

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

Abstract. Objective. The purpose of the study is to determine the group of the limiting state according to the condition of loss of stability of the equilibrium form of structures. **Method.** The study is based on the provisions of the theory of stability of equilibrium states of building structures; branching theory of solutions of nonlinear equations; perturbation method; methods of catastrophe theory. **Result.** The results of the analysis of the post-critical behavior of structures based on the solution of the problem in higher approximations and from the fundamental provisions of the theory of catastrophes are generalized. It is proved that the study of the stability of equilibrium forms of structures using algebraic means and geometric images of the theory of catastrophes makes it possible to unambiguously determine the type of critical bifurcation points, predict the nature of the behavior of the structure, and determine the limit state group to which the state reached by the structure should be attributed. **Conclusion.** It seems necessary to rename the ordinal numbers of the types of critical points of bifurcations so that they coincide with the numbers of the groups of limit states corresponding to them.

Keywords: limit states, equilibrium forms, buckling, bifurcation (branching), post-critical behavior, limit loads, catastrophe theory

For citation: G.M. Murtazaliev, M.M. Paizulaev. Limit state according to the condition of loss of stability of equilibrium forms. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48(4):171-177. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-171-177

Введение. Совершенствование норм и правил обеспечения надежности строительных конструкций и оснований остается краеугольным камнем всей теории сооружений как науки призванной разработать новые, совершенствовать существующие положения по расчету и внедрять их в практику проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. После утраты огромного числа крупных специалистов и смены поколений исследователей в период рыночного реформирования страны, многие научные учреждения реанимируются, восстанавливаются и возвращаются к выполнению своих функций.

Мировые наука и практика в области строительства обогатились (порой не без потерь не только материальных ценностей, но и человеческих жизней) новыми идеями и явлениями, такими как прогрессирующее разрушение, живучесть сооружений и т.д. [9, 18]. Проявлением такого возрождения является появление новых, переработанных, исправленных и переизданных основных глав СНиПов, иногда под другим названием – типа свода правил (СП) и др. Определение группы предельного состояния по условию потери устойчивости формы равновесия строительных конструкций широко обсуждалось в отечественной научной литературе. Результатом этих работ и явилось включение явления потери устойчивости как в I, так и во II группы предельных состояний документа [1] в зависимости от последствий такого явления.

В новом межгосударственном стандарте [2] некоторые положения старого стандарта [1] изменены или вовсе изъяты и не всегда в сторону улучшения и совершенствования. Так, в существующем стандарте «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [2], принятом в 2014 г. и вступившем в силу в 2015г., потеря устойчивости формы, приводящая к затруднению нормальной эксплуатации, включенная в пункт 2 из предыдущего издания стандарта ГОСТ 27751-88, изъята из второй группы предельных состояний.

На наш взгляд, такое решение является шагом назад в деле понимания сути происходящих явлений и последующего совершенствования норм и правил проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. О необходимости дополнительного анализа этих явлений и выявления характера начального этапа послекритического поведения конструкции указано в трудах известных отечественных и зарубежных ученых в этой области [3-17]. В этих работах заключен единодушный вывод: для предсказания поведения конструкции в закритической (послекритической) области нужно анализировать качество состояния в критических точках, поскольку глобальное послекритическое поведение конструкции зависит от «природы» точки бифуркации.

Как отмечено, после горячих дискуссий, в указанном межгосударственном стандарте [1], устанавливающем основные положения по расчету строительных конструкций, оснований всех видов зданий и сооружений на силовые воздействия, явление потери устойчивости формы равновесия было отнесено к первой или ко второй группе предельных состояний, а в новом стандарте потеря устойчивости формы, приводящая к затруднению нормальной эксплуатации, изъята из второй группы предельных состояний.

Постановка задачи. При анализе напряженно-деформированного состояния конструкций строятся кривые равновесных состояний, являющиеся информативно емкими характеристиками, на которых определяются особые точки, в которых происходит качественное изменение в поведении конструкций. В теории устойчивости сооружений, в частности в теории устойчивости равновесных состояний строительных конструкций, различают два рода эффектов, объединенных одним термином неустойчивость – потеря устойчивости «первого» и «второго» рода, которые по терминологии введенной еще А.Пуанкаре, характеризуются точкой бифуркации и предельной точкой, соответственно, хотя такая классификация, как справедливо отмечается во многих работах [3-17], далеко не универсальна, не достаточно тонка и полна, что

требует более подробных дополнительных исследований.

Сами по себе эти точки скорее сигнализируют об опасности, чем позволяют оценить истинную степень этой опасности. В частности, остается открытым вопрос: может ли рассчитываемая конструкция после бифуркации (ветвления) равновесных форм нести дополнительную нагрузку или же такая возможность исключается? Для ответа на этот вопрос следует более пристально изучить «природу» названных точек, представляющих большую теоретическую и практическую ценность более глубоким анализом происходящих явлений, что и послужило выбором цели исследования.

Методы исследования. В существующей литературе по устойчивости упругих систем эти точки разделены на два типа [3]. Точка бифуркации, относящаяся к устойчивой послекритической ветви деформирования конструкции, названная критической точкой бифуркации первого типа (рис. 1, а).

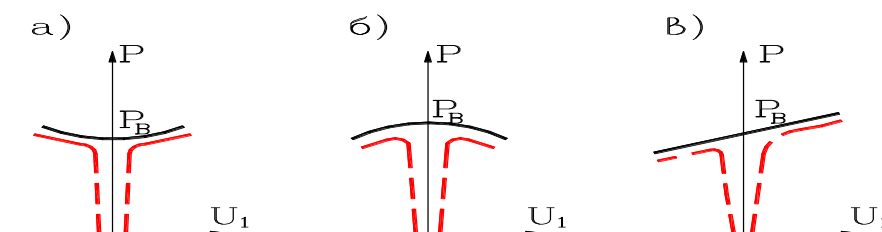


Рис.1. Критические точки бифуркации

Fig.1. Critical bifurcation points

В этом случае предельная нагрузка больше бифуркационной, исходная форма равновесия сменяется другой устойчивой формой, соответствующая конструкция совершает постепенный и плавный («мягкий») переход в смежное равновесное состояние с формой выпучивания U_1 . Точка бифуркации, принадлежащая к неустойчивой послекритической области, названа критической точкой бифуркации второго типа (рис. 1, б). В этом случае бифуркационная нагрузка является предельной, при которой исходная форма равновесия сменяется неустойчивой формой, соответствующая конструкция совершает скачкообразный и внезапный («жесткий») переход в новое, отдаленное от исходного, состояние равновесия. Возможен и промежуточный вариант, изображенный на (рис. 1, в)

По сути дела, от типа точки бифуркации (ветвления) исходных равновесных форм зависят: характер начального этапа послекритического поведения и глобальные качественные изменения в послекритическом деформировании конструкций; чувствительность конструкции к несовершенствам; соотношение между значениями параметров бифуркационных и предельных нагрузок, знание которого выявляет физические возможности объекта после ветвления равновесных форм и формирует инженерное представление о мере опасности достижения данного критического состояния. Ясно, что в зависимости от последствий, к которым может привести достижение того или иного уровня, гарантия против его наступления должна быть различной, что в свою очередь достигается определением группы предельного состояния, к которой следует отнести данное критическое состояние конструкции. Важно выяснить: является ли найденная критическая точка бифуркации (ветвления) исходных равновесных форм точкой потери (исчерпания) несущей способности конструкции и соответствующее состояние отнести к I группе предельных состояний или же она является точкой потери устойчивости исходной равновесной формы конструкции, не исчерпавшей еще своей несущей способности, а состояние конструкции затрудняет ее нормальную эксплуатацию, такое состояние должно быть отнесено ко II группе предельных состояний.

Несмотря на то, что каждой точке бифуркации соответствует некоторая задача о собственных значениях, характер поведения различных конструкций при нагрузках близких к критическим резко меняется. Известно, что плоские пластинки выдерживают нагрузки, значительно превышающие критические, тогда как для оболочек эксперименты показывают, что выпучи-

вание происходит в большинстве случаев при нагрузках лежащих значительно ниже критических нагрузок бифуркации, получаемых из решения задач о собственных значениях, и связано оно с их весьма неустойчивым послекритическим поведением [7,8].

Обсуждение результатов. Для ответа на поставленные вопросы, следует определить: к какому участку послебифуркационной (вторичной, побочной) равновесной ветви относится сама точка бифуркации, определяющая момент потери устойчивости исходной равновесной формы: если точка бифуркации принадлежит неустойчивой вторичной ветви, то выпучивание приобретает характер прощелкивания, следовательно, точка бифуркации является предельной точкой, в которой происходит потеря несущей способности и конструкция совершает внезапный скачкообразный переход в несмежные равновесные состояния; если же точка бифуркации относится к начальному участку устойчивой вторичной равновесной ветви, то конструкция после бифуркации постепенно и плавно переходит в смежную (побочную) равновесную форму, т.е. она способна нести дополнительную нагрузку.

Для численной реализации удобнее пользоваться дифференциальными уравнениями, получаемые непосредственно из исходной системы линейных или нелинейных дифференциальных уравнений на основе метода возмущений.

При этом поведение конструкции описывается решением исходных уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} W &= W_0 + \xi W_1 + \xi^2 W_2 + \dots; \\ F &= F_0 + \xi F_1 + \xi^2 F_2 + \dots, \end{aligned} \quad (1)$$

где: ξ – малый параметр;

W_0 и F_0 – параметры исходного напряженно-деформированного состояния конструкции, устойчивость которого изучается из решения линейных или нелинейных уравнений, описывающих исходный процесс и не содержащих параметр ξ ;

W_1 и F_1 – собственные функции, характеризующие возможную форму выпучивания конструкции, определяемые решением системы уравнений устойчивости, получаемых из исходной системы уравнений, содержащих параметр ξ в первой степени;

W_2 и F_2 – функции, характеризующие послекритическое поведение конструкции, получаемые из исходных уравнений и содержащие малый параметр во второй степени.

Решение этих трех задач соответствует алгоритму решения, в общем случае, нелинейных краевых задач, строгие математические критерии которых установлены в теории ветвления решений нелинейных уравнений [22].

Первая задача заключается в установлении возможных форм равновесия конструкции решением исходной (линейной или нелинейной) краевой задачи с параметрами, характеризующими исследуемый основной процесс; в определении границ существования каждой найденной возможной формы равновесия основного процесса; в установлении возможных способов перехода конструкции из одной найденной формы равновесия в другую. Вслед за этим встает вторая задача – исследование устойчивости всех найденных форм равновесия основного процесса, включающая: отыскание значений параметра нагрузки, при которых происходит бифуркация (ветвление) равновесных форм основного процесса; определение числа ответвляющихся решений и их кратности; установление конфигураций равновесных форм побочного процесса.

Третья задача заключается в определении характера начального этапа послекритического поведения конструкции, для чего требуется анализ более высокого порядка, чем при решении первых двух задач.

Таким образом, исследование поведения под нагрузкой различных конструкций, названное авторами статьи общей нелинейной краевой задачей, разбивается на три этапа, в которых решаются последовательные, отдельные, но взаимосвязанные задачи, вносящие поэтапную ясность в изучаемые явления и, в конечном итоге, позволяющие выявить все характерные особенности деформирования, склонных к потере устойчивости конструкций. Эти задачи могут

быть решены различными приближенными аналитическими и численными методами [15].

Одной из теорий, интенсивно развивающейся и широко популярной не только в математике, но и в самых различных областях науки, ставшей в последние годы эффективным и полезным средством анализа многочисленных разрывных явлений природы является прикладная математическая теория – теория катастроф [11, 15, 19, 23]. Методы этой теории непосредственно применимы к решению задач, в которых минимизируется или максимизируется некоторая функция. Поскольку изучение вопросов равновесия и устойчивости равновесных форм механических систем сводится к анализу локальных свойств потенциальной энергии, то для исследования этих вопросов широко используются методы теории катастроф. Не вдаваясь в подробное описание основ и методов данной теории, которые изложены в [11, 19], отметим, что в теории устойчивости сооружений – эта теория об изучении качества равновесных состояний конструкций, описываемых выражением потенциальной энергии, которые могут быть устойчивыми или неустойчивыми в зависимости от изменения значений параметров самих конструкций и внешних воздействий.

Существенную роль играет теория катастроф в установлении зависимости экспериментально наблюдаемых форм равновесий упругих систем от числа управляющих параметров, позволяющих классифицировать явления потери устойчивости консервативных систем, где для этих целей широко используется концепция «структурной устойчивости», общая идея которой заключается в том, что все физические явления устойчивые настолько, чтобы быть повторно наблюдаемыми, и должны быть устойчивыми по отношению к малым возмущениям [11, 19, 23, 24].

Сведение задач исследования устойчивости равновесных форм конструкций к хорошо изученным алгебраическим средствам и геометрическим образам теории катастроф позволяет однозначно определить тип критических точек бифуркации, предсказать характер поведения конструкции и определить группу предельного состояния, к которой следует отнести достигнутое конструкцией состояние.

Вывод. Приведенные доводы к определению группы предельного состояния по потере устойчивости равновесных форм конструкций основаны на анализе результатов исследований отечественных и зарубежных специалистов, а также собственных исследований авторов, получивших поддержку официальных оппонентов, известных отечественных ученых и членов диссертационного совета Д033.04.02 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук при ЦНИИСК им. Кучеренко [14]. Данные о соотношениях между критическими и предельными значениями параметров нагрузок, выявляющие реальные физические возможности и скрытые резервы несущей способности рассчитываемых конструкций, позволяют однозначно определить группу предельного состояния, рассматриваемого равновесного состояния.

Потеря устойчивости форм равновесий строительных конструкций должна быть отнесена к первой или ко второй группе предельных состояний в зависимости от типа (природы) критической точки бифуркации (ветвления) равновесных форм, что, видимо, и должно быть дополнительно уточнено и сформулировано (с учетом и других замечаний) в основополагающем документе [2]:

- к первой группе предельных состояний должна быть отнесена потеря устойчивости равновесных форм, характеризующаяся критической точкой бифуркации второго типа (согласно принятой в [3] терминологии), при которой значение параметра критической нагрузки бифуркации (ветвления) равновесных форм является значением параметра предельной нагрузки для рассчитываемой конструкции;
- ко второй группе предельных состояний следует отнести потерю устойчивости форм, характеризующуюся критической точкой бифуркации первого типа (согласно [3]), при которой значение параметра предельной нагрузки выше значения параметра критической нагрузки бифуркации (ветвления), соответствующего данной точке.

В связи с изложенным, представляется более оправданным переименование порядковых номеров типов названных критических точек бифуркаций для того, чтобы они совпадали с номерами соответствующих им групп предельных состояний.

Библиографический список:

1. ГОСТ 27751-88 (СТ СЭВ 384-87). Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. Введ. с 01.07.88. -М.: Изд-во стандартов, 1988. -9 с.
2. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Введ. с 01.07.15. -М.: Стандартинформ, 2015. - 16с.
3. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. - М.: Машиностроение, 1991. - 333с.
4. Болотин В.В. О понятии устойчивости в строительной механике //Проблемы устойчивости в строительной механике. - М.: Стройиздат, 1965. -С. 6-27.
5. Броуде Б.М. Потеря устойчивости как предельное состояние//Строительная механика и расчет сооружений. 1970. - N6.-С.4-7.
6. Броуде Б.М., Бельский Г.И., Беляев Б.И. О потере устойчивости как предельном состоянии стальных конструкций //Строительная механика и расчет сооружений. 1990. -N3. -С.88-91.
7. Будянский Б., Хатчинсон Дж. Выпучивание: Достижение и проблемы //Механика деформируемых твердых тел: Направления развития: Сб. статей. -М.: Мир, 1983. - С.121-160.
8. Ведяков И.И., Райзер В.Д. Надежность строительных конструкций. Теория и расчет – М.: Издательство АСВ, 2018. – 414с.
9. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Расчет строительных конструкций на прогрессирующее обрушение: нормативные требования – Вестник НИЦ Строительство 2019, № 4 – С. 16-24с.
10. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Анализ нормативных требований к расчету строительных конструкций на прогрессирующее обрушение - Вестник НИЦ Строительство 2019, № 2 – С. 15-29.
11. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. В 2 кн. -М.: Мир, 1984. Кн.1. -350 с.
12. Койтер В.Т. Устойчивость и закритическое поведение упругих систем //Механика. Периодич. сб. пер. иностр. лит. - М.: ИЛ, 1960. -N5. -С. 99-110.
13. Муртазалиев Г.М. О предельных состояниях по условию потери устойчивости /Деп.в ВИНТИ 06.01.93, N 12 - В 93.
14. Муртазалиев Г.М. Методы теории катастроф в задачах устойчивости оболочек //Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. -М. ЦНИИСК им.Кучеренко:1996. -С. -40.
15. Муртазалиев Г.М. Методы теории катастроф в задачах устойчивости оболочек – Махачкала: ИПЦ, ДГТУ, 2003 – 176с.
16. Пановко Я.Г. О типах потери устойчивости упругих систем при статических нагрузках. //Строительная механика: Сб. статей. -М.: Стройиздат, 1966. - С.118-125.
17. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы.-3-е изд., перераб.-М.: Наука, 1979. -384 с.
18. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций – М: Издательство АСВ, 2007, - 256с.
19. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. -М.: Мир, 1980. -608 с.
20. Райзер В.Д., Муртазалиев Г.М. Закритические равновесные состояния пологих оболочек вращения. //Строительная механика и расчет сооружений.-1980. -N1. -С.40-45.
21. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании – М: Издательство АСВ, 1998, - 304с.
22. Теория ветвлений и нелинейные краевые задачи на собственные значения /Под ред.Дж.Б. Келлера и С. Антмана. -М.: Мир, 1974. -256 с.
23. Томпсон Д.М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. -М.: Мир, 1985.- 256 с.
24. Травуш В.И., Волков Ю.С. О параметрической модели нормирования и требованиях ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» - БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. №2 (1002), С. 36-38

References:

1. GOST 27751-88 (ST SEV 384-87). Reliability of building structures and foundations. Basic provisions for the calculation. Introduction from 01.07.88. M.: Publishing house of standards, 1988; 9 (In Russ).
2. GOST 27751-2014. Reliability of building structures and foundations. Basic provisions. Introduction from 01.07.15. -M.: Standartinform. 2015;16. (In Russ)
3. Alfutov N.A. Fundamentals of calculating the stability of elastic systems. M.: Mashinostroenie, 1991. 333p. (In Russ)
4. Bolotin V.V. On the concept of stability in structural mechanics. Problems of stability in structural mechanics. - M.: Stroyizdat, 1965; 6-27. (In Russ)
5. Broude B.M. Loss of stability as a limiting state. [Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy] Structural mechanics and calculation of structures. 1970; 6: 4-7. (In Russ)
6. Broude B.M., Belsky G.I., Belyaev B.I. On the loss of stability as the limiting state of steel structures. [Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy] Structural mechanics and calculation of structures. 1990; 3:88-91. (In Russ)
7. Budyansky B., Hutchinson J. Buckling: Achievement and problems. Mechanics of deformable solids: Directions of development: Sat. articles. M.: Mir, 1983; 121-160. (In Russ)
8. Vedyakov I.I., Raiser V.D. Reliability of building structures. Theory and calculation. M.: DIA Publishing House, 2018; 414. (In Russ)
9. Vedyakov I.I., Eremeev P.G., Odessky P.D., Popov N.A., Soloviev D.V. Calculation of building structures for progressive collapse: regulatory requirements. Bulletin of the NIC Construction 2019; 4: 16-24. (In Russ)

10. Vedyakov I.I., Ereemeev P.G., Odesskii P.D., Popov N.A., Soloviev D.V. Analysis of regulatory requirements for the calculation of building structures for progressive collapse. *Bulletin of the NIC Construction* 2019; 2: 15-29. (In Russ)
11. Gilmore R. Applied Catastrophe Theory. In 2 books. M.: Mir, 1984; 1: 350. (In Russ)
12. Koiter V.T. Stability and supercritical behavior of elastic systems. *Mechanics. Periodic Sat. per. foreign lit.* M.: IL, 1960; 5: 99-110. (In Russ)
13. Murtazaliev G.M. On the limit states under the condition of loss of stability. Dep. in VINITI 06.01.93; 12 - B 93. (In Russ)
14. Murtazaliev G.M. Methods of the theory of catastrophes in problems of the stability of shallow shells. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. M. TsNIISK named after Kucherenko: 1996; 40. (In Russ)
15. Murtazaliev G.M. Catastrophe theory methods in shell stability problems. Makhachkala: IPTs, DSTU, 2003; 176. (In Russ)
16. Panovko Ya.G. On the types of stability loss of elastic systems under static loads. *Structural mechanics: Sat. articles.* -M.: Stroyizdat, 1966; 118-125. (In Russ)
17. Panovko Ya.G., Gubanov I.I. Stability and oscillations of elastic systems: Modern concepts, errors and paradoxes. - 3rd ed., Rev. M.: [Nauka] Science. 1979; 384. (In Russ)
18. Perelmuter A.V. Selected problems of reliability and safety of building structures. M: DIA Publishing House, 2007; 256. (In Russ)
19. Poston T., Stuart I. Catastrophe theory and its applications. M.: Mir, 1980; 608. (In Russ)
20. Raiser V.D., Murtazaliev G.M. Supercritical equilibrium states of shallow shells of revolution. [Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy] *Structural mechanics and calculation of structures.* 1980; 1: 40-45. (In Russ)
21. Raiser V.D. Reliability theory in building design. M: DIA Publishing House. 1998; 304. (In Russ)
22. Theory of branching and nonlinear boundary value problems for eigenvalues. Under the editorship of J.B. Keller and S. Antman. M.: Mir, 1974; 256. (In Russ)
23. Thompson D.M.T. Instabilities and catastrophes in science and technology. M.: Mir, 1985; 256. (In Russ)
24. Travush V.I., Volkov Yu.S. On the parametric model of regulation and the requirements of GOST 27751-2014 "Reliability of building structures and foundations. Basic Provisions" BST: *Bulletin of Construction Equipment.* 2018; 2 (1002): 36-38 (In Russ)

Сведения об авторах:

Муртазалиев Гелани Муртазалиевич, доктор технических наук, профессор, кафедра сопротивления материалов, теоретической и строительной механики; ventav@mail.ru

Пайзулаев Магомед Муртазалиевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой сопротивления материалов, теоретической и строительной механики; ventav@mail.ru

Information about the authors:

Gelani M. Murtazaliev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department Resistance of Materials, Theoretical and Construction Mechanics; ventav@mail.ru

Magomed M. Payzulaev, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Department Resistance of Materials, Theoretical and Construction Mechanics; ventav@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 12.10.2021.

Одобрена после рецензирования / Reviced 10.11.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 12.11.2021.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-178-186

Оригинальная статья / Original Paper

Строительные растворы на вяжущих щелочной активации

М.Ш. Саламанова

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика

М.Д. Миллионщикова,

364051, Россия, г. Грозный, пр. Исаева, 100, Россия

Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской
академии наук,

364051, Россия, г. Грозный, Старопромысловское шоссе, 21, Россия

Резюме. Цель. Проблемы негативного воздействия карбонатной технологии производства портландцемента остро обсуждаются на многих научных площадках и мировое сообщество стремится создавать более экологически безопасные и менее энергоемкие вяжущие материалы. Развитие бесклинкерной технологии позволит решать многие проблемы глобального масштаба, а использование вторичного или некондиционного материала расширит сырьевую базу и уменьшит нагрузку на окружающую среду. **Метод.** Проектируя рецептуры строительных растворов необходимо учитывать соответствие требованиям, предъявляемым ко всем растворам в целом, как к штукатурным, так и к кладочным, отделочным, ремонтным и т.д. Исследование составов строительных растворов проводили стандартными методиками с использованием поверенного и сертифицированного оборудования. **Результат.** Получены марки растворов М75 – 150, с подвижностью растворной смеси P_k 1-2, сохраняемостью 33-120 минут, с высокой адгезионной прочностью 0,62- 0,71 МПа. **Вывод.** Предлагаемые составы растворов позволят выполнять штукатурные, кладочные и требующих быстрого схватывания ремонтные работы, а при правильном соблюдении предлагаемых рецептов и методики изготовления строительных растворов можно будет получать качественный и долговечный материал.

Ключевые слова: щелочные цементы, аспирационная пыль, клинкерная пыль, щелочной раствор, минеральный порошок, вулканический туф, метасиликат натрия

Для цитирования: М.Ш. Саламанова. Строительные растворы на вяжущих щелочной активации. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 178-186. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-178-186

Mortars on binding alkaline activation

M.Sh. Salamanova

M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University

100 Kh. Isaev Ave., Grozny, 364051, Russia,

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences,

21 Staropromyslovskoe highway, Grozny 364051, Russia

Abstract. Objective. The problems of the negative impact of the carbonate technology for the production of Portland cement are hotly discussed at many scientific sites and the world community is striving to create more environmentally friendly and less energy-intensive binders. The development of clinker-free technology will allow solving many problems of a global scale, and the use of recycled or substandard material will expand the raw material base and reduce the burden on the environment. **Method.** When designing formulations for building mortars, it is necessary to take into account the compliance with the requirements for all mortars in general, both for plastering and for masonry, fin-

ishing, repair, etc. The study of the compositions of mortars was carried out by standard methods using a verified and certified equipment. **Result.** The paper presents the results of many years of work on the development of building composites based on binders of alkaline activation. Grades of solutions M75 - 150 were obtained, with the mobility of the mortar mixture Pk 1-2, shelf life of 33-120 minutes, with high adhesive strength of 0.62- 0.71 MPa. **Conclusion.** The proposed mortar compositions will make it possible to perform plastering, masonry and repair work requiring quick setting, and with proper adherence to the proposed recipes and methods for making mortars, it will be possible to obtain high-quality and durable material.

Keywords: alkaline cements, aspiration dust, clinker dust, alkaline solution, mineral powder, volcanic tuff, sodium metasilicate

For citation: M.Sh. Salamanova. Mortars on binding alkaline activation. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48(4):178-186. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-178-186

Введение. На протяжении многих лет ученые исследователи стремятся создавать новые рецептуры вяжущих материалов, производство которых не будет сопряжено с широкомасштабным потреблением минерального и энергетического ресурсов, высокотемпературной обработкой, сложными технологическими процессами, выбросами в атмосферу диоксида углерода, цементной пыли, серы, диоксинов и др. Сравнительный анализ современных технологий различных представителей вяжущей категории показал, что портландцемент и его «сородичи» вне конкуренции по техническим показателям, но были времена, когда силикатный цемент был не таким популярным, и повсеместно применялись в основном щелочные цементы, в состав которых входили два компонента: тонкоизмельченные шлаки черной металлургии и щелочной затворитель. Во многих развитых странах щелочные цементы занимают определённую нишу на строительном рынке и пользуются растущим спросом. Поэтому технологические подходы для развития бесклнкерной технологии и в нашей стране позволит решать многие проблемы глобального масштаба, а использование вторичного или некондиционного материала расширит сырьевую базу и уменьшит нагрузку на окружающую среду [1-9].

С теоретической точки зрения закономерности формирования структуры и свойств цементного камня на вяжущих щелочной активации схожи с процессами, протекающими при твердении гидратационных цементов и образованиями в земной коре таких минералов, как полевые шпаты, мусковит, цеолиты типа гармотом, гейландит, шабазит, морденит, эпидесмин, анальцит, и др., зарождение которых происходило в условиях высоких давлений и влажности при низких температурах. Фазовый состав цеолитовых минералов имеет характерную нестабильность, так как изменялся в зависимости от щелочности гидротермальных растворов. Механизм протекания реакций синтеза цеолитовой фазы состоит из этапов серицитизации $R \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$ как последствия распада плагиоклаза и превращения полевых шпатов $Me \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$ в соединения типа серицит-мусковит $SiO_2 : Al_2O_3 : R_2O : H_2O$ [11-19].

Постановка задачи. Приведенные доводы позволили выстроить научную концепцию получения строительной продукции с использованием вяжущих систем щелочного затворения из минеральных добавок алюмосиликатной и силикатной природы. Основным носителем свойств в таких системах будут щелочной активатор и минеральная порошкообразная составляющая алюмосиликатной природы, благодаря которым и протекают процессы геополимеризации со встраиванием катионов щелочных и щелочноземельных металлов в алюмокремнекислородные цепочки.

Методы исследования. Для подтверждения выдвинутых гипотез проводились разработки по получению строительных растворов с использованием тщательно подобранных компонентов формовочной растворной смеси. В качестве алюмосиликатного компонента использовались достаточно реакционные порошки, извлекаемые из пылесадительной системы вращающейся клинкерообжигательной печи, в виде аспирационной и клинкерной пыли с удельной поверхностью $S_{уд}$ 280 и 210 м²/кг соответственно.

Для создания более плотной упаковки цементного камня и уменьшения межзерновой пустотности применяли минеральный порошок, полученный 40 минутным помолотом вулканического туфа $S_{уд} 534 \text{ м}^2/\text{кг}$. Основным компонентом вяжущей связки является смешанный щелочной активатор в виде метасиликата натрия с силикатным модулем 2,8 и плотностью $1,42 \text{ г/см}^3$ и раствора едкого натрия плотностью $1,22 \text{ г/см}^3$. При моделировании составов строительных растворов особую роль выполняет заполнитель, создавая жесткий скелет цементного камня. Местный сырьевой потенциал богат разнообразием тонких и мелких песков различной природы, начиная барханными и заканчивая кварцевыми песками.

Для оценивания влияния вида, крупности и формы заполнителя исследовались тонкие барханные пески Шелковского месторождения и мелкие кварцевые пески Червленского месторождения. Основные качественные характеристики песков различных месторождений приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики мелкого заполнителя
Table 1. Main characteristics of fine aggregate

Кварцевый песок Червленского месторождения/ Quartz sand of the Chervlenskoye deposit						
Наименование показателя/ Name of indicator	Значение показателя/ Indicator value					
Размер сит, мм/ Sieve size, mm	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	< 0,16
Частные остатки, %/ Private balances, %	1,5	4,5	15,4	44,6	32,2	1,8
Полные остатки, %/ Total balances, %	1,5	6,0	21,4	66,0	98,2	
Модуль крупности/ Size modulus	1,9 (мелкий/ small)					
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %/ Content of dust and clay particles, %	1,93					
Истинная плотность зерен, кг/м ³ True grain density, kg/m ³	2621					
Насыпная плотность, кг/м ³ Bulk density, kg/m ³	1532					
Пустотность песка, %/ Voidness of sand, %	41,4					
Барханный песок Шелковского месторождения/Dune sand of the Shelkovskoye deposit						
Размер сит, мм/ Sieve size, mm	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	< 0,16
Частные остатки, %/ Private balances, %	-	3,5	2,7	3,1	31,7	59
Полные остатки, %/ Total balances, %	-	3,5	6,2	9,3	41,0	
Модуль крупности/ Size modulus	0,6 (тонкий/ thin)					
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %/ Content of dust and clay particles, %	5,4					
Истинная плотность зерен, кг/м ³ True grain density, kg/m ³	2650					
Насыпная плотность, кг/м ³ Bulk density, kg/m ³	1390					
Пустотность песка, %/ Voidness of sand, %	48					

Анализируя результаты зернового состава и физических свойств, можно констатировать, что кварцевые пески находятся в зоне мелких, но насыпная плотность кварцевого песка $1,53 \text{ г/см}^3$, форма зерен остроугольная и зернистая, что позволяет его считать рекомендуемым для строительства; а барханные пески относятся к разряду тонких с насыпной плотностью меньше $1,50 \text{ г/см}^3$, форма частичек окатанная и сферичная, содержание глинистых и пылевидных фракций составило 5,4%, что характеризует данный заполнитель к категории некондиционных. Проектируя рецептуры строительных растворов необходимо учитывать соответствие требова-

ниям, предъявляемым ко всем растворам в целом, как к штукатурным, так и к кладочным, отделочным, ремонтным и т.д.

Это в первую очередь, необходимая пластичность раствора, так как важно обеспечить удобоукладываемую массу для заполнения пустот и неровностей на различных поверхностях; прочность и адгезионное сцепление раствора с кирпичным или бетонным основанием, обязательные критерии, в противном случае не избежать деформаций вплоть до разрушения ограждений; сохраняемость растворной смеси для предотвращения преждевременного схватывания раствора до его использования после приготовления [16-28]. Составы и свойства разработанных строительных растворов приводятся в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Составы и свойства растворных смесей на основе вяжущих связок щелочной активации

Table 2. Compositions and properties of mortar mixtures based on binders of alkaline activation

№ состава/composition number	Состав В:3 /Composition B:3	Расход компонентов растворной смеси, кг/м ³ Consumption of mortar components							Характеристики растворной смеси Characteristics of the mortar mixture		
		Вулканический туф/ Volcanic tuff	Активный порошок Active Powder		Мелкий заполнитель Small aggregate		Щелочной раствор Alkaline solution		Плотность растворной смеси, кг/м ³ / Mortar mixture density, kg/m3	Глубина погружения конуса, см/ Immersion depth of the cone, cm	Сохраняемость, мин. Preservation, min.
			Аспирационная пыль/ Aspiration dust	Клинкерная пыль/ Clinker dust	Червленский песок/ Chervlensky sand	Барханный песок/ Dune sand	Na ₂ SiO ₃	NaOH			
1.	1:1	70	494	105	1045	-	272	68	2093	7	33
2.	1:1	71	498	105	-	1020	248	62	2044	8	35
3.	1:2	38	285	57	1360	-	248	62	2059	6	64
4.	1:2	38	290	57	-	1333	224	56	2006	7	62
5.	1:3	17	127	25	1490	-	264	66	1998	4	122
6.	1:3	17	133	25	-	1470	256	64	1974	5	120

Обсуждение результатов. Результаты исследований показали, что формовочные смеси состава 1:1 с использованием вулканического порошка и реакционноактивных порошков из аспирационной и клинкерной пыли можно считать подвижными 7 – 8 см, марка по подвижности Пк 2, отделения жидкой фазы не наблюдалось.

В растворных смесях состава 1:2 наблюдалось снижение расхода щелочного затворителя, что объясняется уменьшением доли вяжущей порошкообразной составляющей. Подвижность по погружению конуса показала 6 см на кварцевых песках Червленского месторождения и 7 см на барханных песках.

В растворных смесях состава 1:3 явно ощущался дефицит реакционноактивных порошков, раствор щелочного затворителя увеличился, плотность формовочной массы уменьшилась до 1974 кг/м³.

Таблица 3. Свойства растворов на основе вяжущих связок щелочной активации
Table 3. Properties of solutions based on binders of alkaline activation

№ состава/ composition number	Плотность раствора, кг/м ³ The density of the solution,	Водопоглощение по массе, % Water absorption by mass	Прочность на сжатие, МПа, при t = 20 ± 2 °С Compressive strength, MPa, at t = 20 ± 2 °С		Адгезионная прочность, МПа на 28 суток Adhesion strength, MPa for 28 days	
			7 сут.	28 сут.	Бетон concrete	Кирпич brick
1.	2024	3,1	9,2	14,6	0,641	0,686
2.	1975	3,5	7,5	12,3	0,632	0,670
3.	1990	2,7	8,4	14,0	0,708	0,627
4.	1938	3,0	8,0	13,4	0,698	0,619
5.	1927	7,6	2,2	9,3	0,630	0,634
6.	1902	7,8	1,6	8,2	0,625	0,629

Удобоукладываемость смеси ухудшилась, пластичность уменьшилась, подвижность по погружению эталонного конуса составила 4 – 5 см, конечно же это обусловлено невысоким расходом активной порошкообразной составляющей в составе вяжущей связки. Сохраняемость растворной массы изменялась в зависимости от многих факторов, в первую очередь, от консистенции состава, в рецептурах 1:1 этот показатель был минимальный в пределах 25 - 33 минут, конечно же, это обусловлено высоким содержанием активной составляющей. В следующих рецептурах при увеличении расхода мелкого заполнителя (1:2; 1:3) сохраняемость увеличивалась от 45 минут 1,5 часов. Вид заполнителя, его гранулометрия, минералогия влияет на сохраняемость растворной смеси, на барханном песке – 28 – 35 минут, на кварцевом 25 – 33 минут (рис. 1).

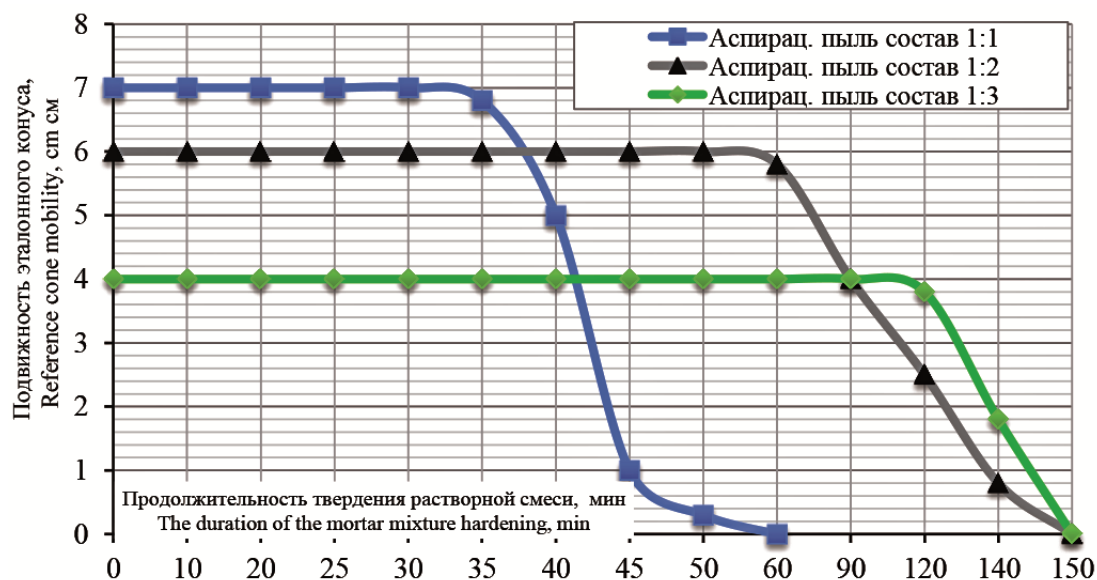


Рис. 1. Зависимость сохраняемости растворной смеси от количества и вида активного порошка

Fig. 1. Dependence of the preservation of the mortar mixture on the amount and type of active powder

Следовательно, полученные составы растворных смесей в зависимости от консистенции и технологических свойств можно использовать в различных областях строительства, составы

1:1 – для проведения срочного ремонта конструктивных элементов зданий и сооружений; 1:2 и 1:3 – в кладочных и штукатурных работах.

График зависимости сохранения первоначальной подвижности от продолжительности твердения растворной смеси показал, что составы на основе аспирационной пыли более удобоукладываемые, и жизнеспособность у них выше. Наиболее рациональным является состав 1:2 на основе вяжущей связки «аспираторная пыль – клинкерная пыль – минеральный порошок – ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$)», так как подвижность сохраняется более 60 минут и в течение часа постепенно снижается. При дальнейшем повышении доли заполнителя сохраняемость в такой же аналогии изменяется.

Еще одним достаточно важным показателем, необходимым для получения прочной и долговечной конструкции является адгезионная прочность строительного раствора к основному материалу. Методика исследования адгезии раствора проводилась согласно ГОСТ 31356-2013 - Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний.

Для определения силы отрыва образца затвердевшего раствора на основе БВЩА от основания были подготовлены стенды из бетонной плиты и кирпичной стены, для имитации более естественных эксплуатационных условий, на которые равномерно укладывали разработанные составы растворных смесей составов 1:1, 1:2 и 1:3, толщина массы оставалась постоянной и составляла 1 см. Прочность на отрыв измеряли с помощью прибора – Адгезиметр Е142, для этого на образцы строительных растворов на вяжущих щелочной активации (СРЩА) заданного размера приклеивали эпоксидным клеем металлический штамп с анкером для крепления к прибору.

Процесс проведения испытаний представлен на рис. 2 и 3.



Рис. 2. Проведение испытаний на отрыв раствора от бетонного основания
Fig. 2. Conducting tests for the separation of the solution from the concrete base



Рис. 3. Проведение испытаний на отрыв раствора от кирпичной стены
Fig. 3. Conducting tests for the separation of mortar from a brick wall

По характеру отрыва СРЩА можно судить о контактной зоне «строительный раствор – основание» и в зависимости от этого предложено 3 схемы разрушения:

- 1) Схема А – отрыв по зоне контакта «раствор – основание», в этом случае адгезионная прочность в зоне соприкосновения меньше сил сцепления раствора и основания;
- 2) Схема Б – отрыв произошел по линии раствора, в этом случае адгезия в зоне контакта и основания больше прочности самого раствора;
- 3) Схема В – отрыв зафиксирован по основанию, в этом случае прочность раствора и в зоне контакта преобладает прочность основания.

Проведя визуальный осмотр образцов на вяжущих связках «активный + минеральный порошки 10% + Na_2SiO_3 + NaOH » после испытания, можно констатировать, что характер отрыва СРЦА всех исследуемых составов 1:1, 1:2 и 1:3 от бетонного основания происходит по схеме Б, но в составе 1:3 в процессе отрыва по контуру обнаружена прослойка бетонной плиты. Характер отрыва СРЦА составов 1:1, 1:2 и 1:3 от кирпичной стены происходит также по схеме Б, но в составе 1:1 в процессе отрыва местами по контуру образца вырвана некоторая доля кирпичной кладки, следовательно, на поверхностных слоях раствора, где контакт с углекислотой максимальный прочность растворной части выше, чем в теле массива.

Вывод. При изучении характера разрыва образцов СРЦА установлено, что прочность растворной части меньше прочности в контактной зоне. Анализируя результаты показателей адгезионной прочности по всем составам в целом можно отметить, что она изменяется в пределах 0,62 – 0,71 МПа. На мелком заполнителе Червленского месторождения показали адгезию 0,71 МПа с бетонной основой и 0,62 МПа с кирпичным основанием. Следует отметить, что при изучении адгезии СРЦА в зоне поверхностных слоев образцов с воздухом прочность выше, чем в самой растворной части, так как при взаимодействии щелочного раствора с углекислым газом: $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4 \downarrow + \text{Na}_2\text{CO}_3$ образуется гель кремниевой кислоты, ускоряющий процесс твердения и набора прочности материала.

Таким образом, разработаны составы строительных растворов щелочного затворения различных марок М75 – 150, подвижность растворной смеси марки Пк 1 и Пк 2, сохраняемость от 33 минут до 1,5 часа, высокой адгезионной прочности от 0,62 до 0,71 МПа. Получены составы растворов позволяют выполнять широкий спектр работ, как штукатурных, кладочных, так и требующих быстрого схватывания ремонтных. При правильном соблюдении предлагаемых рецептов и методики изготовления строительных растворов можно будет получить качественный и долговечный материал.

Библиографический список:

1. Lopez F.J. Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation / F.J. Lopez, S. Sugita, M. Tagaya, T. Kobayashi // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. – 2014. – № 2. – P. 16 – 27.
2. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. – 2020. – № 1-2. – С.73-77.
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin - Based Geopolymer // Materials – 2016. – Vol. 9. – P. 767.
4. Krivenko, P. Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement / P. Krivenko, O. Petropavlovskii, M. Mokhort, V. Puchkar // Proceed. 3rd International Symposium "Non-traditional cement&concrete" (Brno). – 2008. – P.400-409.
5. Рахимова, Н.Р. Прочность камня композиционных шлакощелочных вяжущих с цеолитсодержащими добавками / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов // Известия КазГАСУ. – 2008. – №2(10). – С. 131-134.
6. Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Муртазаева Р.С.-А. Структура и свойства вяжущих щелочной активации с использованием цементной пыли // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019. – № 2 (Т.46). – С.148-158.
7. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. – 2018. – №2 (Т.46). – С. 65 –70.
8. Murtazayev S.-A. Yu., Salamanova M.Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing (Особенности получения мелкозернистых бетонов на основе бесклнкерных вяжущих щелочного затворения) 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod: 2019. – pp.385-388.
9. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture // Cement and Concrete Research – 2016. – P.163 – 173.
10. Рахимова Н.Р. Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов // Строительные материалы. – 2008. – №9. – С.77 – 80.
11. Hardjito, D. On the development of fly ash-based geopolymer concrete / D. Hardjito, S. Wallah, D. Sumajouw, B. Rangan // ACJ Materials Journal. – 2004. – vol.101. – pp. 467– 472.
12. Davidovitz, J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. – 2008. – 592 pp.
13. Fadhil Nuruddin M. Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete / M. Fadhil Nuruddin, S. Demie, M. Fareed Ahmed, Nasir Shafiq. // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. – № 75. – P.908 – 914.
14. Рахимова Н.Р. Композиционные шлакощелочные вяжущие с минеральными добавками различного типа активности / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2013. – № 16. – С. 204 – 216.

15. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite // *Construction and Building Materials*. – 2010. Vol. 24. – P. 2084 – 2090.
16. Alex T.C., Nath S.K., Kumar S., Kalinkin A.M., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere // *International Journal of Mineral Processing*. – 2013. – T. 216. – С. 102 –107.
17. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintsayev M.Sh., Bisultanov R.G Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Мелкозернистые бетоны на основе вяжущих щелочной активации) Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. – P.500 – 503.
18. Bataev D.K-S., S- A. Yu. Murtazayev, Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders (Использование цементной пыли в производстве бесклинкерных вяжущих щелочной активации) / Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. – P. 457 – 460.
19. Рахимов М.М., Хабибуллина Н.Р., Рахимов Р.З. Механизм отверждения боратных солевых растворов шлакощелочными вяжущими // Цемент и его применение. – 2016. – № 3. – С. 96 – 99.
20. Ушеров-Маршак А.В., Першина Л.А., Циак М. Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками. Ч. 1 // Цемент. 2002. № 6. С. 6–9
21. Dombrowski K., Buchwald A., Weil The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers // *Journal of Materials Science*. – Vol. 42. – №. 9. – 2007. – P. 3033 – 3043.
22. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // *Alkali Activated Materials*. – 2008. – P. 523 – 525.
23. Khater H.M. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // *Advances in Nano Research*. – 2015. – Vol. 3. – №. 4. – P.225 – 242.
24. Khater H.M., El Nagar A.M., Ezzat M. Optimization of Alkali Activated Grog/Ceramic Wastes Geopolymer Bricks // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2016. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 37– 46.
25. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // *Int. J. Chem. Sci.* – 2016. – № 14(S1). – P. 115 – 126.
26. Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р., Исмаилова З.Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации //Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». – 2020. – Т.3. – №1. – С. 21-29.
27. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Ismailova Z. Kh., Ibragimov S. Kh. Wastes recycling in the construction (Повторное использование отходов промышленности в строительстве) // ETSaP-2019 «Углеводороды и минералы: извлечение, транспортировка, хранение и обработка» в серии IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. - V.663. -№1. – P.1-7.
28. Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete //В сборнике: MATEC Web of Conferences 27. Сер. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFoCE 2018" 2018. С. 04018.

References:

1. Lopez F.J. Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation / F.J. Lopez, S. Sugita, M. Tagaya, T. Kobayashi. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2014; 2: 16 – 27.
2. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Nahaev M.R. Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry. *Stroitel'nye materialy* [Stroitelnye materialy]. 2020;1-2:73-77. (In Russ)
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin - Based Geopolymer. *Materials*. 2016; 9: 767.
4. Krivenko, P. Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement / P. Krivenko, O. Petropavlovskii, M. Mokhort, V. Puchkar // Proceed. 3rd International Symposium "Non-traditional cement&concrete" (Brno). 2008;400-409.
5. Rakhimova, N.R. Stone strength of composite slag-alkali binders with zeolite-containing additives / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov // *Izvestiya KazGASU*. 2008; 2 (10): 131-134. (In Russ)
6. Salamanova M.Sh., Aliev S.A., Murtazaeva R.S.-A. Structure and properties of alkaline activation binders using cement dust [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2019;. 46(2): 148-158. (In Russ)
7. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh. Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. *Privolzhsky scientific journal*. 2018; 46(2): 65–70. (In Russ)
8. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing (Особенности получения мелкозернистых бетонов на основе бесклинкерных вяжущих щелочного затворения) 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) V. G. Shukhov Belgorod State Technological University, 23–27 September 2019, Belgorod: 2019;385-388. (In Russ)
9. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture . *Cement and Concrete Research*. 2016;163 – 173.
10. Rakhimova H.P. State and promising directions of development of research and production of composite slag-alkali binders, solutions and concretes. [Stroitel'nye materialy] *Construction Materials*. 2008; 9:77 - 80. (In Russ)
11. Hardjito, D. On the development of fly ash-based geopolymer concrete / D. Hardjito, S. Wallah, D. Sumajouw, B. Rangan. *ACJ Materials Journal*. 2004;101:467– 472.
12. Davidovitz, J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008; 592.

13. Fadhil Nuruddin M. Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete / M. Fadhil Nuruddin, S. Demie, M. Fareed Ahmed, Nasir Shafiq. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2011; 75: 908 – 914.
14. Rakhimova N.R. Composite slag-alkali binders with mineral additives of various types of activity / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov. *Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*. 2013; 16: 204 - 216. (In Russ)
15. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite. *Construction and Building Materials*. 2010; 24: 2084 – 2090.
16. Alex T.C., Nath S.K., Kumar S., Kalinkin A.M., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere. *International Journal of Mineral Processing*. 2013; 216: 102 – 107.
17. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintshev M.Sh., Bisultanov R.G Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Мелкозернистые бетоны на основе вяжущих щелочной активации) Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019;1:500 – 503.
18. Bataev D.K-S., S- A. Yu. Murtazayev, Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders (Использование цементной пыли в производстве бесклнкерных вяжущих щелочной активации) / Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019; 1: 457 – 460.
19. Rakhimov M.M., Khabibullina N.R., Rakhimov R.Z. The mechanism of curing borate salt solutions with slag-alkali binders. *Cement and its application*. 2016; 3: 96 - 99.
20. Usharov-Marshak AV, Pershina LA, Tsiak M. Compatibility of cements with chemical and mineral additives. Part 1 *Cement and its application*. 2002; 6: 6–9
21. Dombrowski K., Buchwald A., Weil The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers . *Journal of Materials Science*. 2007; 42(9): 3033 – 3043.
22. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // *Alkali Activated Materials*. 2008; 523 – 525.
23. Khater H.M. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // *Advances in Nano Research*. 2015; 3(4):225 – 242.
24. Khater H.M., El Nagar A.M., Ezzat M. Optimization of Alkali Activated Grog/Ceramic Wastes Geopolymer Bricks. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2016; 5(1): 37– 46.
25. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand. *Int. J. Chem. Sci*. 2016; 14(S1): 115 – 126.
26. Salamanova M.Sh., Nakhaev M.R., Ismailova Z.Kh. Regularities of the processes of formation of the structure and strength of the linker-free binder with alkaline activation. *International research journal "Building materials and products"*. 2020; 3(1): 21-29. (In Russ)
27. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Ismailova Z. Kh., Ibragimov S. Kh. Wastes recycling in the construction. ETSaP-2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019;663(1):1-7.
28. Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete. *MATEC Web of Conferences* 27. Ser. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018" 2018; 04018.

Сведения об авторах:

Саламанова Мадина Шахидовна, кандидат технических наук, доцент, институт строительства, архитектуры и дизайна, кафедра технологии строительного производства, e-mail: madina_salamanova@mail.ru ORCID 0000-0002-1293-7090

Information about authors:

Madina Sh. Salamanova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Institute of Construction, Architecture and Design, Department of Construction Production Technology, e-mail: madina_salamanova@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 19.10.2021.

Одобрена после рецензирования /Reviced 20.11.2021.

Принята в печать /Accepted for publication 20.11.2021.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-187-196

Оригинальная статья/Original Paper

Исследование влияния электроразогрева керамзитобетонной смеси на структуру и свойства легких керамзитобетонов, подверженных воздействию высоких температур
Г.Н. Хаджишалапов¹, Т.А. Хежев², А.М. Гаджиев¹, Р.Г. Раджабов¹, У.И. Исаева¹

¹Дагестанский государственный технический университет,

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

²Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,

²360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является изучение влияния предварительного электроразогрева бетонной смеси на структуру и свойства жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем до сушки при температуре 105°C. **Метод.** В основу заложен отечественный и зарубежный опыт исследования влияния предварительного электроразогрева на свойства и структуру различных бетонов, в том числе жаростойких. **Результат.** Разработан и апробирован лабораторный стенд для предварительного электроразогрева смесей. Исследовано влияние предварительного электроразогрева на процесс самопропаривания жаростойкого керамзитобетона. Разработан режим предварительного электроразогрева жаростойкого керамзитобетонной смеси во времени. Получены зависимости напряжений, обусловленные разницей температурных коэффициентов линейного расширения крупного и мелкого заполнителя и растворной части от температуры нагрева; определены зависимости предела прочности керамзитобетона от температуры нагрева керамзитобетонной смеси при различных режимах предварительного разогрева с композиционным вяжущим с соотношением компонентов: портландцемента 70%, минеральная добавка 30%. **Вывод.** Предварительный электроразогрев смеси для жаростойкого бетона с керамзитовым заполнителем на основе активированного композиционного вяжущего позволит получить бетон с более высокими физико-термическими и эксплуатационными характеристиками, а также сократить технологический процесс изготовления жаростойких изделий, период сушки и вывода теплового агрегата на рабочий режим.

Ключевые слова: предварительный электроразогрев, керамзитобетон, самопропаривание, режим нагрева, водотвердое отношение

Для цитирования: Г.Н. Хаджишалапов, Т.А. Хежев, А.М. Гаджиев, Р.Г. Раджабов, У.И. Исаева. Исследование влияния электроразогрева керамзитобетонной смеси на структуру и свойства легких керамзитобетонов, подверженных воздействию высоких температур. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4): 187-196. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-187-196

Investigation of the effect of electric heating of expanded clay concrete mixture on the structure and properties of lightweight expanded clay concrete exposed to high temperatures

G.N. Khadzhishalapov¹, T.A. Khezhev², A.M. Gadzhiev¹, R.G. Radjabov¹, U.I. Isaeva¹

¹ Daghestan State Technical University,

¹367026, Makhachkala, Imam Shamil Ave., 70, Russia,

² H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,

²173 Chernyshevsky Str., Nalchik 360004, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to study the effect of preliminary electrical heating of the concrete mixture on the structure and properties of heat-resistant expanded clay concrete on a composite binder before drying at a temperature of 105°C. **Method.** It is based on domestic and for-

eign experience in studying the effect of preliminary electrical heating on the properties and structure of various concretes, including heat-resistant ones. **Result.** A laboratory stand for preliminary electrical heating of mixtures has been developed and tested. The influence of preliminary electric heating on the process of self-steaming of heat-resistant expanded clay concrete has been studied. A mode of preliminary electric heating of a heat-resistant expanded clay concrete mixture in time has been developed. Stress dependences are obtained due to the difference in the temperature coefficients of linear expansion of coarse and fine aggregates and the mortar part on the heating temperature, as well as the dependences of the ultimate strength of expanded clay concrete on the heating temperature of the expanded clay concrete mixture under various modes of preheating with a composite binder with a ratio of components: Portland cement 70%, mineral additive 30%. **Conclusion.** Based on the results obtained and the analysis of the studies carried out in the field of preliminary electrical heating of concrete mixtures, it can be concluded that the preliminary electrical heating of a mixture for heat-resistant concrete with expanded clay filler based on an activated composite binder will make it possible to obtain concrete with higher physico-thermal and operational characteristics, as well as to reduce the technological process of manufacturing heat-resistant products, the drying period and bringing the thermal unit to the operating mode.

Keywords: electrical preheating, expanded clay concrete, self-steaming, heating mode, water-solid ratio

For citation: G.N. Khadzhishalopov, T.A. Khezhev, A.M. Gadzhiev, R.G. Radjabov, U.I. Isaeva. Investigation of the effect of electric heating of expanded clay concrete mixture on the structure and properties of lightweight expanded clay concrete exposed to high temperatures. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48(4): 187-196. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-187-196

Введение. Исследованию влияния электроразогрева смеси на свойства обычных бетонов в нашей стране посвящены работы ученых: Б.Г. Скрамтаева, Б.А. Крылова, Н.Н. Данилова, Н.А. Гордиенко, Р.В. Веселова, К.П. Симиренко, А.В. Лагойды, С.А. Миронова, Л.А. Комиссарова, З.М. Ларионова, В.Н. Сизова, Г.И. Цителаури, А.И. Ли, Р.А. Лукачева, Б.А. Усова, А.И. Бирюкова, В.Н. Ефемчука, К.А. Гасанова, В.И. Смирнова, А.С. Арбеньева, В.И. Зубкова, Л.М. Колчеданцева, М.Н. Титова, а также зарубежных ученых: А. Брундома, Х. Болинома, Х. Итакури, Я. Илики, А. Веуми, М. Глевинда, Н. Тейлора, С. Гоиды и других. В исследованиях ученых рассматриваются в основном бетоны, которые эксплуатируются в обычных условиях. Однако влияние электроразогрева смесей на свойства бетонов, которые эксплуатируются в условиях воздействия повышенных и высоких температур, недостаточно изучено.

Исследованию влияния электроразогрева смесей на свойства бетонов, подверженных воздействию повышенных и высоких температур, посвящены работы К.Д. Некрасова, А.Е. Федорова, П.А. Михальчука, А.П. Тарасовой, В.В. Жукова, Т.Р. Тотурбиева, Г.Н. Хаджишалапова и др.

В работах отмеченных авторов проведены исследования по разработке режимов влияния электроразогрева на свойства жаростойких бетонов на портландцементе с тонкомолотыми минеральными добавками на шамотном заполнителе; выявлены особенности твердения жаростойких бетонов на жидком стекле при электроразогреве, а также определена степень влияния предварительного нагрева на свойства жаростойкого шамотного бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем. Установлено, что значительное влияние на структуру и свойства бетонов, подверженных воздействию повышенных и высоких температур, оказывают первоначальные условия твердения вяжущих, количество воды в бетонной смеси, вид крупного и мелкого заполнителя, а также вяжущего.

Постановка задачи. В Дагестанском государственном техническом университете на протяжении ряда лет проводятся исследования влияния электроразогрева на структуру и свойства керамзитобетона на композиционном вяжущем из местного минерального сырья. В качестве крупного заполнителя используются керамзитовый гравий Кизилюртовского керамзитово-

го завода, крупностью зерен до 10мм, а также керамзитовый песок крупностью до 2мм, а в качестве вяжущего портландцемент Серебряковского завода в соответствии с ГОСТ 10178-85 с минеральной добавкой до 30% от портландцемента из обожженного серого аргиллита месторождения Шура-Озень Республики Дагестан. Вяжущее до перемешивания с крупным заполнителем проходил процесс активации на планетарной мельнице «Активатор 4м».

В настоящее время на территории Республики, как указано в работе [16], выявлено более 20 участков и месторождений керамзитовых глин, которые с успехом могут быть использованы в качестве сырьевой базы для производства легких заполнителей.

Химический состав и технологические свойства керамзитовых глин соответствуют требованиям ГОСТ 9757-90; наиболее благоприятными для производства керамзита являются Сарматские глины, распространенные в пределах г. Махачкалы, Избербаша и Кизилюрта. Изучены и разведаны Сулакское, Буйнакское, Эrpелинское, Агачаульское, Талгинское и Архитское месторождения керамзитовых глин с общим запасом более 35 млн.т. Аргиллиты Нижнемелового, Майкопского и Сарматского возраста выявлены в междуречье Акташ-Халагорк, а также в бассейнах рек Сулак, Улучай, Аварское и Андийское Койсу и др. Мощность слоев ярусов глинистых пород 400-900 метров.

Аргиллиты, которые применяются в качестве минеральной добавки в композиционном вяжущем после обжига при температуре 1000°C являются малопластичными, легкоплавкими, средними и хорошо вспучивающимися и могут использоваться так же для производства керамической плитки, для внутренней облицовки стен, а также после обжига и помола для производства кирпича строительного, обыкновенного и лицевого.

Многочисленные проявления майкопских глин [7] для производства облицовочных плиток для внутренней и внешней отделки известны также в междуречье Рубасчай – Халагорк. Верхнеааленские аргиллиты, отмеченные в бассейнах рек Чирагчай и Казакумукское Койсу, также пригодны для производства плитки керамической, фасадной и для облицовки стен при условии подготовки сырья полусухим способом прессования и обжига при температуре 1000°C. Химический состав керамзитовой глины и серого аргиллита приведены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав керамзитовых глин и серого аргиллита
Table 1. Chemical composition of expanded clay and gray argillite

№ п/п	Наименование месторождения или проявления Name of deposit or occurrence	Материал Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO ₂	ППП
1.	Кизилюртовское Kizilyurtovskoye	Керамзитовая глина Expanded clay	54,0	17,0	7,5	3,4	2,25	1,0	2,3	1,13	0,82	0,1	10,5
2.	Шура-Озень Shura-Ozen	Аргиллит серый Argillite gray	56,82	15,0	7,58	0,25	2,34	3,76	4,21	3,5	-	-	-

Целью исследования является изучение влияния предварительного электроразогрева бетонной смеси на структуру и свойства жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем до сушки при температуре 105°C.

Методы исследования. Для бетонов, подверженных воздействию высоких температур, важное значение имеет процесс тепломассопереноса, так как фильтрация пара и жидкости в бетоне влияет на структуру и поровое пространство, поэтому одной из важных задач в технологии бетонов является снижение начальной влажности до сушки при температуре 105°C. Как указано в работе [1], через 2-3 суток после изготовления жаростойкого бетона его влажность W_b^{105}

составляет 10-12%. В этом возрасте наблюдается как фильтрация пара, так и жидкости под действием порового давления.

Сушка и первый нагрев блоков и жаростойких бетонов в тепловых агрегатах, как указано в работах [1,9,12], осуществляется через несколько месяцев.

Снижение количества влаги до сушки с целью снижения деструктивных явлений в структуре бетона, повышения эксплуатационных показателей и снижения технологического цикла сушки и первого нагрева является актуальной задачей. Одним из эффективных методов, который существенно влияет на структуру и свойства бетонов, является предварительный электроразогрев смеси до сушки при температуре 105°C. Особенно это эффективно для бетонов на основе пористых заполнителей, в частности, на керамзитовом заполнителе.

В работах авторов [3] приводятся данные, что предварительный электроразогрев смеси до сушки при температуре 105°C приводит к активизации частиц вяжущего при столкновении между собой. Помимо активизации проходит процесс самопропаривания, так как крупным и мелким заполнителем в бетоне является керамзитовый гравий, который обладает пористой структурой [6,10,11].

Вода, которая накапливается в порах в процессе перемешивания, нагревается и превращается в пар, вызывая эффект самопропаривания. Эффект самопропаривания снижает миграцию влаги в бетоне, тем самым уменьшая напряжения, которые возникают в процессе миграции в межпоровых перегородках. За счет самопропаривания происходит также снижение порового давления в бетоне.

Как указано в работах [4,6], поровое давление, которое возникает в бетоне, вызывает напряжение не более 1,2МПа. Авторы [1] указывают, что поровое давление, замеренное в момент взрывообразного разрушения бетона, не превышало 0,04-0,2МПа и не может привести к растягивающим напряжениям, которые могут вызывать разрушение, а наоборот давление в порах способствует более полной гидратации вяжущего, которое приводит к повышению прочности бетона.

Наиболее деструктивные явления в структуре бетона оказывает миграция влаги из зоны фазового перехода к горячей поверхности бетонного блока. Напряжения, которые возникают из-за миграции влаги, вызваны трением пара со стенками пор. Растягивающее напряжение в бетоне с учетом релаксации и напряжения, которые возникают в структуре бетона из-за разности деформаций заполнителя и растворной части, как указано в работе[1], можно определить по формулам 1 и 2.

$$G_p = \left(8\Pi \cdot N_j \int_0^x \frac{K}{\Pi} dp \right) \left(1 - \frac{t}{2(1+8)tp} \right) \quad (1)$$

где G – коэффициент Пуассона, количество капилляров, проходящие на 1см²;

Π – объемная пористость;

K – коэффициент проницаемости;

t_p – температура;

p – давление пара.

$$G_p = \frac{\Delta\alpha_{tp} \cdot \Delta T E_p^T}{\alpha + tV_{tp} + E_p^t V_p / E_3^T \cdot V^3}, \quad (2)$$

где $\Delta\alpha_{tp}$ – разность суммарных температурных коэффициентов линейного расширения заполнителей и растворной части бетона;

ΔT – интервал изменения температуры при нагреве бетона от T до T_2 ;

E_p^T и E_3^T – модули упругости, соответственно, нагретых заполнителя и растворной части бетона;

V^3, V_p – объемы, соответственно, заполнителя и растворной части бетона на 1м³.

На рис.1, приведена зависимость растягивающих напряжений от скорости нагрева жаростойкого керамзитобетона без предварительного электроразогрева и с предварительным электроразогревом.

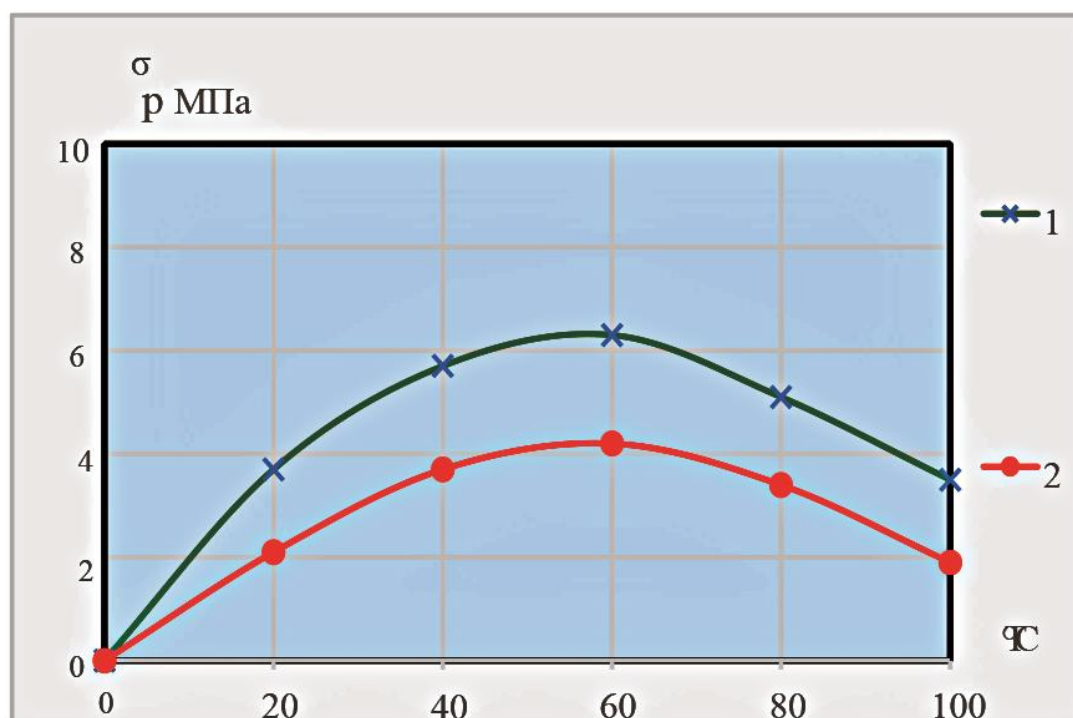


Рис. 1. Зависимость напряжений, обусловленных разницей температурных коэффициентов линейного расширения крупных заполнителей и растворной части, от температуры нагрева жаростойкого керамзитового бетона на композиционном вяжущем при скорости нагрева 50°C/час

1 – без предварительного электроразогрева; 2 – с предварительным электроразогревом

Fig. 1. Dependence of stresses due to the difference in the temperature coefficients of linear expansion of large aggregates and the mortar part, on the heating temperature of heat-resistant expanded clay concrete on a composite binder at a heating rate of 50°C/hour

1 - without preliminary electrical heating; 2 - with preliminary electrical heating

Из графика (рис. 1) видно, что структурные напряжения, связанные с разницей температурных коэффициентов линейного расширения крупных заполнителей и растворной части меньше на 25-30% в бетоне с предварительным электроразогревом бетонной смеси. Снижение напряжения связано с уменьшением миграции влаги за счет эффекта самопропаривания и уменьшения трения воды со стенками растворной части керамзитобетона в процессе тепломассопереноса.

В работе [3] также указываются, что электроразогрев смеси приводит к снижению миграционных процессов между пористым заполнителем и растворной частью, так как воздух в порах заполнителя усиливается в объеме и будет противодействовать капиллярным силам миграционного передвижения цементной суспензии. Вследствие этого процесса, электроразогретые до температуры 60-80°C керамзитобетонные смеси имеют более однородную структуру. Из-за ускорения твердения бетона и повышения однородности его структуры улучшаются эксплуатационные свойства жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем.

Для проведения исследования в лаборатории строительных материалов научно-образовательного центра «Современные строительные материалы и конструкции» по методике, приведенной в работах [2,7,8], был собран испытательный стенд, принципиальная схема и вид которого приведены на рис. 2 и 3.

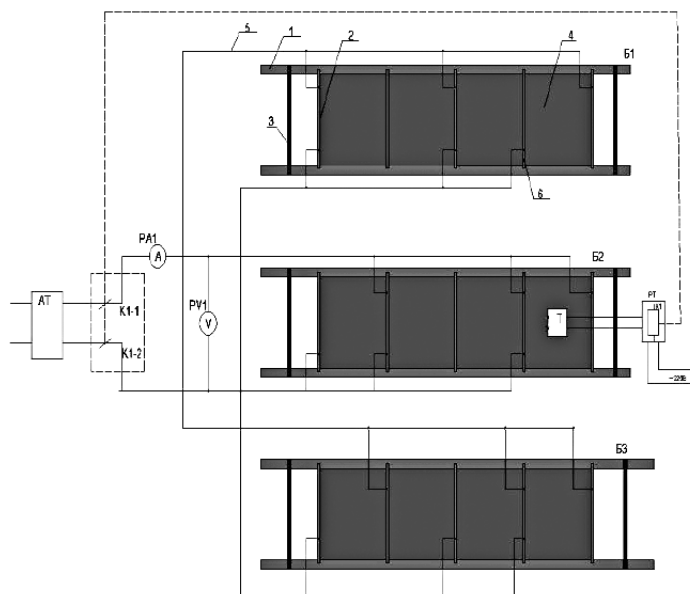


Рис. 2. Принципиальная схема испытательного стенда для предварительного электронагрева бетонной смеси

АТ – автотрансформатор; РТ – регулятор температуры; Б1-Б3 – блоки испытуемые; Т – термодатчик;
РА1 – амперметр переменного тока; PV1 – вольтметр переменного тока;
K1 – реле в составе РТ; K1.1 – K1.2 – контакты реле K1; 1 – деревянный корпус блока; 2 – металлические перегородки; 3 – распорка блоков; 4 – испытуемый образец; 5 – электропровод; 6 – спайки

Fig. 2. Schematic diagram of the test bench for preliminary electrical heating of the concrete mix

AT - autotransformer; RT - temperature controller; B1-B3 - test blocks; T - temperature sensor;
RA1 - AC ammeter; PV1 – AC voltmeter;
K1 - relay as part of the RT; K1.1 - K1.2 - relay contacts K1; 1 - wooden case of the block; 2 - metal partitions;
3 - strut blocks; 4 - test sample; 5 - electrical wire; 6 - adhesions

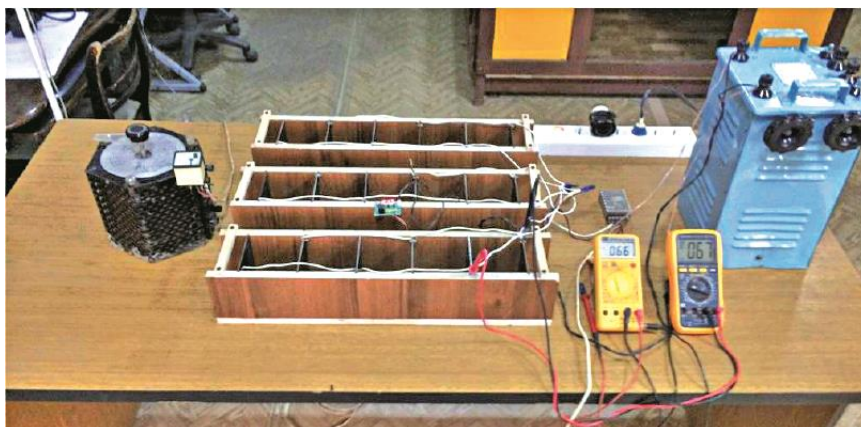


Рис. 3. Вид испытательного стенда для предварительного электронагрева бетонной смеси

Fig. 3. View of the test bench for preliminary electrical heating of the concrete mixture

Обсуждение результатов. Результаты проведенных исследований по определению влияния предварительного электронагрева смеси на структуру и физико-механические свойства керамзитобетона показали, что полученные результаты хорошо согласуются с результатами других авторов [2,8].

На рис. 4 и в табл. 2 приведены режимы предварительного электронагрева керамзитобетонной смеси при температурах 60°, 80°, 90°C.

Таблица 2. Режимы предварительного электронагрева керамзитобетонной смеси при температурах 60°, 80°, 90°C

Table 2. Modes of preliminary electric heating of expanded clay concrete mixture at temperatures of 60°, 80°, 90°C

Температура Temperature	Время испытания, час/ Test time, hour		
	Подъем Rise	Прогрев Warming - up	Выдержка (без подогрева) Excerpt (without heating)
90°	2	2	4
80°	1,5	2	6
60°	1	2	6

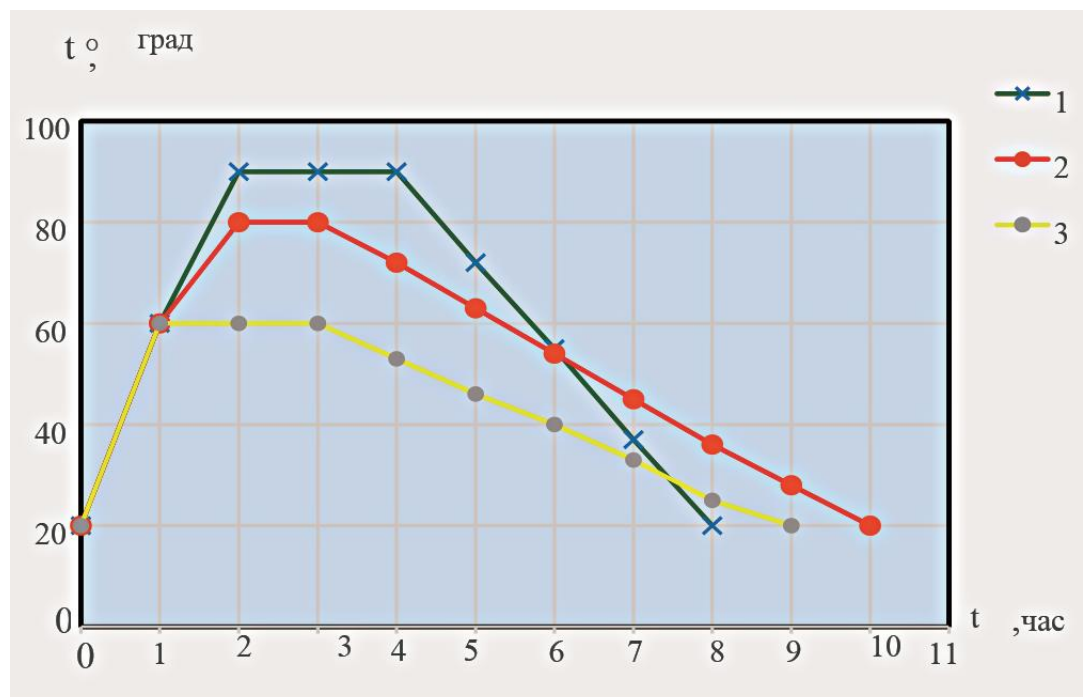


Рис. 4. Режимы электронагрева керамзитобетонной смеси во времени

1 – нагрев при 90°C; 2 – нагрев при 80°C; 3 – нагрев при 60°C

Fig. 4. Modes of electric heating of expanded clay mixture in time

1 – heating at 90°C; 2 – heating at 80°C; 3 – heating at 60°C

Испаряющаяся в бетоне влага в виде пара фильтруется к поверхностям элемента, при этом в каждой температурной зоне бетона, несмотря на значительную скорость фильтрации пара, сохраняется термодинамическое равновесие, что подтверждается данными, приведенными в работах [1,4,5,13,14]. Пар фильтруется также по направлению теплового потока, изменяя влажность бетона в элементах. Этот процесс был изучен, результаты исследований приведены в работе [1].

При нагреве элементов из жаростойкого бетона его влажность в наибольшей степени (1,5 раза по сравнению с начальной влажностью) увеличивалась непосредственно за зоной испарения при температурах 50-70°C. При заполнении водой 70-80% объема порового пространства, структура бетона становится непроницаемой для жидкости и пара.

Как видно из рис. 5, рост прочности бетона при предварительном электронагреве смеси, а также после сушки до температуры 105°C до постоянной массы объясняется тем, что при предварительном электронагреве происходит процесс самопропаривания, связанное с наличием достаточного количества влаги, содержащих в зернах заполнителя.

При нагреве образцов бетона до температуры 400°, 600°, 800° и 1000°C прочность бетона снижается с увеличением температуры нагрева в результате изменения структуры затвердевшего портландцемента вследствие обезвоживания и разрушения пространственной решетки

кристаллогидратов при их дегидратации, сопровождаемые потерей их прочности, а также в результате разности в деформациях цементного камня и заполнителя при первом нагреве.

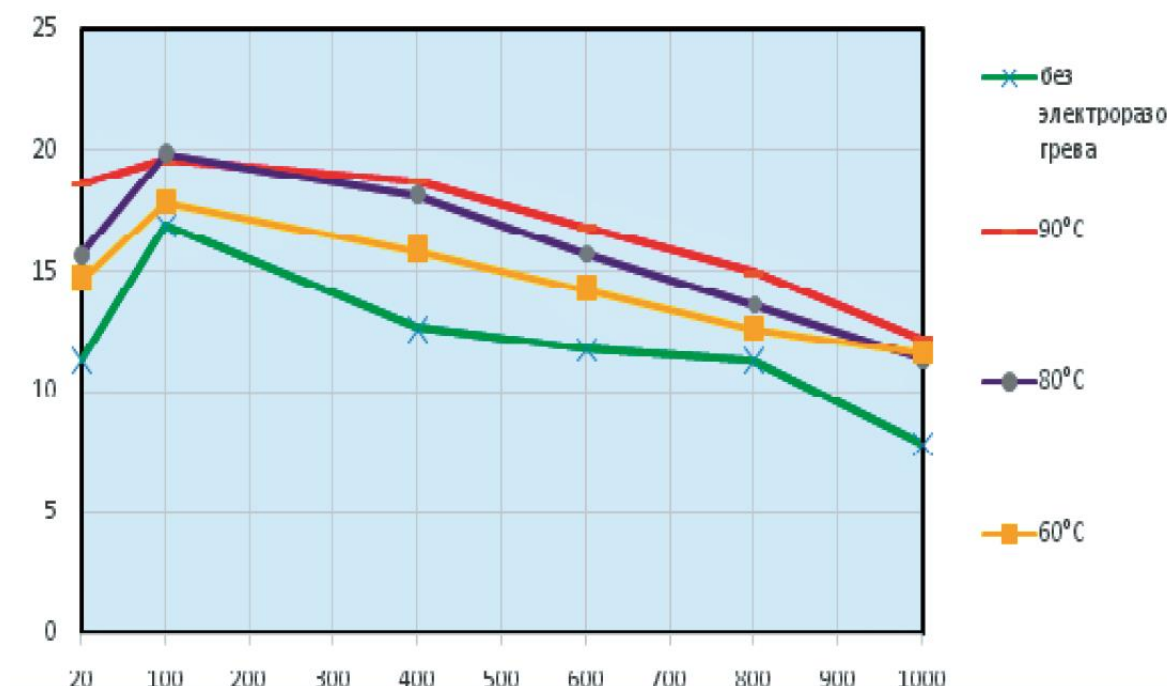


Рис. 5. Зависимость прочности от температуры нагрева керамзитобетона с композиционным вяжущим (соотношение компонентов: портландцемента 70%, минеральная добавка 30%) при различных режимах предварительного разогрева

Fig. 5. Dependence of strength on heating temperature of expanded clay concrete with composite binder (component ratio: Portland cement 70%, mineral additive 30%) under different preheating modes

Установлено, что максимальное напряжение в бетоне возникает при резком подъеме температуры, вследствие чего появляются значительные температурные напряжения. Эти процессы происходят при температуре предварительного разогрева в интервале от 40 до 70°C. Для снижения влияния напряженного состояния на структуру твердеющего жаростойкого бетона на керамзитовом заполнителе рекомендуется при температуре 40-70°C в течение часа устроить технологический перерыв в подъеме температуры [1]. Увеличение скорости подъема температуры от 10°C/час до 40°C/час не оказывает существенного влияния на изменения прочностных характеристик бетона как до, так и после нагревания образцов бетона до температуры 1000°C.

Нейтрализация деструктивных явлений при увеличении скорости нагрева до 40°C/час в процессе предварительного электроразогрева связана с наличием в бетоне активированного композиционного вяжущего с развитой удельной поверхностью, который снижает температурные деформации в бетоне и способствует интенсификации реакции гидратации с повышением температуры.

Для жаростойких бетонов на основе керамзитового заполнителя очень важно снижение количества влаги до сушки, поэтому при подборе состава бетона важную роль играет водотвердое отношение. Водотвердое отношение для жаростойких бетонов колеблется в пределах от 0,2 до 0,35, чтобы подвижность смеси по осадке стандартного конуса не превышала 2см. Как указано в работе [1], уменьшение водотвердого отношения до 0,25 приводит к повышению прочности после электроразогрева смеси до 50%.

Причиной замедления твердения бетонов с большим содержанием воды является увеличение расстояния между частицами цемента из-за большого слоя воды и уменьшения силы взаимодействия между частицами. Изменение прочности керамзитобетона при сжатии одинаково

при водотвердом отношении $0,2 \div 0,25$, как при нормальных влажных условиях твердения, так и с применением электроразогрева смеси.

При формировании изделий из жаростойкого бетона для уплотнения смеси и создания плотной упаковки крупного и мелкого заполнителя необходимо применение дополнительного пригруза.

Предварительный электроразогрев позволяет оптимизировать подвижность бетонной смеси за счет регулирования водотвердого отношения, количества пластифицирующей добавки и количества активированного композиционного вяжущего для повышения эксплуатационных характеристик жаростойких изделий. Это достигается предварительным электроразогревом смеси за счет удаления химически несвязанной воды из растворной части бетона, а также влаги поровой структуры заполнителя.

Вывод. На основании полученных результатов и анализа проведенных исследований в области предварительного электроразогрева бетонных смесей можно сделать вывод, что предварительный электроразогрев смеси для жаростойкого бетона с керамзитовым заполнителем на основе активированного композиционного вяжущего позволит получить бетон с более высокими физико-термическими и эксплуатационными характеристиками, а также сократить технологический процесс изготовления жаростойких изделий, период сушки и вывода теплового агрегата на рабочий режим.

Установлено, что наиболее благоприятным режимом первого нагрева является ступенчатый нагрев, так как способствует снижению деструктивных процессов в бетоне, вызванные структурными нарушениями в период подъема температуры первого нагрева. Предварительный электроразогрев позволяет получить бетон высокого качества при значительном сокращении времени термической обработки.

Библиографический список:

1. Некрасов К.Д. Сушка и первый нагрев тепловых агрегатов из жаростойких бетонов [текст] К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В.Ф. Гуляева. – М.: Стройиздат. 1976-96с.
2. Федоров А.Е. Разработка режимов электроразогрева жаростойких бетонов [текст]/ А.Е. Федоров., П.А. Михальчук. // сб.тр. НИИЖБ-М., Стройиздат СССР, - 1964. С214-216.
3. Крылов Б.А., Копылов В.Д. Кинетика потерь влаги бетонами в процессе электропрогрева [текст] Б.А. Крылов, В.Д. Копылов// Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона – Москва – 1970-С.186-194.
4. Крылов Б.А., Ли А.И. Механизм воздействия форсированного подъема температур на физико-химических процессов в бетоне при электроразогреве [текст]/ Б.А. Крылов, А.И. Ли// Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона – Москва – 1970-С. 164-137.
5. Литовский Е.Я. Переносные свойства вещества. Тепло и массоперенос. – Минск АНБССР, 1972.т.7 – С.424-432.
6. Орендлихер Л.П. Бетоны на пористых заполнителях в сборных железобетонных конструкциях [текст]/ Л.П. Орендлихер – М: Стройиздат, 1983, С65-68.
7. Method and apparatus for measuring impedance of a conducting medium with a calibrated probe: Пат.3566233 США, МКИ G 01 №27/00; Alan Richard (C|||A); Hoffmann-La Roche Inc. №769150; Заявл.2.10.1968; Оpubл.23.02.1971.
8. Федоров А.Е., Михальчук П.А. Влияние электропрогрева на свойства жаростойкого бетона на портландцементе с тонкокомолотой шамотной добавкой и шамотным заполнителем. [текст]/ А.Е. Федоров, П.А. Михальчук // Жаростойкие бетоны – Москва – 1964 – С.299-300.
9. Хаджишалапов Г.Н. Влияние предварительного разогрева на термомеханические свойства жаростойкого шамотного бетона на силикат-натриевом Композиционном вяжущем [текст]/ диссертация кандидат. технич. наук: 0523-05/ Хаджишалапов Г.Н. – М. 1995-160с.
10. Krylov B.A. Temperature Influence on Concreting Structures and its Hardenings. / International Simposium in Japan E&FN Spook. 1995/-Wolum Two.917-925p/
11. Krylov B.A. Cold Weather Concreting. USA. –CRC Press LLC. 1998-227 p.
12. Патент РФ № 2082699. Способ изготовления безобжиговых шамотных огнеупоров. Бюллетень изобретений 1997 №18. Тотурбиев Б.Д., Жуков В.В., Хаджишалапов Г.Н., Батырмурзаев Б.Д.
13. Bazant L.P. Pore Pressure and drying of concrete at high temperature. J. of the engineering mechanics division: Proceedings ASTM – Easton, Pa.: ASTM, 1978, October, EM5, p.1059-1079.
14. Sahota M.S., Pagni P. J. Heat and mass transfer in porous media subject to fires. – Intern J. of heat and mass transfer. 1979, vol.22, p. 1069-1081.
15. Powers T.C., Brownayard T.L. SDtudies of the physical properties of hardened Portland cement past. – Bulletin of the research laboratories of the Portland cement association. Chicago: R.L.P.C.A., 1948, N 22, p. 101-999.
16. <http://geologdgu.blogspot.com/>

References:

1. Nekrasov K.D. Drying and first heating of heat-resistant concrete units / [text] K.D. Nekrasov, V.V. Zhukov, V.F. Gulyaev. M.: Stroyizdat. 1976; 96. [In Russ]
2. Fedorov A.E. Development of modes of electrical heating of heat-resistant concretes [text] / A.E. Fedorov., P.A. Mikhalechuk. // sb.tr. NIIZhB-M., Stroyizdat USSR, 1964; 214-216 [In Russ]
3. Krylov B.A., Kopylov V.D. Kinetics of moisture loss by concrete in the process of electrical heating [text] *Issues of general technology and acceleration of concrete hardening*. Moscow. 1970; 186-194. [In Russ]
4. Krylov B.A., Li A.I. The mechanism of the impact of forced temperature rise on physical and chemical processes in concrete during electrical heating [text] *Issues of general technology and acceleration of concrete hardening*. Moscow 1970; 164-137. [In Russ]
5. Lithuanian E.Ya. Transfer properties of matter. Heat and mass transfer. Minsk ANBSSR, 1972; 7: 424-432.
6. Orentlicher L.P. Concrete on porous aggregates in prefabricated reinforced concrete structures [text] / L.P. Orentlicher - M: Stroyizdat, 1983; 65-68. [In Russ]
7. Method and apparatus for measuring impedance of a conducting medium with a calibrated probe: US Pat. 3566233, MKI G 01 No. 27/00; Alan Richard (C||A); Hoffmann-La Roche Inc. No. 769150; Appl. 2.10.1968; Published on February 23, 1971.
8. Fedorov A.E., Mikhalechuk P.A. Influence of electrical heating on the properties of heat-resistant concrete based on Portland cement with finely ground fireclay additive and fireclay filler. [text]. *Heat-resistant concretes* – Moscow. 1964; 299-300. [In Russ]
9. Khadzishalapov G.N. The influence of preheating on the thermomechanical properties of heat-resistant fireclay concrete on sodium silicate composite binder [text] / dissertation candidate. tech. Sciences: 0523-05/ Khadzishalapov G.N. M. 1995; 160. [In Russ]
10. Krylov B.A. Temperature Influence on Concreting Structures and its Hardenings. / International Symposium in Japan E&FN Spook. 1995; 2: 917-925.
11. Krylov B.A. Cold Weather Concreting. USA. –CRC Press LLC. 1998; 227.
12. Patent of the Russian Federation No. 2082699. Method for the manufacture of non-firing fireclay refractories. Bulletin of Inventions 1997; 18. Toturbiev B.D., Zhukov V.V., Khadzishalapov G.N., Batyrmurzaev B.D. [In Russ]
13. Bazant L.P. Pore pressure and drying of concrete at high temperature. J. of the engineering mechanics division: Proceedings ASTM - Easton, Pa.: ASTM, 1978; October, EM5:1059-1079.
14. Sahota M.S., Pagni P. J. Heat and mass transfer in porous media subject to fires. Intern J. of heat and mass transfer. 1979; 22: 1069-1081.
15. Powers T.C., Brownyard T.L. Studies of the physical properties of hardened Portland cement past. *Bulletin of the research laboratories of the Portland cement association*. Chicago: R.L.P.C.A., 1948; 22: 101-999.
16. <http://geologdgu.blogspot.com/>

Сведения об авторах:

Хаджишалапов Гаджимагомед Нурмагомедович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства; varus-x@mail.ru

Хежев Толя Амирович, доктор технических наук, профессор, директор института, заведующий кафедрой строительного производства; hejev_tolya@mail.ru

Гаджиев Абдулла Магомедсаламович, старший преподаватель, кафедра технологии и организации строительного производства; Abdulla_gadzhiev_1986@mail.ru

Раджабов Рустам Габидуллаевич, старший преподаватель, кафедра архитектуры; Radzabovrustam67@mail.com

Исаева Улангерек Исаковна, ассистент, кафедра технологии и организации строительного производства; www.ulana@bk.ru

Information about the authors:

Gadzhimagomed N. Khadzishalapov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; varus-x@mail.ru

Tolya A. Hezhev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director of the Institute, Head of the Department of Construction Production, hejev_tolya@mail.ru

Abdulla M. Gadzhiev, Senior Lecturer, Department of Technology and Organization of Construction Production; Abdulla_gadzhiev_1986@mail.ru

Rustam G. Radjabov, Senior Lecturer, Department of Architecture; Radzabovrustam67@mail.com

Ulangerek I. Isaeva, Assistant, Department of Technology and Organization of Construction Production; www.ulana@bk.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 22.10.2021.

Одобрена после рецензирования/ Revised 19.11.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 19.11.2021.

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 (2 экз.); распечатка должна представлять собой письменную копию файла статьи;
- электронную копию (допустима передача по электронной почте);
- экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати (1 экз.);
- метаданные авторов: ФИО, место работы, ученое звание, должность (1 экз.);

Правила оформления текста

Текст подготавливается в текстовом редакторе MicrosoftWord. Статья должна предусматривать разделы: «Введение», «Постановка задачи», «Методы исследования», «Обсуждение результатов», «Вывод». Объем непосредственно содержания статьи должен составлять не менее 9 -10 страниц машинописного текста.

Формулы подготавливаются во встроенном редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType.

Шрифтовое начертание обозначений в формулах, в таблицах и в основном тексте должно быть полностью идентичным.

Ссылки на формулы и таблицы даются в круглых скобках, ссылки на использованные источники (литературу) - в квадратных скобках.

Формат бумаги А4. Параметры страницы: поля - левое 3 см, верхнее и нижнее 2 см, правое 1,5 см; колонтитулы отсутствуют.

Элементы заглавия публикуемого материала

- УДК
- Перечень авторов (разделяется запятыми, инициалы после фамилий, на русском и английском языке); выравнивание по центру.
- Название статьи (на русском и английском языке).
- Резюме (Abstract) – 200-250 слов, характеризующих содержание статьи (на русском и английском языке).
- Ключевые слова (keywords) 5-10 слов или словосочетаний, отражающих содержание статьи (на русском и английском языке).

Каждый элемент заглавия приводится, начиная с новой строки; выравнивание проводится по центру.

Основной текст Шрифт TimesNewRoman 12 pt, выравнивание по ширине, первая строка с отступом 1,25 см, межстрочный интервал - 1.

Библиографический список

В статье указывается строка с текстом «**Библиографический список**». Библиографический список на русском языке выполняется по ГОСТ Р 7.0.5 -2008.

Библиографический список должен составлять не менее 20 наименований источников литературы, среди которых от 30-70 % ссылок на иностранные источники. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Обязательно цитирование современных работ, изданных по тематике статьи за последние 5 лет. Доля ссылок на статьи авторов рукописи, изданных ранее, не должна превышать 20% от общего количества ссылок. Библиографический список обязательно должен быть переведен на английский язык. «References» должен быть составлен по стандарту «Ванкувер». Ссылки на материалы, размещенные на электронных носителях, следует допускать в крайнем случае.

Редакция оставляет за собой право потребовать от автора замены ссылки, если на момент обработки статьи по указанному адресу материал будет отсутствовать.

Справка об авторах

Включает для каждого автора фамилию, имя, отчество (полностью), ученую или академическую степень, ученое звание, название и полный адрес места работы. Обязательно указывается адрес электронной почты. Сведения представляются на русском и английском языках.

Верстка формул

Формулы подготавливаются во встроенном редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType; нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи; использование при нумерации букв и других символов не допускается.

Выписанные в отдельную строку формулы выравниваются по середине строки, номер заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю текста. Все впервые встречающиеся в формуле обозначения должны быть расшифрованы сразу после формулы.

Верстка рисунков

Рисунки, представляющие собой графики, схемы и т. п., должны быть выполнены в графических векторных редакторах (встроенный редактор Microsoft Word, CorelDraw, Microsoft Visio и т. п.). Использование точечных форматов (.bmp, .jpeg, .tif, .html) допустимо только для рисунков, представление которых в векторных форматах невозможно (фотографии, копии экрана монитора и т. п.). Название рисунка указывается на русском и английском языках.

Верстка таблиц

Таблица состоит из следующих элементов: нумерационного заголовка (слова «Таблица» и ее номера арабскими цифрами); шапки (заголовочной части), включающей заголовки граф (объясняют значение данных в графах); боковика (первой слева графы) и прографки (остальных граф таблицы). Название таблицы указывается на русском и английском языках.

Требования к рецензированию и хранению рецензий научных статей, поступивших в редакцию журнала

Научная статья, поступившая в редакцию журнала, рассматривается ответственным редактором на соответствие тематике и направлениям журнала, правилам оформления и наличие сопроводительных документов.

Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в редакции издания в течение 5 лет.

При поступлении соответствующего запроса редакция вправе направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования РФ.

План-график издания журнала

Выпуск 1 (март) – прием статей до 31 декабря предыдущего года;

Выпуск 2 (июнь) – прием статей до 31 марта текущего года;

Выпуск 3 (сентябрь) – прием статей до 30 июня текущего года;

Выпуск 4 (декабрь) – прием статей до 30 сентября текущего года.

Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются. Рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлгией окончательного текста статьи.

Адрес редакционного совета: 367026, РД, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «ДГТУ», Учебно-лекционный корпус 2, редакция журнала «Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки». Технические вопросы можно выяснить по электронному адресу: vestnik.dgtu@mail.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 850 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: vestnik.dgtu@mail.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 48– №4 – 2021.

HERALD
OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES
Makhachkala, Volume 48, No.4 2021.

Верстка: Шагина С.Б.

Перевод: Субачев Ю.В.

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: Svetlana B.Shagina

Translation: Yuri V. Subachev

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 30.12.2021г. Сдано в печать 30.12.2021г.

Формат 60x84 ¹/₈. Гарнитура «Times». Бумага офсетная

Тираж 500. Усл. п.л. 17,00 Уч. изд.л. 17,00

Заказ № 1170

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Лотос»
367018. Республика Дагестан, г. Махачкала, пр-кт Петра I, 61.