

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 47, № 2, 2020.

ВЕСТНИК

**ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Volume 47, No.2, 2020.

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. Подписной индекс Т71366 в федеральном каталоге периодических изданий ОАО Агентства «Роспечать».

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; GoogleScholar; Dimensions; Ulrich's Periodicals Directory; Open Archives; Research Bible; Directory of Open Access Journals (DOAJ); Research4Life; LENS.ORG; OpenAIRE; Соционет, КиберЛенинка, Microsoft Academic

© Учредитель и издатель ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 2020.

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. Subscription index T71366 is in the federal catalogue of periodicals of the JSC Rospechat Agency.

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); Research4Life; LENS.ORG; OpenAIRE; Socionet; CyberLeninca Microsoft Academic

© Founder and Publisher Daghestan State Technical University, 2020.

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 47, № 2, 2020

Главный редактор: Исмаилов Т.А., д.т.н., профессор, президент Дагестанского государственного технического университета, Махачкала, Россия.

Заместитель главного редактора:

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

Редакционная коллегия:

Абакаров А.Д., д.т.н., профессор, зав. кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

Адамов А.П., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

Алиев Р.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

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

Ахмедов Г.Я., д.т.н., профессор, зав. кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

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

Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

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

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

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

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, генеральный директор научно-коммерческой фирмы WBH, 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.

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.

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

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

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

Мелехин В.Б., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

Мустафаев А.Г., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

Несветаев Г.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой Донского государственного технического университета,

г. Ростов-на-Дону, 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.

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.

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

Хаджишалапов Г.Н., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, РФ.

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

Редакционный совет:

Председатель редакционного совета:

Якимович Б.А., д.т.н., профессор, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, РФ.

Сопредседатели:

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

Исмаилов Т.А., д.т.н., профессор, президент Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, 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.

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

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

Группы научных специальностей

05.04.03 – Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения,

05.04.13 – Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (по отраслям)

05.13.18 – Математическое моделирование численные методы и комплексы программ

05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки),

05.23.05 – Строительные материалы и изделия (технические науки),

05.23.17 – Строительная механика

05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Вестник Дагестанского государственного технического университета.

Технические науки.

Том 47, № 2

Махачкала, 2020 – 168 с.

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

Адрес учредителя и издателя:

367026, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамяка, 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 8

С.М. Гаджиева, П.А. Курбанова, У.А. Магомедова

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ 8

М.А. Хазимова

РАЗРАБОТКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРИМЕ-
НЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ 18

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ 30

П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иваньо

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ
ЯВЛЕНИЙ 30

Ю.М. Баркалов, И.Г. Дровникова, А.М. Каднова, Е.С. Овчинникова, Е.А. Розозин

АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРЫ И ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАН-
НЫХ СИСТЕМ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ В ЗАЩИЩЕННОМ ИСПОЛНЕНИИ 40

А.Л. Большеротов

GOOGLE SCHOLAR И ДРУГИЕ СИСТЕМЫ ИНДЕКСИРОВАНИЯ НАУКОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКА-
ЗАТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ БЕЛОРУССКИМИ УНИВЕРСИТЕТАМИ 52

Д.А. Короченцев, Л.В. Черкесова, К.А. Намавир

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ УГРОЗ НАРУШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ЗА СЧЕТ НИЗКОЧАСТОТНЫХ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАНИЙ 65

Д.В. Кошутин

ВИРТУАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НА ОСНОВЕ PLM-СИСТЕМЫ «ЛОЦМАН» В ВИДЕ МНОГО-
АГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ 75

А.А. Олейников, А.А. Сорокин, И.А. Береснев

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ПЕРЕДА-
ЧИ ДАННЫХ 86

Д.Р. Подрезов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ
И ДВИЖЕНИЯ ВСКРЫТЫХ ЗАПАСОВ РУДНИКА ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИ-
ВАНИЯ УРАНА 98

М.В. Тумбинская, В.В. Волков, Б.Г. Загидуллин ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ UDP-FLOOD АТАК	108
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА	123
А.Д. Абакаров, Р.Г. Гасанов РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РАМНЫХ СИСТЕМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ С ОЦЕНКОЙ ЖИВУЧЕСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ШАРНИРОВ В УЗЛАХ	123
С.А. Иванов ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИТУМА МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ	131
А.П. Лапина, И.М. Зотов, А.С. Чепурненко, Б.М. Языев РАСЧЕТ ВЯЗКОУПРУГИХ СТЕРЖНЕЙ НЕКРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА СВОБОД- НОЕ КРУЧЕНИЕ	144
М.Г. Магомедов, А.И. Акаев, М.М. Пайзулаев, Д.А. Айламматова МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПАНЕЛЬНО-РАМНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НЕСУЩИХ СИ- СТЕМ	153
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ	166

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. Volume 47, No. 2, 2020.

<p>Editor-in-Chief: Tagir A. Ismailov, Doctor of Technical Science, Professor, President Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Deputy Editor: Aida M. Esetova, Doctor of Economics, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Editorial Board: Abakar D. Abakarov, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Rasul M. Aliev, Doctor of Technical Science Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Alexander P. Adamov, Doctor of Technical Science, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Vladimir I. Andreev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia;</p> <p>Ganapi J. Akhmedov, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Muhtaridin M. Batdalov, Doctor of Technical Science, Corresponding member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Mahir M. Bashirov, Doctor of Technical Science, Professor, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan;</p> <p>Alexey N. Davidyuk, Doctor of Technical Science, Honored Builder of Russia, Director, Gvozdev NIIZHB, JSC «SIC Construction», Moscow, Russia;</p> <p>Alexander P. Ivanov, Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny, Russia;</p> <p>Vladimir G. Kazachek, Doctor of Technical Science, Professor, Senior researcher, Ataev Institute of Dwelling - NIPTIS Director of Mobile diagnostics in construction, Minsk, Republic of Belarus;</p> <p>Nicholay I. Kargin, Doctor of Technical Science, Professor, Vice Rector, Deputy Director of the Institute for Functional Nuclear Electronics, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia;</p> <p>Dmitry N. Kobzareno, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Geothermal Problems, Daghestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia;</p> <p>Alexander A. Krugljakov, Doctor of Technical Science, Professor, General Director Wissenschaftliche Beratung und Handelsvertretung, Berlin, Germany /Deutschland;</p> <p>Vladimir M. Kutuzov, Doctor of Technical Science, Professor, President St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint-Petersburg, Russia;</p> <p>Arkady N. Larionov, Doctor of Economics, Professor, General Director LLC Research Center «Strategy», Moscow, Russia;</p> <p>Igor E. Lobanov, Doctor of Technical Science, Leading Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia;</p> <p>Magomed Kh. Magomedov, Doctor of Mathematics and Physics, General Director, "SAUNO" ltd. Moscow, Russia;</p> <p>Khasan N. Mazhiev, Doctor of Technical Science, Professor, Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia;</p> <p>Mher V. Markosyan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Yerevan Research Institute of Communication Facilities, Yerevan, Republic of Armenia;</p> <p>Vladimir B. Melekhin, Doctor of Technical Science, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Aslan G. Mustafayev, Doctor of Technical Science, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Gregory V. Nesvetaev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Construction Technologies Department, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia;</p> <p>Eugene A. Rogozin, Doctor of Technical Science, Professor, Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia, Voronezh, Russia;</p> <p>Tazhudin E. Sarkarov, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Gadzhimet K. Safaraliyev, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Scientific Director of the «Microelectronics and Nanotechnology» Research Institute, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Alexander B. Sulin, Doctor of Technical Science, Professor, Corresponding member, MAX, Institute of Industrial and Marine Medicine of Federal Medical and Biological Agency, St. Petersburg, Russia;</p> <p>Valery I. Finayev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia;</p> <p>Gadzhimurad N. Khadzhisalapov, Doctor of Technical Science, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Boris I. Shakhtarin, Doctor of Technical Science, Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia.</p> <p>Editorial council Chairman of the editorial council: Boris A. Yakimovich, Doctor of Technical Science, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia.</p> <p>The co-chairs of the editorial council: Konstantin M. Ivanov, Doctor of Technical Science, Professor, Rector, Ustinov Baltic State Technical University «VOENMECH», Saint-Petersburg, Russia;</p> <p>Tagir A. Ismailov, Doctor of Technical Science, Professor, President, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Vladimir M. Kutuzov, Doctor of Technical Science, Professor, President St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint-Petersburg, Russia;</p> <p>Members of the Editorial Board: Mustafa B.-O. Babanly, Doctor of Technical Science, Professor, Rector, Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan;</p> <p>Islam I. Djanzakov, Doctor of Technical Science, Professor, Corresponding member, SRA RK, Academician of MANEB, Atyrau, Republic of Kazakhstan;</p> <p>Sergey I. Timoshin, Doctor of Physics and Mathematics, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Professor, Rector, Sukhoi Gomel State Technical University, Gomel, Republic of Belarus;</p> <p>Vyacheslav M. Khachumov, Doctor of Technical Science, Professor, Head of laboratory, Institute for Systems Analysis of RAS, Moscow, Russia;</p> <p>Alexey G. Yakunin, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia.</p>	<p>Research areas 05.04.03 - Machines and devices, processes of refrigeration and cryogenic equipment, air conditioning systems and life support (Technical Sciences), 05.04.13 - Hydraulic machines and hydropneumatic units (Technical Sciences), 05.13.01 - System analysis, management and information processing (By Branches) (Technical Sciences), 05.13.06 - Automation and management of technological processes and production (By Branches) (Technical Sciences), 05.13.10 - Management in social and economic systems (Technical Sciences), 05.13.12 - Design automation systems (By Branches) (Technical Sciences), 05.13.18 - Mathematical modeling, numerical methods and program complexes (Technical Sciences), 05.13.19 - Methods and systems for information security, information security (Technical Sciences), 05.23.03 - Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (Technical Sciences), 05.23.05 - Building materials and products (Technical Sciences), 05.23.17 - Construction mechanics (Technical Sciences), 05.23.19 - Ecological safety of construction and urban economy (Technical Sciences)</p> <p>Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. Vol. 47, No.2 Makhachkala, 2020 - 168 c.</p> <p>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</p>
---	--

CONTENTS

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING	8
<i>S.M. Gadzhieva, P.A. Kurbanova, U.A. Magomedova</i> POWER-EFFECTIVE INTEGRAL THERMOELECTRIC SOLAR RADIATION CONVERTER	8
<i>M.A. Hazamova</i> DEVELOPMENT OF THERMOELECTRIC SEMICONDUCTOR DEVICES FOR MEDICAL APPLICATIONS	18
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT	30
<i>P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, Ya.M. Ivanyo</i> INTELLIGENT SYSTEM FOR MODELLING CLIMATE VARIABILITY	30
<i>Yu. M. Barkalov, I.G. Drovnikova, A.M. Kadnova, E.S. Ovchinnikova, E.A. Rogozin</i> ANALYSIS OF THE ARCHITECTURE AND FUNCTIONS OF PROTECTED AUTOMATED SYSTEMS INSTALLED AT INTERNAL AFFAIRS FACILITIES	40
<i>A.L. Bolsherotov</i> GOOGLE SCHOLAR AND OTHER SYSTEMS FOR INDEXING SCIENTOMETRIC INDICATORS USED BY BELARUSIAN UNIVERSITIES	52
<i>D.A. Korochentsev, L.V. Cherkesova, K.A. Namavir</i> A SIMULATION MODEL FOR IDENTIFYING INFORMATION SECURITY THREATS FROM LOW-FREQUENCY ACOUSTOELECTRIC TRANSFORMATIONS	65
<i>D.V. Koshutin</i> VIRTUAL ENTERPRISE BASED ON THE LOTSMAN PLM SYSTEM AS A MULTI-AGENT SYSTEM	75
<i>A.A. Oleynikov, A.A. Sorokin, I.A. Beresnev</i> DECISION SUPPORT SYSTEM FOR EVALUATING THE ELEMENTS OF DATA TRANSMISSION SYSTEMS	86
<i>D.R. Podrezov</i> MODELING THE PERFORMANCE INDICATORS OF GEOTECHNOLOGICAL BLOCKS AND THE MOVEMENT OF THE DISCOVERED RESERVES OF AN UNDERGROUND BOREHOLE LEACHING OF URANIUM	98
<i>M.V. Tumbinskaya, V.V. Volkov, B.G. Zagidullin</i> APPLICATION OF STATISTICAL METHODS FOR PREDICTING UDP-FLOOD ATTACKS	108

BUILDING AND ARCHITECTURE 123

A.D. Abakarov, R.G. Gasanov

**CALCULATION OF THE RELIABILITY OF FRAME SYSTEMS UNDER SEISMIC IMPACT
AND SURVIVABILITY ASSESSMENT DURING THE FORMATION OF PLASTIC HINGES
IN THE NODES 123**

S.A. Ivanov

**PROSPECTS FOR THE USE OF BITUMEN MODIFIED WITH RUBBER GRANULATE
IN A TWO-STAGE TECHNOLOGICAL PROCESS 131**

A.P. Lapina, I.M. Zotov, A.S. Chepurnenko, B.M. Yaziev

**CALCULATION OF VISCOELASTIC RODS OF NON-CIRCULAR CROSS SECTION
FOR FREE TORSION 144**

M.G. Magomedov, A.I. Akaev, M.M. Payzulaev, D.A. Ailammatova

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF RESEARCH INTO THE STRESS-STRAIN STATE
OF PANEL-FRAME VERTICAL LOAD-BEARING SYSTEMS 153**

FORMATTING REQUIREMENTS FOR PAPERS 166

Для цитирования: С.М. Гаджиева, П.А. Курбанова, У.А. Магомедова. Энергоэффективный интегральный термоэлектрический преобразователь солнечной радиации. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (2): 8-17. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-8-17

For citation: S.M. Gadzhieva, P.A. Kurbanova, U.A. Magomedova. Power-effective integral thermoelectric solar radiation converter. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 8-17. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-8-17

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

УДК 621.362

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-8-17

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

С.М. Гаджиева, П.А. Курбанова, У.А. Магомедова

Дагестанский государственный технический университет,

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

Резюме. Цель. В статье рассматривается преобразование солнечной радиации в электричество с использованием одновременно нескольких эффектов, которые дополняют друг друга и преобразуют недостатки одного способа преобразования в достоинства другого способа. **Метод.** Применены методы моделирования теплообменных процессов при многократном переотражении светового потока на солнечном концентраторе цилиндрической формы. **Результат.** Предлагается сформировать интегральную совокупность полупроводниковых преобразователей фотонов совместно с фотоэффектом на металлических электродах с низкой работой выхода электронов и термоэлектрическим эффектом, что позволит повысить энергоэффективность всей конструкции с дополнительным многократным переотражением фотонов на концентраторе солнечных лучей в виде цилиндрической поверхности с радиально расположенными зеркальными металлическими электродами. Фотоны при попадании на энергоэффективный интегральный термоэлектрический преобразователь солнечной радиации в электроэнергию будут либо преобразованы на р-п-переходе солнечной батареи, либо участвовать в фотоэффекте на электродах, либо будут поглощены материалом конструкции, нагреют её и выработают на термогенераторе также электричество. Такой подход позволяет повысить КПД до максимально возможного значения. **Вывод.** Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что все попавшие фотоны на энергоэффективный интегральный термоэлектрический преобразователь солнечной радиации будут преобразованы в электричество в той или иной степени, и только незначительная часть будет рассеяна в виде тепловых потерь или переотражений наружу.

Ключевые слова: фотоэффект, солнечная батарея, термогенератор, эффект Зеебека, фотон

POWER-EFFECTIVE INTEGRAL THERMOELECTRIC SOLAR RADIATION CONVERTER

S.M. Gadzhieva, P.A. Kurbanova, U.A. Magomedova

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract Aim. This article is devoted to the conversion of solar radiation into electricity using the joint effect of several methods, which complement each other by transforming the disadvantages of one method into the advantages of another method. **Methods.** Heat exchange processes occurring under multiple re-reflection of the light flux on a cylindrical solar concentrator were simulated. **Results.**

*It is proposed to form an integrated set of semiconductor photon converters together with a photoelectric effect on metal electrodes, thus producing a low electron output and a thermoelectric effect. This approach increases the energy efficiency of the entire structure with an additional multiple re-reflection of photons on the solar flux concentrator in the form of a cylindrical surface with radially arranged mirror metal electrodes. When reaching a power-effective integrated thermoelectric converter of solar radiation to electricity, photons will either be converted at the p-n junction of a solar cell, or participate in the photoelectric effect at the electrodes, or be absorbed by the construction material to produce thermoelectric power. This approach allows the efficiency of the entire system to be maximized. **Conclusion.** All the photons that hit the proposed power-effective integrated thermoelectric solar radiation converter will be converted to electricity to a certain extent, with only their small part being scattered outside in the form of heat losses or re-reflections.*

Keywords: photoelectric effect, solar battery, thermal generator, Seebeck effect, photon.

Введение. Для получения электрической энергии существует много различных способов [6, 9]. Наиболее целесообразно использовать возобновляемые источники энергии. Самый большой ресурс представляет собой Солнце.

Солнечная энергия в различной степени определяет все энергоресурсы человечества, кроме ядерной энергии. Солнечная энергия обеспечивает работой гидростанции, тепловые станции, приливные станции и так далее.

Для преобразования солнечной энергии существуют различные способы [7]. Самый простой способ – это фотоэффект. Явление фотоэффекта представляет собой поглощение фотонов валентными электронами на поверхности материалов. Фотоны могут поглощаться также и в глубине материала и не только валентными электронами. Но это явление более редкое, и рассматривать его мы не будем. После поглощения фотона электрон приобретает энергию достаточную для того, чтобы покинуть поверхность материала и отправиться в свободное путешествие. Такое явление эмиссии приводит к тому, что материал приобретает положительный заряд. Электрон, достигнув противоположного электрода, сообщает ему отрицательный заряд. Фотоэффект может с определённым коэффициентом полезного действия (КПД) преобразовать энергию солнечных фотонов в электричество. Однако все существующие системы преобразования имеют низкий КПД и могут быть использованы только как вспомогательные для основного способа добычи электричества.

Постановка задачи. Известны соотношения между скоростью приобретаемой электроном и энергией фотонов [8, 10, 11]. Чем выше частота фотона, тем большей энергией он обладает. Соответственно при поглощении такого фотона электроном, электрон отрывается и переходит в свободное перемещение. Скорость электрона тем выше, чем выше частота поглощенного фотона.

$$E = h\nu,$$

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

где: E – энергия фотона;
 h – постоянная Планка;
 ν – частота фотона;
 A – работа выхода;
 $\frac{mv^2}{2}$ – кинетическая энергия.

На рис. 1 изображена схема поглощения фотонов валентными электронами на поверхности материала и в глубине. Фотоны встречаются с электроном, который находится в свободном перемещении, и сообщают ему энергию для отрыва от поверхности. Электроны, не принадлежащие конкретному атому, также могут поглотить фотон и отправиться в свободное путеше-

ствии. Валентные электроны также могут поглотить фотон и также отправиться в путешествие. Однако КПД такого преобразования находится в пределах 1 % и поэтому не может быть использован как основной источник преобразования энергии.

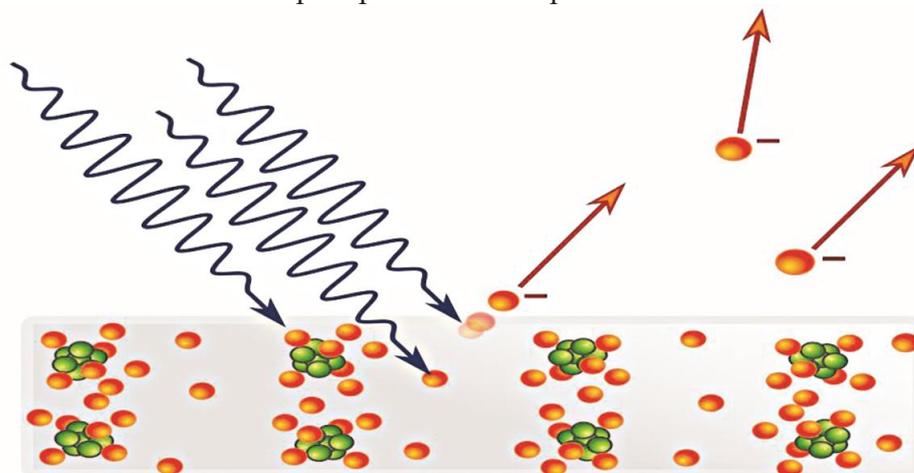


Рис. 1. Схема фотоэффекта
Fig. 1. Scheme of the photo effect

На рис. 2 изображена солнечная батарея, состоящая из р-п-переходов полупроводниковых материалов [12-15]. Такая батарея может быть гибкой или же твердой [16].

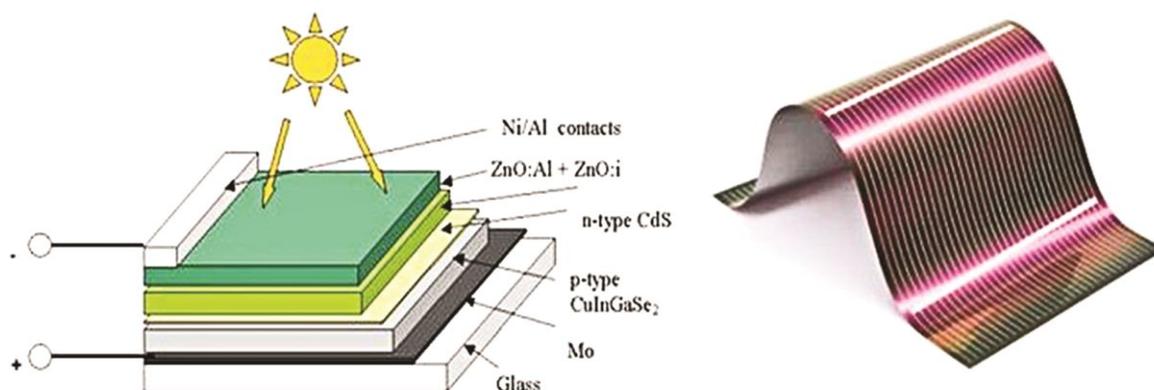


Рис. 2. Полупроводниковые солнечные батареи
Fig. 2. Semiconductor solar cells

Структура ее изображена на рис. 3. Отдельные слои формируют, в основном, р и n зоны. N зона имеет избыточное количество электронов, р зона имеет избыточное количество дырок - вакансий для электронов. Р-п-переход не обладает основными носителями, поэтому при генерации поглощения фотонов электродами образуются пары электрон-дырка, но в зоне р электрон будет уничтожен избыточными дырками, а в зоне n дырка будет уничтожена избыточными электронами.

Зато в зоне запирающего слоя р-п-перехода, где нет никаких носителей, неравновесная концентрация электронов и дырок приведет к тому, что они будут дрейфовать каждый в свою зону и создавать разность потенциалов, которая может быть использована как источник электричества.

КПД такой батареи в лабораторных условиях может достигать свыше 40%, тогда как обычные бытовые солнечные батареи могут достичь КПД 20%.

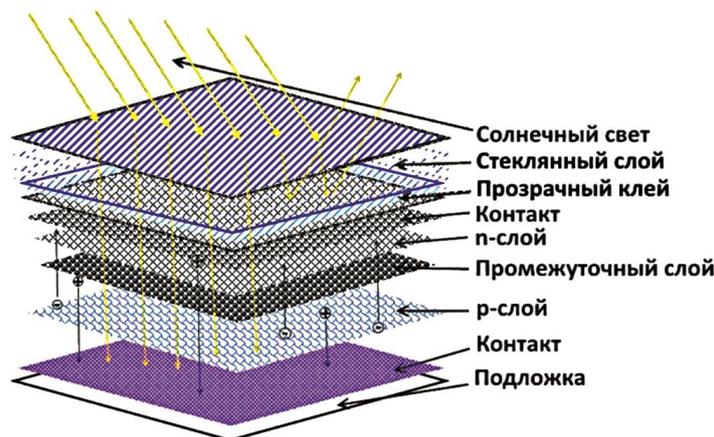


Рис. 3. Структура полупроводниковой солнечной батареи
 Fig. 3. Structure of a semiconductor solar battery

Солнечная батарея представляет N_s последовательно интегрально соединенных и N_p параллельно соединенных фотоэлементов [3, 4, 17-19]. При этом величина тока короткого замыкания батареи:

$$I_{SCM} = N_p \cdot I_{SC},$$

а величина напряжение холостого хода солнечной батареи:

$$V_{OCM} = N_s \cdot V_{OC}.$$

Причем размер последовательного сопротивления составляет:

$$R_{SM} = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_S.$$

Характеристики вольтамперные определяются формулой:

$$I^M = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_s \cdot \left(e^{\frac{q}{nkT} \left(\frac{V}{N_s} + \frac{IR_S}{N_p} \right)} - 1 \right),$$

где: I_s – величина обратного тока насыщения;

k – постоянная Больцмана;

T – рабочая температура при уровне солнечной радиации 600 Вт/м²;

q – заряд электрона.

На рис. 4 приведена вольт-амперная характеристика солнечной батареи при различных уровнях освещенности. Это вызвано тем, что неподвижная солнечная батарея освещается солнцем утром, в обед и вечером по-разному.

Разный угол освещения приводит к тому, что интенсивность освещения также будет меняться [20]. Поэтому целесообразно разместить ее таким образом, чтобы солнечные лучи в обеденное время падали на неё перпендикулярно. Но тогда утром и вечером интенсивность освещения будет хуже.

Помимо приведенных способов существует также способ преобразования солнечной энергии при помощи полупроводникового термоэлектрического генератора [10].

Такой генератор (рис.5) формирует электричество при возникновении разности температур на горячем и холодном спае.

Чем выше перепад температур, тем больше электричества вырабатывает такой генератор. КПД его тоже незначительную величину имеет, но, тем не менее, как дополнительное устройство оно может быть задействовано.

Все приведённые эффекты и, в том числе, эффекта Зеебека имеют свои достоинства и недостатки [20]. Поэтому целесообразно разработать такое устройство преобразования, в котором сочетались бы достоинства и недостатки всех этих эффектов [1, 2].

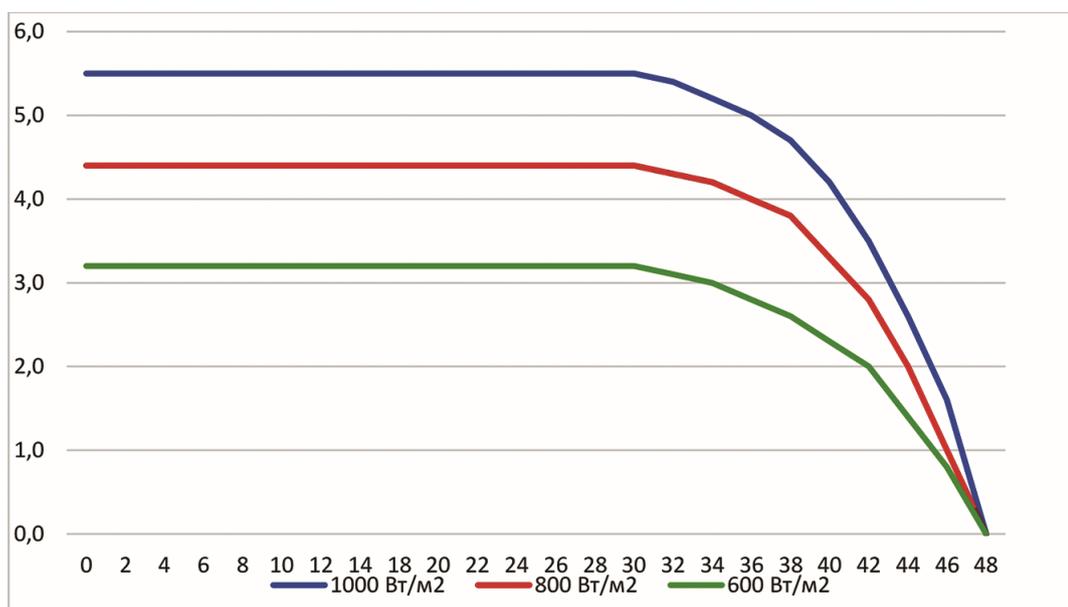


Рис. 4. ВАХ солнечной батареи при различных уровнях освещенности
Fig. 4. Current-voltage characteristic of a solar battery at different levels of illumination Температура рабочей поверхности солнечного термогенератора:

$$T_{СТГ} = T_{н\ СТГ} + 0,81(T_{в} - T_{н\ в}) - 0,06 \cdot HUM - 0,01 Press - 0,24 SPD + 0,06(SR_{СТГ} - SR_{н}),$$

где: $T_{н\ СТГ}$ – начальная температура солнечного термогенератора;

$T_{в}$ – температура воздуха;

$T_{н\ в}$ – начальная температура воздуха;

HUM – влажность воздуха, %;

Press – давление воздуха, мм.рт.ст.;

SPD – скорость ветра, м/с;

$SR_{СТГ}$ – реальная солнечная радиация на поверхности солнечного термогенератора;

$SR_{н}$ – начальная суммарная солнечная радиация (обычно 1000 Вт/м^2).



Рис. 5. Солнечный полупроводниковый термогенератор
Fig. 5. Solar semiconductor thermogenerator

Методы исследования. На рис.6 приведена схема преобразователя солнечной энергии в электричество.

Она представляет из себя цилиндрическую конструкцию, состоящую из радиально расположенных p-n-переходов с зеркальными металлическими электродами.

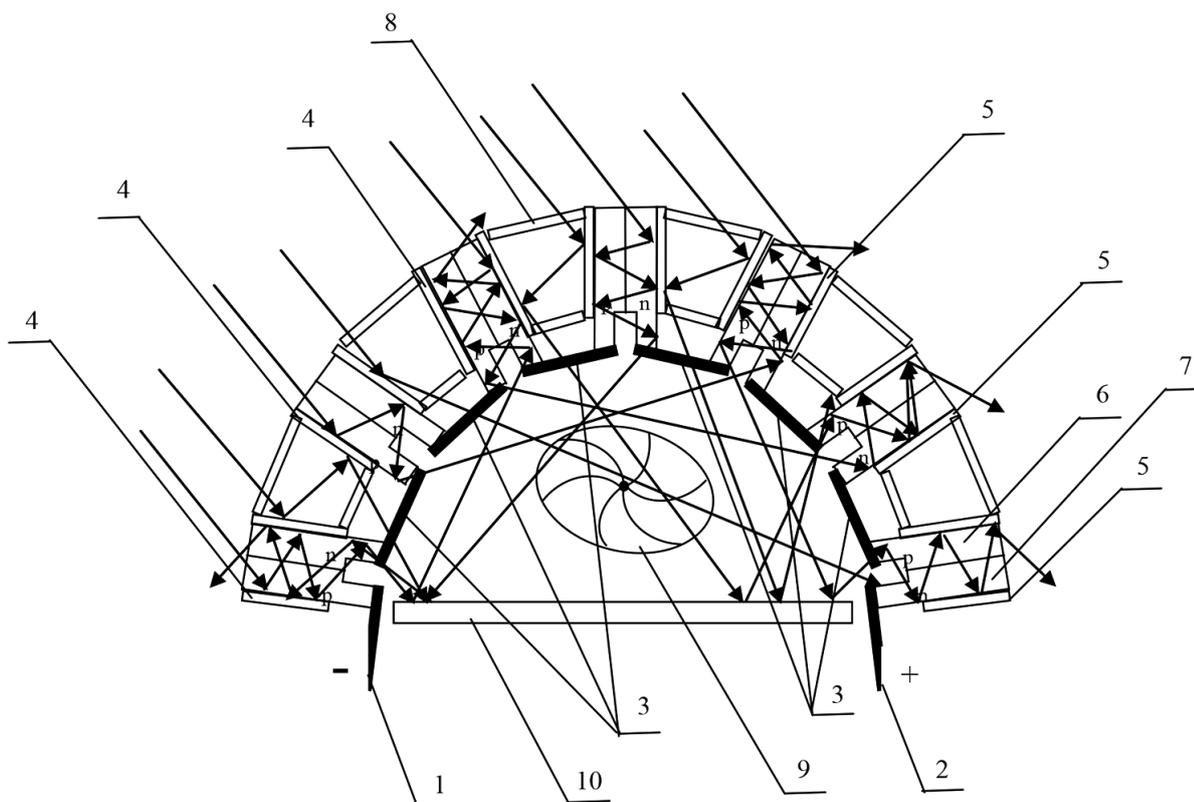


Рис. 6. Энергоэффективный интегральный термоэлектрический преобразователь солнечной радиации

Fig. 6. Energy-efficient integral thermoelectric solar radiation converter

Между собой эти электроды разделены пустотелыми камерами, из которых откачан воздух. Позицией 1 обозначен отрицательный электрод на схеме, позицией 2 - положительный электрод. Все компоненты соединены последовательно.

Позицией 3 обозначены электроды, соединяющие между собой отдельные p-n-переходы.

Позицией 4 обозначены электроды, соединяющие вторые части этих p-n-переходов между собой.

Такой подход позволяет сформировать несколько разных структур, причем материал у них хоть и металлический, но разный.

На зоне n материал делается из металла с работой выхода незначительной, а на зоне p - с высокой работой выхода.

Это делается для того, чтобы один и тот же p-n-переход при облучении солнечным светом вырабатывал электричество, как внутри самого p-n-перехода непосредственно, так и как фотоэффект на электродах. То есть фотоны либо, проходя через p-n-переход, преобразуются в электричество, либо, достигая электродов, выбивают там электроны как обычный фотоэффект и тоже вырабатывают электрический ток.

Форма преобразователя устроена таким образом, что ему не нужно двигаться в течение дня за перемещением солнца. Утренние лучи попадают с одной стороны в это устройство и после многократного отражения от зеркальных электродов попадают во внутреннюю камеру и далее на противоположную сторону, которая находится в тени относительно утреннего солнца,

но, тем не менее, фотоны пройдут сквозь эти р-п-переходы, также преобразуясь в электроэнергию. В обеденное время центральные р-п-переходы получают максимальную порцию фотонов и распределяют их на утренние и закатные р-п-переходы. На закате будут задействованы прямыми лучами эти р-п-переходы, и те фотоны, которые пройдут сквозь них во внутреннюю камеру, попадут на те р-п-переходы, которые направлены в сторону утреннего солнца.

Это позволяет не вращать конструкцию, следуя за солнцем. В тоже время угол, под которым входят фотоны в одни р-п-переходы, может быть острым, а выходят под тупым углом и, наоборот. Это позволит унифицировать количество переотражений внутри такого концентратора солнечных лучей.

Аналогичная ситуация происходит и в электродах в пустых камерах. Один электрод там получается с низкой работой выхода, другой – с высокой. Электрод с низкой работой выхода при освещении фотонами эмиссирует электроны, и они попадают на другой электрод. Возникает дополнительная разность потенциалов.

Внутренняя камера обдувается вентилятором, что понижает температуру внутри, и спай 3 будут иметь низкую температуру.

Внешняя часть электродов будет иметь высокую температуру, и поэтому термогенератор, сформированный таким образом, будет вырабатывать также электричество.

Предложенная конструкция (рис.6) обладает важными преимуществами по сравнению с обычными преобразователями. Дело в том, что то, что являлось недостатком для солнечной батареи, является достоинством для фотоэффекта. То, что является достоинством для солнечной батареи и термогенератора, то является недостатком для фотоэффекта. А то, что было недостатком для термогенератора, является достоинством для фотоэффекта и солнечных батарей, дополняя свои достоинства их недостатками.

Обсуждение результатов. Фотоны при попадании на энергоэффективный интегральный термоэлектрический преобразователь солнечной радиации в электроэнергию будут либо преобразованы на р-п-переходе солнечной батареи, либо участвовать в фотоэффекте на электродах, либо будут поглощены материалом конструкции, нагреют её и выработают на термогенераторе также электричество.

Такой подход позволяет повысить КПД до максимально возможного значения. В нижеприведенных формулах приведены соотношения, позволяющие рассчитать расход мощности от количества переотражений:

$$\begin{aligned}
 P_{pn1} &= P_{C1}\eta \\
 P_{C2} &= P_{C1} - P_{pn1} = P_{C1} - P_{C1}\eta = P_{C1}(1 - \eta) \\
 P_{pn2} &= P_{C2}\eta = P_{C1}(1 - \eta)\eta \\
 P_{C3} &= P_{C2} - P_{pn2} = P_{C1}(1 - \eta) - P_{C1}(1 - \eta)\eta = P_{C1}(1 - \eta)(1 - \eta) = P_{C1}(1 - \eta)^2 \\
 P_{Ci} &= P_{C1}(1 - \eta)^{i-1},
 \end{aligned}$$

где: P_{Ci} – мощность фотонов при переотражениях;

P_{pni} – мощность, вырабатываемая на р-п-переходе при переотражениях;

η – КПД преобразования фотонов на р-п-переходе.

Изначально солнечный поток P_{C1} в соответствии с КПД солнечной батареи преобразуется и уменьшается. Теперь этот ослабленный поток повторно после переотражения проходит р-п-переход и фотоэффект. Он опять в соответствии с КПД будет ослаблен, и так повторяется каждый раз.

После каждого переотражения происходит ослабление этого потока, уменьшение количества фотонов до тех пор, пока они полностью не преобразуются на солнечной батарее или на фотоэффекте, или на термогенераторе.

В конечном итоге от фотонного потока ничего не останется, что будет означать, что КПД такого устройства будет близок к 100%.

Вывод. Все попавшие фотоны на энергоэффективный интегральный термоэлектрический преобразователь солнечной радиации будут преобразованы в электричество в той или иной степени, и только незначительная часть будет рассеяна в виде тепловых потерь или преотражений наружу.

Приведённая конструкция позволяет реализовать высокоэффективный модуль по преобразованию солнечной радиации в электричество и может быть использована как автономно, так и в составе более сложных устройств.

Библиографический список:

1. Патент РФ № 2335825. Термоэлектрическое устройство с высоким градиентом температур / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М. // 10.10.2008.
2. Патент РФ № 2575614. Термоэлектрический генератор с высоким градиентом температур между спаями / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. // Б.И. № 5, 2016.
3. Патент РФ № 2615041. Концентратор лучей для солнечной батареи с веерным расположением зеркальных отражающих электродов / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Давыдова К.М., Акимова С.К., Исамилова З.А. // 03.04.2017.
4. Патент РФ № 2616741. Шарообразная солнечная батарея с многократным преломлением и отражением лучей в концентраторе / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Давыдова К.М., Акимова С.К., Исамилова З.А. // 18.04.2017.
5. Патент Солнечный теплогенератор. <https://findpatent.ru/patent/172/1726923.html>
6. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. // СПб.: Политехника, 2005. 533 с.
7. Конструирование и принцип действия оксидных солнечных ячеек/ А. В. Рыженков, Т. Н. Патрушева, А. В. Попов, Н. В. Маглинец // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. / Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2010. С. 256-261.
8. Краснок А.Е., Максимов И. С., Денисюк А. И., Белов П. А, Мирошниченко А. Е., Симовский К. Р., Кившарь Ю. С. Оптические нано-антенны // Успехи физических наук. -2013. - Т.183, №6. - С.561–589. - doi:10.3367/UFNr.0183.201306a.0561.
9. Парашук, Д. Ю. Современные фотоэлектрические и фотохимические методы преобразования солнечной энергии: препринт / Д. Ю. Парашук; МГУ. - М.: УНЦ ДО НИИЯФ МГУ, 2009. 20 с.
10. Патрушева, Т. Н. Фотоактивные оксидные пленки и гетероструктуры / Т. Н. Патрушева, Т. Н. Шелованова // Журнал СФУ. Техника и технология. - 2009. - Т. 2, № 2. - С. 151-159.
11. Сибатов, Р. Т. Дробно-дифференциальная теория аномальной кинетики носителей заряда в неупорядоченных полупроводниковых и диэлектрических системах: дис. д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07 / Р. Т. Сибатов. - Ульяновск, 2012.
12. Фролкина Н.О. Обобщенная модель солнечного элемента в среде Matlab Simulink / Н.О.Фролкина, О.А.Фролков // Материалы XI Международной конференции «Системы компьютерной математики и их приложения» СКМП-2010. С.70-72.
13. Bloomberg New Energy Finance Tier 1 module maker list, Q2 2016.
14. David Szondy. Stanford researchers develop self-cooling solar cells. (англ.). gizmag.com (25 July 2014). Дата обращения 6 июня 2016.
15. Jamri, M.S. Modeling and control of a photovoltaic energy system using the state-space averaging technique / M.S.Jamri, T.C.Wei // American Journal of Applied Science.- 2010.-№7.- p.682-691.
16. Frolkov O.A. // 13 International Conference on Electromechanics, Electrotechnology, Electromaterials and Components. ICEEE-2010. p. 152.
17. Ramabadran R. Effect of Shading on Series and Parallel Connected Solar PV Modules / R. Ramabadran, B. Mathur // Modern applied science. 2010. Vol.3. No.10.pp.32-41.
18. Single-wire dye-sensitized solar cells wrapped by carbon nanotube film electrodes / S. Zhang, C. Ji, Z. Bian et al. // Nano Lett. 2011. Vol. 11.pp. 3383-3387.
19. Synopsys' Sentaurus TCAD Used to Simulate Solar Cell Performance Characteristics at NREL: Электронный ресурс. (<http://synopsys.mediaroom.com/index.php?s=43&item=737>). Проверено 28.11.2010.
20. Znajdek, K. Review of simulation models suitability for characterization of actual Si PV cells / K.Znajdek // XII International PhD Workshop OWD 2010. pp.423-425.

References:

1. Patent RF № 2335825. Termoelektricheskoye ustroystvo s vysokim gradiyentom temperatur / Ismailov T.A., Gadzhiyev KH.M., Gadzhiyeva S.M. // 10.10.2008. [RF patent No. 2335825. Thermoelectric device with a high temperature gradient / Ismailov TA, Gadzhiev H.M., Gadzhieva S.M. // 10.10.2008. (In Russ)]
2. Patent RF № 2575614. Termoelektricheskoy generator s vysokim gradiyentom temperatur mezhdru spayami / Ismailov T.A., Gadzhiyev KH.M., Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. // B.I. № 5 , 2016 [RF patent No. 2575614. Thermoelectric generator with a high temperature gradient between junctions / Ismailov T.A., Gadzhiev H.M., Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. // B.I. No. 5, 2016. (In Russ)]
3. Patent RF № 2615041. Kонтентратор luchey dlya solnechnoy batarei s veyernym raspolozheniyem zerkal'-nykh otrazhayuschikh elektrodov / Ismailov T.A., Gadzhiyev KH.M., Davydova K.M., Akimova S.K., Isamilova Z.A. // 03.04.2017. [RF patent No. 2615041. A beam concentrator for a solar battery with a fan-shaped arrangement of mirror reflecting electrodes / Ismailov TA, Gadzhiev Kh.M., Davydova KM, Akimova SK, Isamilova Z.A. // 03.04.2017. (In Russ)]
4. Patent RF № 2616741. Sharoobraznaya solnechnaya batareya s mnogokratnym prelomleniyem i otrazheniyem luchey v kontsentratore / Ismailov T.A., Gadzhiyev KH.M., Davydova K.M., Akimova S.K., Isamilova Z.A. // 18.04.2017. [RF patent No. 2616741. Spherical solar cell with multiple refraction and reflection of rays in a concentrator / Ismailov T.A., Gadzhiev H.M., Davydova K.M., Akimova S.K., Isamilova Z.A. // 04/18/2017. (In Russ)]
5. Patent Solnechnyy teplogenerator. <https://findpatent.ru/patent/172/1726923.html> [Patent Solar Heat Generator <https://findpatent.ru/patent/172/1726923.html> (In Russ)]
6. Ismailov T.A. Termoelektricheskoye poluprovodnikovoye ustroystva i intensivatory teploperedachi. // SPb.: Politehnika, 2005. 533 s. [Ismailov T.A. Thermoelectric semiconductor devices and heat transfer intensifiers. // St. Petersburg: Polytechnic, 2005.533 s. 8. Design and principle of operation of oxide solar cells / A. V. Ryzhenkov, T. N. Patrusheva, A. V. Popov, N. V. Maglinets // Modern problems of radio electronics: coll. scientific tr / Sib. Feder. un-t - Krasnoyarsk, 2010 pp. 256-261. (In Russ)]
7. Konstruirovaniye i printsip deystviya oksidnykh solnechnykh yacheyek/ A. V. Ryzhenkov, T. N. Patrusheva, A. V. Popov, N. V. Maglinets // Sovremennyye problemy radioelektroniki: sb. nauch. tr. / Sib. feder. un-t. Krasnoyarsk, 2010. S. 256-261. [Design and principle of operation of oxide solar cells / A. V. Ryzhenkov, T. N. Patrusheva, A. V. Popov, N. V. Maglinets // Modern problems of radio electronics: coll. scientific tr / Sib. Feder. un-t - Krasnoyarsk, 2010. pp. 256-261. (In Russ)]
8. Krasnok A.Ye., Maksimov I. S., Denisyuk A. I., Belov P. A, Miroshnichenko A. Ye., Simovskiy K. R., Kivshar' YU. S. Opticheskiye nano-antenny // Uspekhi fizicheskikh nauk. -2013. - T.183, №6. - S.561-589. - doi:10.3367/UFNr.0183.201306a.0561. [Krasnok AE, Maksimov IS, Denisyuk AI, Belov PA, Miroshnichenko AE, Simovskiy KR, Kivshar Yu S. Optical nano-antennas // Uspekhi Fizicheskikh Nauk. 2013. Vol.183, No. 6. pp. 561-589. doi: 10.3367 / UFNr.0183.201306a.0561. (In Russ)]
9. Parashchuk, D. YU. Sovremennyye fotoelektricheskoye i fotokhimicheskoye metody preobrazovaniya solnechnoy energii: preprint / D. YU. Parashchuk; MGU. - M.: UNTS DO NIIFYAF MGU, 2009. 20 s. [Parashchuk D. Yu. Modern photovoltaic and photochemical methods for converting solar energy: preprint / D. Yu. Parashchuk; Moscow State University. - M.: UC DO NIIFYAF Moscow State University, 2009 . 20 p. (In Russ)]
10. Patrusheva, T. H. Fotoaktivnyye oksidnyye plenki i geterostruktury / T. N. Patrusheva, T. N. Shelovano-va // Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologiya. - 2009. - T. 2, № 2. - S. 151-159. [Patrusheva T. H. Photoactive oxide films and heterostructures / T. N. Patrusheva, T. N. Shelovanova // Journal of Siberian Federal University. Technique and technology. 2009. Vol. 2, No. 2. pp. 151-159. (In Russ)]
11. Sibatov P. T. Drobno-differentsial'naya teoriya anomal'noy kinetiki nositeley zaryada v neuporyado-chennykh poluprovodnikovykh i dielektricheskikh sistemakh: dis. d-ra fiz.-mat. nauk: 01.04.07 / R. T. Sibatov. - Ulyanovsk, 2012. [Sibatov P. T. Fractional differential theory of anomalous kinetics of charge carriers in disordered semiconductor and dielectric systems: dis. Dr. Phys.-Math. Sciences: 01.04.07 / R.T. Sibatov. Ulyanovsk, 2012. (In Russ)]
12. Frolkova N.O. Obobshchennaya model' solnechnogo elementa v srede Matlab Simulink / N.O.Frolkova, O.A.Frolkov // Materialy XI Mezhdunarodnoy konferentsii «Sistemy komp'yuternoy matematiki i ikh prilozheniya» SKMP-2010.- S.70-72. [Frolkova N.O. A generalized model of a solar cell in the environment of Matlab Simulink / N.O. Frolkova, O.A. Frolkov // Materials of the XI International Conference "Computer Mathematics Systems and Their Applications" SKMP-2010.pp.70-72. (In Russ)]
13. Bloomberg New Energy Finance Tier 1 module maker list, Q2 2016.
14. David Szondy. Stanford researchers develop self-cooling solar cells. (eng.). gizmag.com (July 25, 2014). Date of treatment June 6, 2016
15. Jamri, M.S. Modeling and control of a photovoltaic energy system using the state-space averaging technique / M.S. Jamri, T.C. Wei // American Journal of Applied Science. 2010. No. 7.pp.682-691.
16. Frolkov O.A. // 13 International Conference on Electromechanics, Electrotechnology, Electromaterials and Composites. ICEEE-2010. p. 152.
17. Ramabadran, R. Effect of Shading on Series and Parallel Connected Solar PV Modules / R. Ramabadran, B. Mathur // Modern applied science. 2010. Vol. 3. No.10. pp.32-41.

18. Single-wire dye-sensitized solar cells wrapped by carbon nanotube film electrodes / S. Zhang, C. Ji, Z. Bian et al. // Nano Lett. 2011. Vol. 11. P. 3383-3387.

19. Synopsys' Sentaurus TCAD Used to Simulate Solar Cell Performance Characteristics at NREL: Electronic resource. (<http://synopsys.mediaroom.com/index.php?s=43&item=737>). Retrieved November 28, 2010.

20. Znajdek, K. Review of simulation models suitability for characterization of actual Si PV cells / K. Znajdek // XII International PhD Workshop OWD 2010.pp. 423-425.

Сведения об авторах:

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

Курбанова Патимат Арсланалиевна, аспирантка, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники, e-mail: magomedova-pa@mail.ru

Магомедова Умуханум Арсланалиевна, студентка факультета радиоэлектроники, телекоммуникаций и мультимедийных технологий, e-mail: umma.dag@gmail.com

Information about authors:

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

Patimat A. Kurbanova, Graduate Student, Senior Lecturer, Department of Theoretical and General Electrical Engineering, e-mail: magomedova-pa@mail.ru

Umukhanum A. Magomedova, Student of the Faculty of Radio Electronics, Telecommunications and Multimedia Technologies, e-mail: umma.dag@gmail.com

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.04.2020.

Принята в печать 28.04.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.04.2020.

Accepted for publication 28.04.2020.

Для цитирования М.А. Хазамова. Разработка термоэлектрических полупроводниковых устройств для применения в медицинской практике. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020;47 (2):18-29. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-18-29

For citation: M.A. Hazamova. Development of thermoelectric semiconductor devices for medical applications. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020;47(2):18-29.(In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-18-29

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

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-18-29

РАЗРАБОТКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ

М.А. Хазамова

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

Резюме. Цель. Целью исследования является анализ перспектив развития и рассмотрение областей применения термоэлектрических полупроводниковых преобразователей энергии в медицинской практике. **Метод.** В основу исследования положены теоретические и экспериментальные разработки по созданию конструкций приборов для теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма. **Результат.** Разработаны и созданы на основе термоэлектрических полупроводниковых преобразователей принципиально новые устройства для различных областей медицины с различными тепловыми схемами, а также проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание теоретических основ данных устройств. Рассмотрены перспективы развития и внедрения термоэлектрических полупроводниковых устройств тепла в медицине. Описаны конструкции приборов для теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма. **Вывод.** Разработанные конструкции термоэлектрических полупроводниковых приборов и устройств для локального теплового воздействия на отдельные органы человеческого организма в силу простоты и надежности обеспечивают их применение в медицинских учреждениях различного профиля.

Ключевые слова: термоэлектричество, термоэлектрическое полупроводниковое устройство, термоэлектрическая полупроводниковая батарея, медицина, рефлексогенные зоны, тепловое воздействие, косметология.

DEVELOPMENT OF THERMOELECTRIC SEMICONDUCTOR DEVICES FOR MEDICAL APPLICATIONS

M.A. Hazamova

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

Abstract. Aim. To analyse the prospects of developing and applying thermoelectric semiconductor energy converters in medicine. **Methods.** The research was based on theoretical and experimental achievements in the field of creating devices producing thermal effects on individual areas of the human body. **Results.** Fundamentally new devices with different thermal schemes based on thermoelectric semiconductor converters were created for diverse medical applications. A number of theoretical and experimental works were conducted to create a theoretical basis for the proposed devices. The prospects of developing and applying thermoelectric semiconductor heat devices in medicine were considered. The design of devices for providing thermal influence on individual areas of the hu-

man body was described. **Conclusion.** The developed thermoelectric semiconductor devices and devices for producing local thermal effects on individual organs of the human body ensure their use in medical practice due to simplicity and reliability.

Keywords: thermoelectricity, thermoelectric semiconductor device, thermoelectric semiconductor battery, medicine, reflexogenic zones, thermal effects, aesthetic medicine

Введение. Термоэлектрическое преобразование энергии, основанное на термоэлектрических явлениях и созданное в результате известных работ академика А.Ф. Иоффе и его сотрудников, оказавшись на переднем плане науки и техники, открыло широкие возможности для использования термоэлектрических полупроводниковых преобразователей в различных областях.

В современном мире термоэлектрическое приборостроение является одной из наиболее быстро развивающихся отраслей народного хозяйства, как у нас в стране, так и за рубежом, причем значительное развитие данной области определяется реальной возможностью создавать малогабаритные устройства для регулирования температурных режимов функционирования различной аппаратуры, обеспечивать получение локальных очагов холода, интенсифицировать процессы теплопередачи в сложных конструкциях, получать электрическую энергию различными альтернативными методами [2,3].

Для создания термоэлектрических полупроводниковых генераторов и охладителей с высокими энергетическими показателями необходимо учитывать тот факт, что на эффективность этих устройств существенное влияние оказывают не только параметры полупроводникового вещества, но и особенности их конструктивного исполнения, тепловые схемы термоэлектрических преобразователей, режимы их работы, условия теплообмена и т.д. Особенно сказанное актуально для новых приложений термоэлектрической техники, а именно, медицины, биологии (термостаты для хранения биологических объектов, датчики температуры и теплового потока, приборы для локального температурного воздействия).

Постановка задачи. Отыскание новых эффективных конструктивных решений в термоэлектрической полупроводниковой технике, проведение теоретических и фундаментальных исследований, создание математических моделей, разработка методик расчета являются на сегодняшний день перспективным научным направлением. Перспективы развития и внедрения термоэлектрических преобразователей тепла для медицины определяются целым рядом преимуществ, особенно эксплуатационных, которыми они обладают по сравнению с существующими аналогами. Это возможность получения искусственного холода на основе использования эффекта Пельтье при отсутствии движущихся частей и холодильного агента; сочетание в едином устройстве таких традиционно раздельных элементов, как источник холода и тепла; простота реализации, компактность, взаимозаменяемость; высокая надежность; экологическая безопасность [7].

Говоря об основных прикладных направлениях медицины, техническая база которых имеет в своем арсенале термоэлектрические модули, можно выделить физиотерапию, хирургию, трансфузиологию, рефлексотерапию, рефлексодиагностику, термостабилизацию биологических субстанций. При этом, лидирующие места занимают физиотерапия и рефлексотерапия, как имеющие наиболее широкий прикладной спектр термоэлектрических эффектов.

Наиболее результативным терапевтическим фактором, применяемым в рефлексотерапии, является воздействие теплом и холодом на кожные рецепторы. Использование контрастного теплового воздействия, направляя кровотоки то к коже, то вглубь организма, улучшает микроциркуляторные процессы, тем самым способствуя усилению лечебных эффектов, [8-11, 17]. Это можно реализовать в термоэлектрических устройствах для локального теплового воздействия на отдельные органы человека, в которых термоэлектрическая батарея, выступая в качестве основного исполнительного элемента, работает в режиме нагрева или охлаждения [2,7, 10].

Целью данной статьи является обзор достижений в области термоэлектрического полупроводникового приборостроения для медицины и на основе проведенного комплекса теоретических и экспериментальных исследований разработка и создание конструкций приборов для теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма.

Методы исследования. Разработаны и созданы на основе термоэлектрических полупроводниковых преобразователей принципиально новые устройства с различными тепловыми схемами, а также проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание теоретических основ данных устройств, математических моделей и методик расчета [12-19].

Следует отметить, что основной целью применения термоэлектричества в устройствах медицинского назначения является создание универсального температурного источника с возможностью быстрой смены режимов охлаждения и нагрева. В соответствии с этим, большинство предлагаемых конструкций, как правило, имеет термоэлектрическую полупроводниковую систему, представляющую собой термоэлектрический полупроводниковый модуль или термоэлектрическую полупроводниковую батарею как источник теплового потока, работающий в двух направлениях. В дополнение к ней, каждая из конструкций содержит систему термостабилизации опорных спаев термоэлектрического полупроводникового модуля для обеспечения стабильной и корректной работы устройств. В зависимости от назначения и технической необходимости некоторые из конструкций могут иметь схему автоматического регулирования температуры.

В условиях современности, когда реальностью нашей жизни является возрастающее количество больных, необходимость воздействовать на организм человека средствами, обеспечивающими эффективность лечения, становится наиболее актуальной задачей. Сегодня все большее распространение для лечебно-профилактических целей приобретают немедикаментозные методы, среди которых ведущее место занимают естественные физические факторы, которые обладают адаптогенным, успокаивающим, болеутоляющим, противовоспалительным и анτισпазмическим действием, способствуют повышению естественного и специфического иммунитета, образованию в организме биологически активных веществ. [8,9, 20].

Локальное тепловое воздействие - один из наиболее широко применяемых и эффективных методов медицинской реабилитации при экстремальных состояниях. Среди огромного арсенала физических факторов, используемых в медицинской практике, важную роль занимают факторы теплового воздействия [11].

Средства теплелечения, как активное восстановительное лечение, применяются в период реконвалесценции для стимуляции жизнедеятельности организма, при развитии осложнений (например, длительном болевом синдроме), травматических поражениях опорно-двигательного аппарата, в период заживления ран, при состояниях переохлаждения, при воздействии на биологически активные точки и т.п. Причем воздействие различными температурными раздражителями необходимо повторять таким образом, чтобы каждое последующее воздействие оказало влияние на организм тогда, когда еще не исчезло последствие предшествовавшего.

Механизм термотерапии достаточно сложен и складывается из местных и общих реакций. Очаговые реакции проявляются в улучшении крово- и лимфообращения и нервнотрофических процессов, что обуславливает противовоспалительный, обезболивающий и рассасывающий эффект.

В свою очередь, общие реакции связаны с рефлекторно-гуморальными влияниями на нервную, сердечно-сосудистую, эндокринную и другие системы организма, которые бы обеспечивали бы его саморегуляцию. Следует отметить, что оптимальная реакция возникает только в тех случаях, когда нет чрезмерной тепловой нагрузки на организм, и изменения на клеточном, субклеточном и молекулярном уровнях не перекрываются последствиями процесса нагрева биологических тканей.

Холод и тепло, прежде всего, действуют на кожу, играющую важную роль в жизнедеятельности организма и теснейшим образом связанную с центральной нервной системой. Вместе

с тем, раздражая периферические рецепторы, тепло и холод влияют на весь организм. Действие их реализуется через кровь, которая нагревается (охлаждается) и обогащается различными биологически активными веществами, а, разносясь по организму, влияет на различные органы и ткани [9,20].

Таким образом, на сегодняшний день рефлексотерапия остаётся одной из самых применяемых медицинский методик лечения, воздействующей на человеческий организм через систему расположенных на теле специальных точек, объединенных в меридиальные линии, которые связаны с различными внутренними органами. Воздействие производится при помощи надавливания на точку (акупрессура), укалывания точки металлической иглой (акупунктура), прогревания точки полынной сигаретой и т.д. Воздействуя на энергетическую точку в различных режимах, можно восстанавливать работу поврежденных органов и систем.

Из многих факторов рефлексотерапевтического воздействия наиболее эффективным является термическое (прогревание и охлаждение), что обусловлено иррадиацией и глубиной проникновения тепла.

Под влиянием тепла расширяются артериолы, давление и скорость кровотока в капиллярах увеличивается. Расширение кровеносных сосудов и усиление кровообращения приводят к гиперемии и повышению температуры кожи. Гиперемия сопровождается усилением процессов обмена, образованием биологически активных веществ, что способствует усилению процесса регенерации, рассасыванию продуктов тканевого распада.

Тепловое воздействие способствует расширению кровеносных и лимфатических сосудов, снимая сосудистые спазмы и облегчая очищение крови и лимфы, ускоряет метаболические процессы в организме, уничтожает либо подавляет активность многих возбудителей болезни. Все это обуславливает противовоспалительный, обезболивающий, антисептический и рассасывающий эффект. Местное же холодное воздействие приводит к локальному замедлению уровня обменных процессов в охлажденных тканях, снижению потребления ими кислорода (и потребности в нем) и питательных веществ, клетками [8,11].

Устройство для температурного воздействия на рефлекторные зоны человека [15] сочетает в себе механическое и температурное воздействие, а также позволяет создать воздействующее тепловое поле произвольной формы. Устройство содержит термоэлектрический модуль (ТЭМ) 1, первыми спаями, находящийся в тепловом контакте с аппликатором 2, выполненным в виде металлической пластины, одна из плоских поверхностей которой имеет пилообразные выступы.

Вторые спаи ТЭМ 1 находятся в плотном температурном контакте с жидкостным теплообменником 3. Промежуток между металлической пластиной и жидкостным теплообменником 3, свободный от ТЭМ 1, заливается диэлектрическим компаундом 4.

Образованные таким образом элементы впрессовываются в резиновое полотно 5, в котором проложены цепи питания 6 ТЭМ 1 и каналы 7 подвода и отвода жидкости для жидкостных теплообменников 3. Для обеспечения терапевтического эффекта выбирается рефлекторная зона для воздействия с учетом симптоматики и локализации заболевания.

При этом аппликатор располагается под рефлекторной зоной, и рефлекторное раздражение происходит за счет механического давления на него. Врач начинает проведение процедуры с включения блока питания, который осуществляет питание электрическим током необходимой величины и полярности ТЭМ 1. При этом одни спаи ТЭМ 1 нагреваются, другие охлаждаются, изменяя температуру воздействующего аппликатора 2. Полярность и уровень питания варьируется в соответствии с характером процедур. Одновременно происходит теплосъем со второго спая ТЭМ 1 посредством жидкостного теплообменника 3.

Термоэлектрические модули подключены к цепям питания таким образом, чтобы соседние термоэлектрические модули, находящиеся в одном ряду (по вертикали либо горизонтали), питались разнополярным электрическим током. Подключение ТЭМ таким образом обеспечивает "шахматное" температурное поле.

Меняя полярность тока питания, происходит смена режима воздействия, т.е. аппликаторы, осуществлявшие тепловое воздействие, переводятся на холодное и наоборот.

Данное устройство просто в изготовлении, легко обслуживается и обладает высокой надежностью. Предлагаемое устройство может работать в различных температурных режимах, обеспечивая возможность попеременного воздействия отрицательных и положительных температур. Кроме того, помимо теплового воздействия наблюдается рефлекторный и механический эффект.

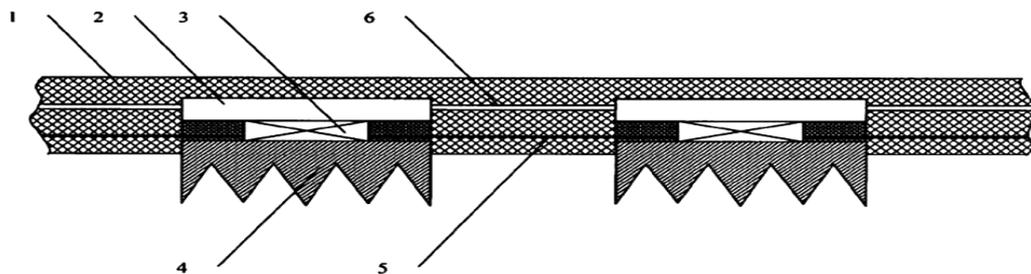


Рис. 1. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для воздействия на рефлекторные зоны человека
Fig. 1. Thermoelectric semiconductor device for influencing the reflex zones of a person

Современные методики терапии неврологических заболеваний включают в себя комбинирование множества лекарственных препаратов, чьи биохимические взаимодействия и эффекты позволяют добиться высоких результатов в лечении. Известны методики блокирования нервно-мышечной передачи (ботулинотерапия), препараты, влияющие на экстрапирамидную систему и многое другое. Однако, использование различных физиотерапевтических процедур на сегодняшний день приоритетнее и эффективнее ввиду безопасности и неинвазивности.

Наиболее результативными терапевтическими факторами, применяемыми в неврологии, являются: массаж спины и шейно-воротниковой зоны, воздействие теплом и холодом, а также воздействие магнитного поля. В неврологии массаж используется при болевых синдромах различного генеза, в том числе при остеохондрозе различных отделов позвоночника (шейном, грудном, поясничном), при мышечной слабости хронических заболеваниях нервной системы, спастическом гипертонусе мышц и др. [1,5,6].

Техническим результатом предлагаемого устройства [18] является сочетание функции попеременного нагрева и охлаждения массажных аппликаторов в едином устройстве, с возможностью температурного режима, режима магнитовоздействия и механического массажа с виброфункцией.

Для достижения этой цели предлагается устройство (рис.1-3), содержащее гибкое упруго-деформируемое основание с возможностью облегчения шейно-воротниковой зоны, выполненное в виде эластичной прослойки 1, на которой закреплены термоэлектрические модули (ТЭМ) 2, рабочие спаи 3 которых находятся в тепловом контакте с высокотеплопроводной гелевой прослойкой 4, содержащей термодатчик 5, а опорные спаи 6 находятся в тепловом контакте с алюминиевыми пластинами 7, которые контактируют с теплопроводящими опорными блоками 8, включающими короб 9, выполненный из материала с низкой теплопроводностью, в полости которого находится рабочее вещество 10 с большой теплотой плавления и температурой плавления в пределах 40-50°C (например, парафин), ограниченное с внутренней стороны алюминиевыми пластинами 7.

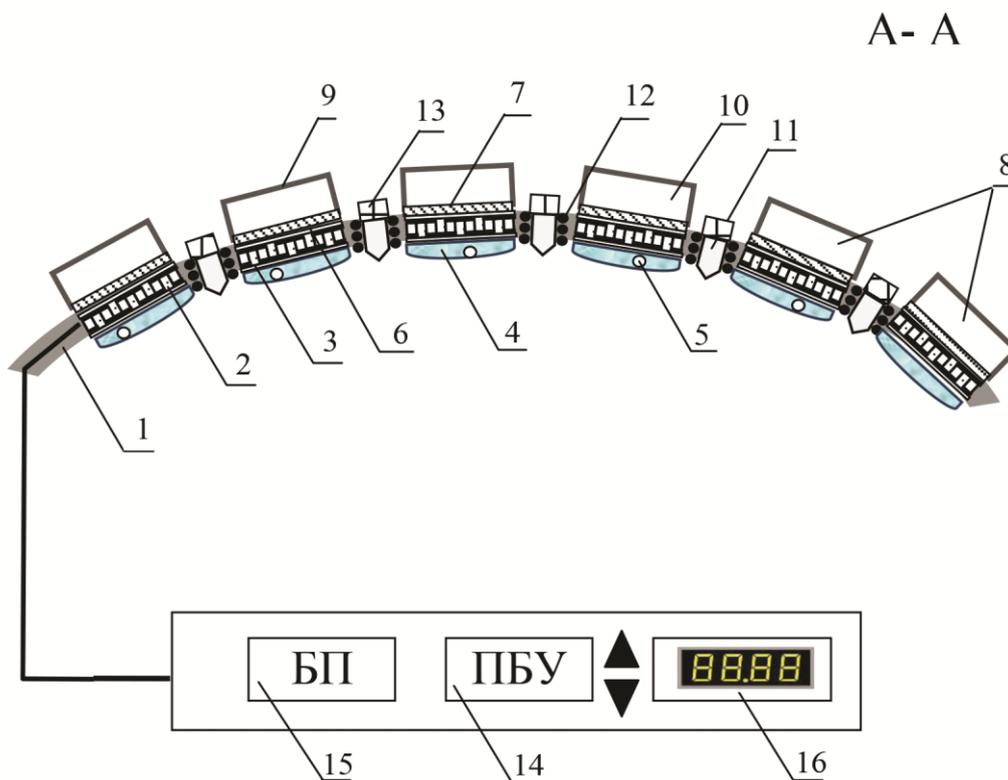


Рис.2. Конструкция термоэлектрического полупроводникового устройства для массажа шейно-воротниковой зоны в разрезе

Fig. 2. Sectional design of a thermoelectric semiconductor device for massage of the neck-collar zone

Вместе с тем, эластичная прослойка 1 содержит ферромагнитные игольчатые элементы 11, расположенные между каждой соседней парой ТЭМ 2. При этом, магнитное воздействие в устройстве создается при помощи опоясывающих каждый из ферромагнитных игольчатых элементов 11 проводов 12 с противоположным направлением намотки у соседних ферромагнитных игольчатых элементов 11, питающих соответствующий ему ТЭМ 2. Противоположная намотка проводов необходима для изменения направления магнитного поля соседних игольчатых элементов 11.

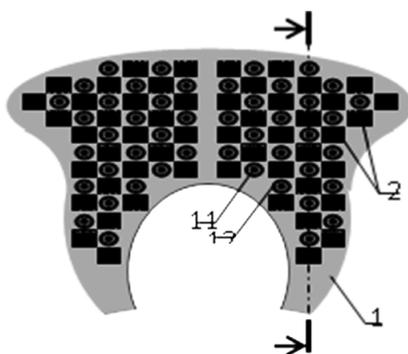


Рис.3. Общий вид устройства (вид сверху)
Fig. 3. General view of the device (top view)

Для усиления механического массажа основания игольчатых элементов 8 сопряжены с пьезоэлементами 13, создающими вибрационное воздействие.

Крепление ТЭМ 2 и ферромагнитных игольчатых элементов 11 на эластичной прослойке 1 выполнено с учетом исключения воздействия на область позвоночного столба.

Принцип работы предлагаемого устройства следующий. Перед началом работы задается определенная температура на программируемом блоке управления 14, соответствующие сигналы с которого подаются на вход блока питания 15, который в свою очередь осуществляет подачу электрического тока заданной величины и полярности полупроводниковых ТЭМ 2.

В результате этого рабочие спаи 3 ТЭМ 2, находящиеся в контакте с гелевой прослойкой 4, начинают нагреваться либо охлаждаться до заданной температуры и, таким образом, создавать температурное воздействие на шейно-воротниковую зону.

Температура гелевой прослойки 4 контролируется посредством термодатчика 5, и отображается на цифровом табло 16.

Температурная стабилизация опорных спаев 6 ТЭМ 2, контактирующих с теплопроводящими опорными блоками 8, осуществляется посредством рабочего вещества 10 с большой теплотой плавления и температурой плавления в пределах 40-50°C (например, парафин), которое находится в полости короба 9, выполненного из материала с низкой теплопроводностью, ограниченного с внутренней стороны алюминиевыми пластинами 7. Электрический ток, протекающий по виткам проводов 12 опоясывающих каждый из ферромагнитных игольчатых элементов 11, создает магнитное поле, действующее на биообъект и осуществляет питание пьезоэлементов 13, создающих вибрацию за счет изменения формы.

Данное устройство может работать в различных температурных режимах, обеспечивая возможность попеременного воздействия отрицательных и положительных температур, а также в режиме попеременного магнитного воздействия, что обеспечивает применение его в реабилитационных отделениях и лечебно-профилактических учреждениях широкого профиля.

В косметологии издавна применяются различные способы воздействия на кожу с помощью тепла или, наоборот, с помощью холода [21].

Горячий влажный компресс (от +38 до +42 °C) расширяет кровеносные сосуды лица, улучшает кровообращение и питание тканей, очищает кожу, снимает усталость.

Такой компресс накладывают на очищенную кожу лица и шеи. Держать горячий компресс на лице рекомендуют до тех пор, пока он вам будет приятен, — обычно это 1 – 5 минут. Горячий влажный компресс рекомендуется использовать при профилактическом уходе за сухой обезвоженной кожей, а также для лечения стареющей кожи. После снятия компресса можно сделать массаж, нанести на лицо очищающую или питательную маску.

Холодный компресс (от + 15 до +18 °C) тонизирует кожу, способствует сужению пор и уменьшению салоотделения. Холодный компресс может стать завершением таких косметических процедур, как чистка лица, массаж, маска. Накладывают холодный компресс на 5 – 10 минут. Холодный компресс особенно полезно применять при вялой, потерявшей упругость коже.

Ухаживая за кожей, в течение одной процедуры можно совместить применение теплых и холодных компрессов – это действует как контрастное умывание: укрепляются мышцы и кровеносные сосуды, тонизируется кожа.

В целях повышения эффективности проведения тепловых косметологических процедур за счет учета индивидуальной геометрии лица человека, разработано термоэлектрическое полупроводниковое устройство [19] для проведения тепловых косметологических процедур (рис.4), содержащее основание 1, выполненное в виде маски, повторяющей контуры лица человека с отверстиями 2 в области глаз, носа и рта.

Основание представляет собой герметичный контейнер, образованный со стороны контакта с поверхностью лица человека прочной пленкой (пластиковой или матерчатой) 3 и с противоположной стороны плоской жесткой пластиной 4, заполненный гранулятом 5. Пластина 4 и гранулят 5 выполнены из материала с высоким коэффициентом теплопроводности (например, медь или алюминий).

На внешнюю поверхность пластины 4 с хорошим тепловым контактом установлены воздействующими спаями термоэлектрические элементы 6, опорные спаи которых сопряжены с воздушным радиатором 7.

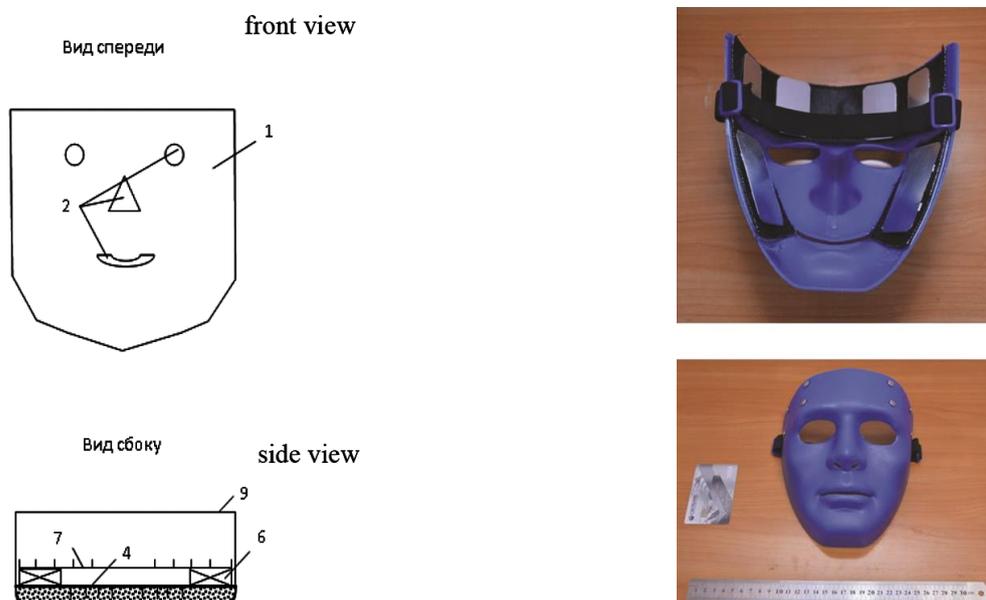


Рис. 4. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для теплового воздействия в косметологии
Fig. 4. Thermoelectric semiconductor device for thermal effects in cosmetology

На внешней поверхности пленки 3, контактирующей с лицом человека, имеется тонкая силиконовая прослойка 8, предотвращающая механические повреждения кожи лица при контакте с устройством.

Термоэлектрические элементы 6 подключаются электрическими проводами к программируемому источнику постоянного тока, реализующему различные режимы их работы (охлаждение, нагрев, их чередование).

Основание 1 снабжено крепежным приспособлением 9 для плотной фиксации устройства на лице человека.

Перед началом процедуры устройство закрепляется на лице человека, подлежащем тепловому воздействию, с обеспечением плотного контакта силиконовой прослойки 8, находящейся на поверхности пленки 3 основания 1 с учетом его морфологических особенностей за счет эластичных свойств системы пленка 3 – гранулят 5 и наличия крепежного приспособления 9.

Процедура начинается с включения программируемого блока питания, по заданной программе осуществляющего питание электрическим током необходимой величины и полярности термоэлектрических элементов 6, размещенных на пластине 4.

Доза и длительность теплового воздействия определяется врачом-косметологом, им же производится текущий контроль за состоянием пациента.

Как было отмечено выше, локальное тепловое воздействие широко используется в медицинской практике при лечении и профилактике ряда заболеваний. На этом принципе основан ряд методов, применяемых в физиотерапевтической практике, например, ванны постепенно повышаемой температуры, частичные ванны, контрастные ванны и т.д., а также применение различных сред, таких как озокерит, парафин и др.

Недостатками перечисленных методов являются низкая эффективность, дискомфортность процедур, сложность и неудобство в реализации, недостаточно высокая точность дозировки воздействия.

В этих условиях перспективным является метод теплового воздействия посредством приборов, в которых исполняющим элементом является ТЭБ, обладающих необходимой эффективностью, надежностью функционирования, большим ресурсом работы, простотой, точностью, а также абсолютной экологической безопасностью.

Для воздействия на руку человека разработано термоэлектрическое полупроводниковое устройство [14], структурная схема которого представлена на рис. 5, а внешний вид на рис.6.

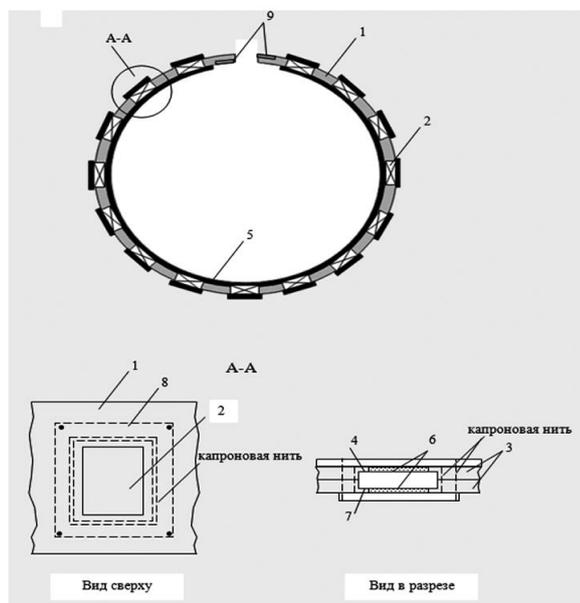


Рис.5. Структурная схема термоэлектрического полупроводникового устройства для теплового воздействия на отдельные зоны руки человека

Fig. 5. Block diagram of a thermoelectric semiconductor device for thermal impact on separate zones of a human hand



Рис.6. Внешний вид термоэлектрического полупроводникового устройства для теплового воздействия на отдельные зоны руки человека

Fig. 6. External view of a thermoelectric semiconductor device for thermal effects on individual zones of a human hand

Устройство работает следующим образом. Перед началом процедуры устройство закрепляется на участке руки человека, подлежащем тепловому воздействию, с обеспечением плотного контакта за счет эластичных свойств основания 1 и наличия застежки-липучки 9.

Процедура начинается с включения программируемого блока питания по заданной программе осуществляющего питание электрическим током необходимой величины и полярности ТЭМ 2. Доза и длительность теплового воздействия определяется лечащим врачом, им же производится текущий контроль за состоянием пациента.

Металлические пластины 8 предназначены для съема излишка тепла с внешних спаев 7 ТЭМ 2 при охлаждении участка руки, а тепловыравнивающая пластина 5 обеспечивает равномерное распределение температуры.

Конструктивная простота устройства и возможность смены режимов в широком интервале температур обеспечивают применение его в различных областях медицины.

Вывод. В статье рассмотрены перспективы развития и внедрения в медицинскую практику устройств на основе термоэлектрических полупроводниковых преобразователей.

Описаны конструкции приборов для теплового воздействия на отдельные органы человеческого организма, в частности устройства для воздействия на рефлекторные области человека, шейно-воротниковую зону, руку, лицо.

Предложенные конструкции в силу простоты, эффективности и надежности работы могут использоваться в медицинских учреждениях различного профиля.

Библиографический список:

1. Krukowska J., Lukasiak A., Czernicki J. Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone. Polish annals of medicine. 2012;19:15-20
2. Rowe D.M. Thermoelectrics and its energy harvesting, materials, preparation and characterization. BocaRaton: CRC Press. – 2012.
3. Sennoga Twaha, Jie Zhu, Yuying an, Bo Li A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement / Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 65, November 2016. pp. 698-726.
4. Tiffany Field Massage therapy research review / Complementary Therapies in Clinical Practice, Volume 24, August 2016. - P. 19-31.
5. Tiffany Field, Miguel Diego, Gladys Gonzalez, C.G. Funk Neck arthritis pain is reduced and range of motion is increased by massage therapy / Complementary Therapies in Clinical Practice, Volume 20, Issue 4, November 2014. pp. 219-223.
6. Verhagen John. Massage therapy has short-term benefits for people with common musculoskeletal disorders compared to no treatment: a systematic review // Journal of Physiotherapy. - 2015. №61. pp. 106-116.
7. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Термоэлектрические преобразователи энергии. – Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003.
8. Боголюбов В.М., Улащик В.С. Комбинирование и сочетание лечебных физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2004. - № 5 –С.39-45.
9. Елифанов В. А. Восстановительная медицина [Текст]: учебник / В. А. Елифанов. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. - 304 с.
10. Исмаилов Т.А., Хазамова М.А., Рагимова Т.А. Исследование термоэлектрического устройства для термопунктуры // Термоэлектричество. 2017. № 1. с. 33-40.
11. Олефиренко В.Т. Водотеплолечение. М.: Медицина, 1986. 288с.
12. Патент № 2245693 РФ. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для локального температурного воздействия на стопу человека / Исмаилов Т. А., Аминов Г. И., Евдулов О.В., Хазамова М. А. - № 2002125785; Оpubл. 10.02.2005, Бюл. № 4 – 3 с.
13. Патент № 2299711 РФ. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для локального температурного воздействия на рефлексогенные зоны ноги человека / Исмаилов Т. А., Аминов Г. И., Юсуфов Ш.А., Хазамова М. А. - № 2003113991; Оpubл. 27.05.2007, Бюл. № 15. 4 с.
14. Патент № 2556847 РФ. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для локального температурного воздействия на руку человека / Исмаилов Т.А., Хазамова М.А., Евдулов О.В., Магомадов Р.А.-М. – № 2014100315; Оpubл.20.07.2015, Бюл. № 20. 4с.
15. Патент № 2299722 РФ. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для локального механического и температурного воздействия на рефлекторные зоны человеческого организма / Исмаилов Т.А., Аминов Г.И., Юсуфов Ш.А., Хазамова М.А. - №2004121284; Оpubл. 27.05.2007, Бюл.№15. 4с.
16. Патент № 2459610 РФ. Термоэлектрическое устройство для термоманитомассажа рефлексогенных зон ноги человека / Исмаилов Т. А., Хазамова М.А., Гидуримова Д.А. - № 2010102442; Оpubл. 27.08.2012., Бюл. № 24. 5с.
17. Патент № 2506935 РФ. Термоэлектрическое устройство для лечения кисти / Исмаилов Т. А., Хазамова М.А., Гидуримова Д.А., Гаджиев А.М. - № 2010102442; Оpubл. 20.02.2014., Бюл. № 5. 4с.
18. Патент № 2634687 РФ. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для массажа шейно-воротниковой зоны /Исмаилов Т.А., Хазамова М.А., Рагимова Т.А. и др. - №2016123388; Оpubл. 02.11.2017, Бюл. №31. 5с.
19. Патент № 2627798 РФ. Термоэлектрическое устройство для проведения тепловых косметологических процедур / Исмаилов Т. А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., Гусейнов Г.М. - № 2016119657; Оpubл. 11.08.2017, Бюл. № 23.

20. Физическая реабилитация / под общ. ред. проф. Попова С. М. 2 изд. Ростов н/Д: Феникс, 2004. 608 с.
21. Физиотерапия в косметологии : учеб. пособие по элективному курсу / Беловол А. Н., Ткаченко С. Г., Татузян Е. Г. Харьков : ХНМУ, 2015. 132 с

References:

1. Krukowska J., Lukasiak A., Czernicki J. Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone. Polish annals of medicine. 2012;19:15-20
2. Rowe D.M. Thermoelectrics and its energy harvesting, materials, preparation and characterization. BocaRaton: CRC Press. 2012.
3. Sennoga Twaha, Jie Zhu, Yuying an, Bo Li A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement / Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 65, November 2016. pp. 698-726.
4. Tiffany Field Massage therapy research review / Complementary Therapies in Clinical Practice, Volume 24, August 2016. pp. 19-31.
5. Tiffany Field, Miguel Diego, Gladys Gonzalez, C.G. Funk Neck arthritis pain is reduced and range of motion is increased by massage therapy / Complementary Therapies in Clinical Practice, Volume 20, Issue 4, November 2014. pp. 219-223.
6. Verhagen John. Massage therapy has short-term benefits for people with common musculoskeletal disorders compared to no treatment: a systematic review // Journal of Physiotherapy. 2015. №61. pp. 106-116.
7. Anatyshuk L. I. Thermoelectricity. Thermoelectric energy converters. Kiev, Chernivtsi: Institute of thermoelectricity, 2003.
8. Bogolyubov V.M., Ulashchik V.S. Kombinirovaniye i sochetaniye lechebnykh fizicheskikh faktorov // Fizio-terapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya. – 2004. - № 5 –S.39-45. [Bogolyubov V. M., ulashchik V. S. Combination and combination of therapeutic physical factors // Physiotherapy, balneology and rehabilitation. 2004. № 5. pp. 39-45. (In Russ)]
9. Yepifanov V. A. Vosstanovitel'naya meditsina [Tekst]: uchebnik / V. A. Yepifanov. - M. : GEOTAR-Media, 2012. - 304 s. [Epifanov V. A. Restorative medicine [Text]: textbook / V. A. Epifanov. M.: GEOTAR-Media, 2012. 304 p. (In Russ)]
10. Ismailov T.A., Khazamova M.A., Ragimova T.A. Issledovaniye termoelektricheskogo ustroystva dlya ter-mopunktury // Termoelektrichestvo. 2017. № 1. s. 33-40. 11. [Ismailov T. A., Khazamova M. A., Ragimova T. A. Research of a Thermoelectric device for Thermopuncture // Thermoelectricity. 2017. No. 1. pp. 33-40. (In Russ)]
11. Olefirenko V.T. Vodoteplolecheniye. M.: Meditsina, 1986. 288s. [Olefirenko V.T. Vodoteplolecheniye. M.: Meditsina, 1986. – 288s. [Olefirenko V. T. Vodoteplolechenie. M.: Meditsina, 1986. 288p. (In Russ)]
12. Patent № 2245693 RF. Poluprovodnikovoye termoelektricheskoye ustroystvo dlya lokal'nogo tempera-turnogo vozdeystviya na stopu cheloveka / Ismailov T. A., Aminov G. I., Yevdulov O.V., Khazamova M. A. - № 2002125785; Opubl. 10.02.2005, Byul. № 4 – 3 s. [Patent no. 2245693 of the Russian Federation. Semi-conductor thermoelectric device for local temperature action on the human foot / Ismailov T. A., Aminov G. I., Evdulov O. V., Khazamova M. A. No. 2002125785; Publ. 10.02.2005, Byul. No. 4 – 3. (In Russ)]
13. Patent № 2299711 RF. Termoelektricheskoye poluprovodnikovoye ustroystvo dlya lokal'nogo tempera-turnogo vozdeystviya na refleksogennyye zony nogi cheloveka / Ismailov T. A., Aminov G. I., Yusufov SH.A., Khazamova M. A. - № 2003113991; Opubl. 27.05.2007, Byul. № 15 – 4 s. [Patent No. 2299711 of the Russian Federation. Thermoelectric semiconductor device for local temperature influence on the reflexogenic zones of the human leg / Ismailov T. A., Aminov G. I., Yusufov sh. a., Khazamova M. A. no. 2003113991; Publ. 27.05.2007, bul . No. 15 p. (In Russ)]
14. Patent № 2556847 RF. Termoelektricheskoye poluprovodnikovoye ustroystvo dlya lokal'nogo tempera-turnogo vozdeystviya na ruku cheloveka / Ismailov T.A., Khazamova M.A., Yevdulov O.V., Magomadov R.A-M. – № 2014100315; Opubl.20.07.2015, Byul. № 20 - 4s. [Patent no. 2556847 of the Russian Federation. Thermoelectric semiconductor device for local temperature impact on the human hand / Ismailov T. A., Khazamova M. A., Evdulov O. V., Magomadov R. A-M.-No. 2014100315; Publ. 20. 07. 2015, bul. No. 2-4p. (In Russ)]
15. Patent № 2299722 RF. Termoelektricheskoye poluprovodnikovoye ustroystvo dlya lokal'nogo mekhaniche-skogo i temperaturnogo vozdeystviya na reflektornyye zony chelovecheskogo organizma / Ismailov T.A., Ami-nov G.I., Yusufov SH.A., Khazamova M.A. - №2004121284; Opubl. 27.05.2007, Byul.№15. – 4s. [Patent no. 2299722 of the Russian Federation. Thermoelectric semiconductor device for local mechanical and temperature effects on the reflex zones of the human body / Ismailov T. A., Aminov G. I., Yusufov sh. a., Khazamova M. A. No. 2004121284; Publ. 27.05.2007, Bul.No. 15 p. (In Russ)]
16. Patent № 2459610 RF. Termoelektricheskoye ustroystvo dlya termomagnitmassazha refleksogennykh zon nogi cheloveka / Ismailov T. A., Khazamova M.A., Gidurimova D.A. - № 2010102442; Opubl. 27.08.2012., Byul. № 24.- 5s. [Pa-tent no. 2459610 of the Russian Federation. Thermoelectric device for thermomanometer reflex zones of the feet / Ismailov T. A., Hasanova M. A., Sidorkova D. A. - No. 2010102442; Publ. 27.08.2012., Bull. No. 24-25p. (In Russ)]
17. Patent № 2506935 RF. Termoelektricheskoye ustroystvo dlya lecheniya kisti / Ismailov T. A., Khazamova M.A., Gidu-rimova D.A., Gadzhiev A.M. № 2010102442; Opubl. 20.02.2014., Byul. № 5. -4s. [Patent No. 2506935 of the Russian Federation. Thermoelectric device for brush cutting / Ismailov T. A., Khazamova M. A., Gidurimova D. A., Gadzhiev a.m.-No. 2010102442; Publ. 20.02.2014., bul. No. 5. p. (In Russ)]

18. Patent № 2634687 RF. Termoelektricheskoye poluprovodnikovoye ustroystvo dlya massazha sheyno-vorotnikovoy zony /Ismailov T.A., Khazamova M.A., Ragimova T.A. i dr. - №2016123388; Opubl. 02.11.2017, Byul. №31. – 5s. [Patent no. 2634687 of the Russian Federation. Thermoelectric semiconductor device for massage of the neck-collar zone /Ismailov T. A., Khazamova M. A. Ragimova T. A. et al. - no. 2016123388; Publ. 02.11.2017, bul. No. 31. 5p. (In Russ)]
19. Patent № 2627798 RF. Termoelektricheskoye ustroystvo dlya provedeniya teplovykh kosmetologicheskikh protsedur / Ismailov T. A., Yevdulov O.V., Yevdulov D.V., Guseynov G.M.. - № 2016119657; Opubl. 11.08.2017, Byul. № 23. [Patent no. 2627798 of the Russian Federation. Thermoelectric device for conducting thermal cosmetological procedures / Ismailov T. A., Evdulov O. V., Evdulov D. V., Huseynov G. M. No. 2016119657; Publ. 11.08.2017, bul. No. 23. (In Russ)]
20. Fizicheskaya reabilitatsiya / pod obshch. red. prof. Popova S. M. 2 izd. – Rostov n/D: Feniks, 2004. – 608 s. [Physical rehabilitation / ed. prof. Popova S. M. 2 ed. - Rostov n / A: Fenix, 2004. 608 p. (In Russ)]
21. Fizioterapiya v kosmetologii : ucheb. posobiye po elektivnomu kursu / Belovol A. N., Tkachenko S. G. , Tatuzyan Ye. G. – Khar'kov : KHNMU, 2015. – 132 s [Physiotherapy in cosmetology: textbook. manual on elective course / Belovol A. N., Tkachenko S. G., Tatuzyan E. G.-Kharkiv: KHNMU, 2015. 132 p. (In Russ)]

Сведения об авторе:

Хазамова Мадина Абдулаевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической и общей электротехники; e-mail: kaftoe2016@yandex.ru

Information about the author:

Madina A. Khazamova, Cand. Sci (Technical), Assoc. Prof, Department of Theoretical and General electrical engineering; e-mail: kaftoe2016@yandex.ru

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.05.2020.

Принята в печать 19.05.2020.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 03 05.2020.

Accepted for publication 19.05.2020.

Для цитирования: П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иваньо. Интеллектуальная система моделирования изменчивости климатических явлений. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 30-39. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-30-39

For citation: P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, Ya.M. Ivanyo. Intelligent system for modelling climate variability. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 30-39. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-30-39

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

УДК 004.89:551.583

DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-30-39

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**

П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иваньо

*Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н., п. Молодежный, 1/1, Россия*

Резюме. Цель. В публикации описан проект интеллектуальной системы моделирования изменчивости климатических событий на основе базы данных многолетних рядов, а также базы знаний исторических свидетельств. Интеллектуальная система позволит моделировать климатические события по следующим направлениям: одно явление в одной точке; одно явление в пространстве; множество явлений в одной точке и множество явлений в пространстве. **Метод.** Методы обработки данных связаны со свойствами исходной информации и их объемом: ряды наблюдений за длительный, выборки за короткий период, историко-архивные материалы и т.д. **Результат.** В статье приведены основные функции интеллектуальной системы, расширяющие возможности оценки изменчивости климатических характеристик благодаря сочетанию количественной и качественной информации в виде историко-архивных свидетельств. К основным функциям системы относятся: формирование потоков событий; оценка вероятности появления события; физическая реконструкция данных с использованием геоинформационных систем; определение периода между двумя редкими событиями; управление аграрным производством в условиях рисков. **Вывод.** Преимуществом такой системы является увеличение информации об экстремальных событиях и повышение эффективности управления за счет снижения рисков.

Ключевые слова: интеллектуальная система, база данных, база знаний, климатическое событие

INTELLIGENT SYSTEM FOR MODELLING CLIMATE VARIABILITY

P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, Ya.M. Ivanyo

*A.A. Ezhevsky Irkutsk State Agrarian University,
1/1 Str., Irkutsk region, Molodezhny village 664038, Russia*

Abstract. Aim. The study describes a prototype of an intelligent system for modelling climate variability based on a database of multi-year series and historical evidence. The presented intelligent system allows climate events to be simulated as follows: one phenomenon at one point; one phenomenon in space; many phenomena at one point and many phenomena in space. **Methods.** The choice of research methods was determined by the properties of source information and its volume: a series of observations over a long period, sampling over a short period, historical and archival materials, etc. **Results.** The article describes the main functions of the presented intelligent system, which expand the

possibility of assessing the variability of climate characteristics by combining quantitative and qualitative information in the form of historical and archival evidence. The main functions of the system include the generation of event flows; estimation of the event probability; physical reconstruction of data using geoinformation systems; determination of the period between two rare events; and management of agricultural production under risk conditions. **Conclusion.** The advantage of the proposed system consists in increasing information about extreme events and improving the management efficiency by means of reducing risks.

Keywords: intelligent system, database, knowledgebase, climate event

Введение. Использование интеллектуальных систем в изучении климата повышает эффективность принятия решений на разных уровнях управления [8, 18]. Разновидностью интеллектуальных систем являются системы, основанные на знаниях, встраиваемые в системы управления [4]. Важным элементом таких систем является база знаний, которая состоит из множества систематизированных знаний, используемых для решения различных задач, в том числе задач управления.

Постановка задачи. При изучении изменчивости климата рассматривают два вида данных: многолетние материалы количественных наблюдений, экспериментов и полевых изысканий; косвенные сведения о физических, биологических, социальных и других процессах доинструментального периода, включающие в себя историко-архивные свидетельства [2, 3].

Интегрированное их применение является сложной задачей, решение которой возможно на стыке научных направлений: инженерия знаний и климатология. Помимо этого, многообразие и большой объем информации усложняет поиск необходимых знаний. Решение данной проблемы заключается в разработке интеллектуальной системы моделирования изменчивости климатических явлений на основе базы знаний и базы данных, с помощью которых осуществляется поддержка принятия решений [7, 20, 27].

В этой работе приведены основные функции интеллектуальной системы, расширяющие возможности оценки изменчивости климатических характеристик благодаря сочетанию количественной и качественной информации в виде историко-архивных свидетельств.

Методы исследования. В книге [12] собраны историко-архивные свидетельства о различных природных событиях, имевших место на территории Иркутской области, начиная с середины XVII в. Эти сведения представляют собой описательные факты, которые зафиксированы в летописях, монографиях, дневниках, периодической печати и других источниках.

В таблице 1. приведены даты появления первых систематизированных и фрагментарных данных о характеристиках природных явлений Восточной Сибири [11].

Таблица 1. Даты появления первых систематизированных (С) и фрагментарных (Ф) данных о природных явлениях Восточной Сибири
Table 1. Dates of the appearance of the first systematized (C) and fragmented (F) data on the natural phenomena of Eastern Siberia

№	Характеристики Characteristics	Год Year	Примечание Note
1	Ледостав Freezing	1720	С (s)
2	Уровень воды Water level	1721	Ф (f)
3	Температура воздуха Air temperature	1808	С (s)
4	Атмосферные осадки Precipitation	1839	С (s)
5	Расход воды Water consumption	1885	Ф (f)

Помимо историко-архивных свидетельств собраны данные по температурам воздуха, количеству осадков, максимальным расходам воды весеннего половодья и дождевых паводков, а также другим гидрометеорологическим характеристикам за годы наблюдений в Иркутской области.

Особое место уделено исследованию данных об экстремальных событиях, которые могут использоваться для реконструкции климатических ситуаций исторического прошлого на основе зафиксированных свидетельств [9, 10].

При проектировании интеллектуальной системы использованы методы создания информационных систем, математического моделирования, математической статистики и теории вероятностей.

Интеллектуальная система моделирования изменчивости климатических явлений предназначена для сотрудников промышленных и сельскохозяйственных организаций, гидрометеорологических служб и других. Ее основное назначение – предоставление полной и систематизированной информации по разным аспектам экстремальных природных явлений с одновременным раскрытием возможных сценариев развития.

Проектируемая система основывается на базе данных характеристик климатических событий и базе знаний историко-архивных свидетельств [26].

База данных представлена многолетними рядами, описывающими события: температура воздуха, скорость ветра, количество осадков, интенсивность дождя, уровень воды, толщина льда, максимальный расход воды и др. База знаний содержит историко-архивные свидетельства, которые классифицируются по следующим признакам: происхождению, источникам описания, экономическим потерям, эпохам, возможности преобразования факта в событие, количеству информации [15].

Интеллектуальная система позволит моделировать климатические события по следующим направлениям: одно явление в одной точке; одно явление в пространстве; множество явлений в одной точке и множество явлений в пространстве.

Кроме того, методы обработки данных связаны со свойствами исходной информации и их объемом: ряды наблюдений за длительный, выборки за короткий период, историко-архивные материалы и т.д.

Обсуждение результатов. Одним из важных элементов интеллектуальной системы является база знаний исторических свидетельств о климатических событиях.

Процесс разработки базы знаний состоит из 4 этапов [14].

1. Проектирование базы знаний:

- организация классов в онтологии [23];
- определение классов в иерархию;
- выявление слотов и их допустимых значений.

2. Настройка формы ввода данных экземпляров.

3. Заполнение экземпляров класса.

4. Проверка целостности и согласованности базы знаний.

Классы в онтологии интеллектуальной системы представлены следующей иерархией:

- явление;
- тип явления;
- характеристики;
- историко-архивные свидетельства;
- критерии;
- ущербы;
- пункт наблюдения;
- период наблюдения.

Таким образом, база знаний содержит в себе знания о явлениях, типах явлений, характеристиках и исторических свидетельствах.

На рис. 1 показаны основные классы проектируемой базы знаний.

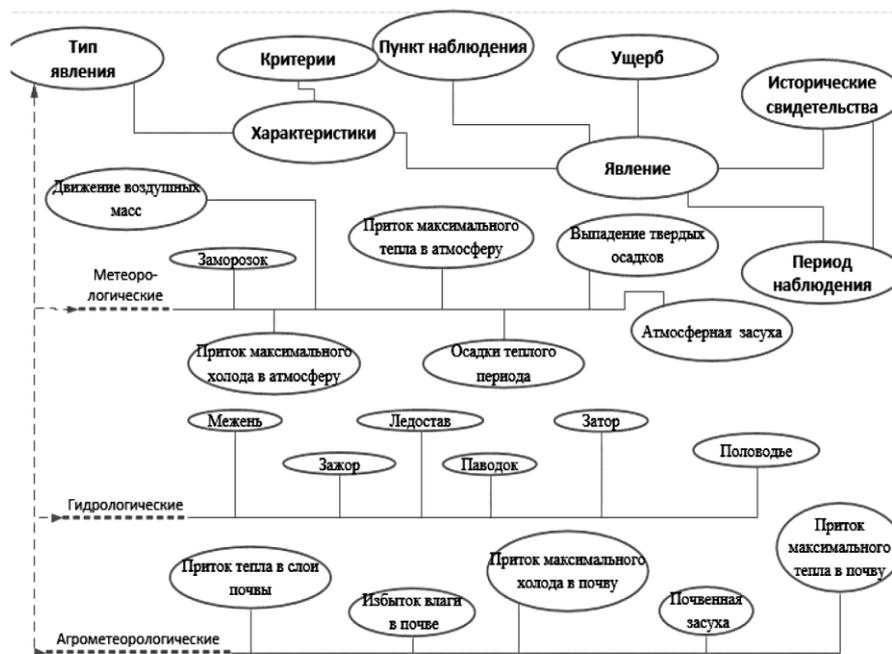


Рис. 1. Классы базы знаний
 Fig.1. Knowledge base classes

Рассмотрим основные функции интеллектуальной системы моделирования климатических явлений.

1. *Формирование дат событий.* При наличии данных формируются экстремальные годовые значения многолетних рядов. После этого осуществляется выделение событий. Для этого можно использовать два алгоритма:

а) двухуровневая организация: события и их отсутствие [22];

б) многоуровневая организация хронологической последовательности параметров с учетом переломных точек [6].

В первом алгоритме из рядов максимальных или минимальных значений выбирают характеристику как значение, превышающее или находящееся ниже критического уровня [11, 15, 22]. Наивысшие значения событий за историческое прошлое представляют собой редкое событие или явление.

Во втором алгоритме хронологические годовые максимальные и минимальные значения параметров влаги и тепла образуют собой ряды, которые характеризуют разные уровни состояния природной среды.

Таким образом, ежегодные величины делимы на четыре нижние и четыре верхние уровни, для которых формируются ряды значений климатических характеристик. Каждая следующая ступень иерархии характеризует более высокое значение экстремумов по сравнению с предыдущей. Когда увеличивается уровень иерархии, то уменьшается количество значений, которые образуют ряд. Метод определения вершины или ложбины основывается на установлении монотонно изменяющихся ординат до смены их направленностей. Описанные подходы для определения явлений в базе знаний представлены в виде продукций с разработанным алгоритмическим обеспечением.

Выделив события на основе первого алгоритма, нетрудно сформировать последовательность лет им соответствующую. Затем на основе историко-архивных свидетельств можно увеличить полученный ряд.

2. *Потоки событий.* В вероятностном отношении события находятся в хвостовых частях распределений, поэтому для их обработки необходимо использование специальных методов. Для описания потока событий на практике часто применяют пуассоновское распределе-

ние. Используя закон Пуассона можно оценить вероятность возникновения n событий за время t . Кроме того, для обработки рядов применимы метод наложения эпох и анализ периодограмм [11]. Для оценки периодичности возникновения событий также целесообразно использовать метод спектра мощности Рэлея. Этот метод подробно описан в работе К. Мардиа [19]. Согласно этому методу, вероятность равномерного распределения событий описывается экспонентой:

$$p(T) = e^{-z}, \quad (1)$$

где z - функция, связанная с количеством событий n , моментами явлений t_i и периодом T . Функция z имеет вид

$$z = \left[\left(\sum_{i=1}^n \cos 2\pi t_i / T \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n \sin 2\pi t_i / T \right)^2 \right] / n. \quad (2)$$

При наличии периодичности наступления событий значения вероятностей должны приближаться к нулю. Иначе, при $p(T) \rightarrow 1$ возникновение явлений случайно. Иначе, при $p(T) \rightarrow 1$ события являются случайными. В спектрах мощности Рэлея, которые рассчитываются по датам высоких паводков за исторический период, выделяются пробные периоды 10, 38, 67 лет.

Оценка цикличности не всегда приводит к положительному результату. Часто последовательность рядов климатических событий является случайной. В таком случае для оценивания потока событий используют законы распределения вероятностей. Помимо этого, целесообразно распределять события по эпохам, привязываясь, например, к 11-летним циклам солнечной активности.

В работе [15] для выявления статистической структуры последовательностей климатических экстремумов высших и низших уровней предлагается использовать формулу экспоненциального распределения

$$p(0, \bar{n}) = e^{-\bar{n}}, \quad (3)$$

где \bar{n} – среднее число событий за время T .

Для разных значений скорости убывания функции $p(0, \bar{n})$ она имеет разный вид:

$$p(0, \bar{n}) = (1 + \bar{n})^{-1} \quad (4)$$

или

$$p(0, \bar{n}) = (1 + 0,5\bar{n})^{-2}. \quad (5)$$

Для оценки вероятности появления природных событий предлагается использовать функцию [4]

$$p(0, \bar{n}) = \left(1 - \frac{\bar{n}}{a} \right)^k, \quad (6)$$

где $p(\bar{n})$ – вероятность неоявления явления, a – среднее количество явлений, которое соответствует неперемемному его появлению ($p(\bar{n})=0$), k – показатель степени, который характеризует скорость убывания функции.

Примером использования формулы (6) является описание засухи на территории Иркутской области [5]. На основе эмпирических данных показано, что потоки этого экстремального явления характеризуются функцией с учетом периода обязательного появления события со значением $a=2$.

Для увеличения информации о событиях при коротких рядах наблюдений применим метод аналогии, широко используемый для восстановления гидрологических характеристик, основанный на свойстве синхронности многолетних колебаний в створах разных рек. Синхронность характеризуется коэффициентом парной корреляции между рядом значений характеристик предполагаемого аналога и всеми остальными рядами в рассматриваемых пунктах.

Метод аналогии применим для выбора оптимальных аналогов среди наблюдательных пунктов на определенной территории, что приносит значительный информационный эффект. Благодаря этому методу можно восстанавливать не только значения коротких рядов, но и годы проявления событий, что позволяет строить распределения потоков событий и оценивать их

цикличность. В работах [11, 12] приведены результаты восстановления минимальных зимних температур воздуха и максимальных расходов воды дождевых паводков на средних реках Ангарского бассейна.

3. *Физическая реконструкция данных с использованием геоинформационных систем.* ГИС можно использовать как механизм интеграции историко-архивных свидетельств и геопространственных данных для оценки охвата территорий экстремальными явлениями, в частности, паводками и половодьями. Во многих источниках исторического прошлого описывается влияние явления на окружающую среду и пространство распространения. Применение ГИС-технологий для решения подобного рода задач позволит дополнить методы реконструкции климатических событий.

В интеллектуальной системе моделирования климатических событий предусмотрен механизм интеграции с ГИС «Панорама» для моделирования зон затоплений (рис.2).

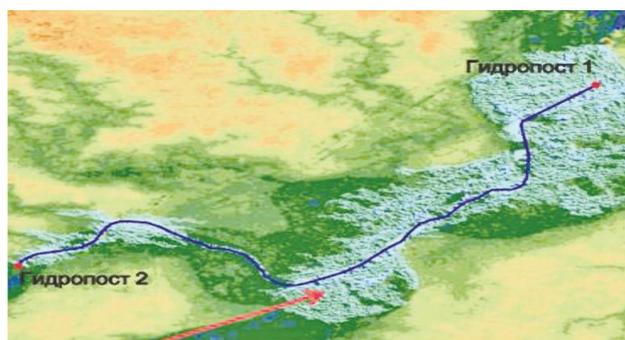


Рис.2. Моделирование зоны затопления

Fig. 2. Flood zone modeling

4. *Определение периода между двумя редкими событиями.* Интерес вызывает оценка интервала времени между такими редкими событиями, как сильная засуха, чрезвычайный подъем воды, необычные ливни, ураганы и другие явления [16]. Эта статистическая величина обозначает возможную эмпирическую повторяемость редкого события [13]. Значение периода между двумя близкими редкими событиями требуется для вычисления аналитической вероятности появления события и оценки рисков, связанных с его формированием.

В работе [17] на основе гипотезы стационарности гидрометеорологического процесса для оценки средних значений периода непревышения природного явления \bar{X} и коэффициента вариации C_v предложено использовать методом моментов:

$$\bar{X} = \left[X_N + (N-1) / m \sum_{i=1}^m X_i \right] / N \quad (7)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\left[\left(\frac{X_N}{\bar{X}} - 1 \right)^2 + \frac{N-2}{m-2} \sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{X_i}{\bar{X}} - 1 \right)^2 \right]}{N-1}}, \quad (8)$$

где m - период инструментального наблюдения регистрации ежегодных экстремальных явлений X_i . Приведенные формулы вошли в нормативный документ по определению расчетных гидрологических характеристик [25], по которых проектируются защитные сооружения [24]. В этой формуле используется период непревышения редкого гидрологического явления с учетом историко-архивных данных N .

Очевидно, что эта поправка влияет на результаты оценки повторяемости редкого явления. Полученное значение будет отличаться от результата оценки среднего и коэффициента вариации при использовании исключительно периода наблюдений m .

Например, для вероятностного описания и расчета метеорологических и гидрологических величин в интеллектуальной системе моделирования климатических событий реализованы законы распределения с учетом или без учета исторических свидетельств (рис.3).

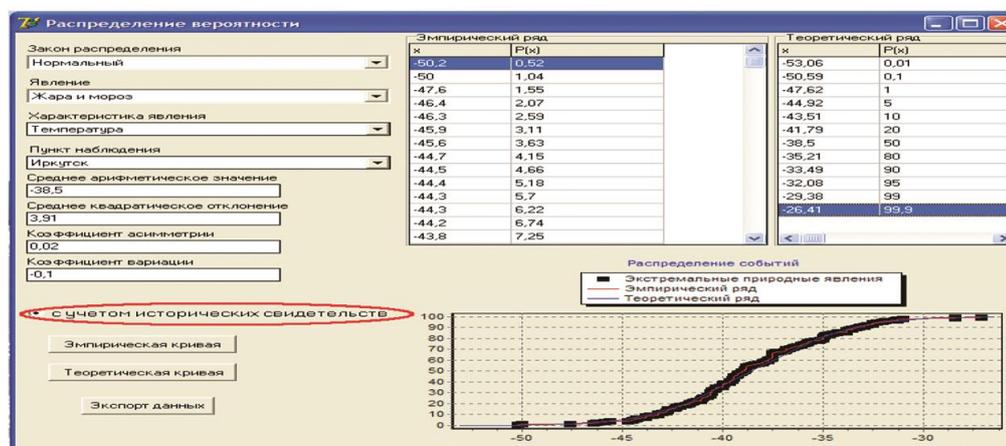


Рис.3. Определение законов распределения с учетом исторических свидетельств
Fig. 3. Defining distribution laws based on historical evidence

5. *Управление аграрным производством в условиях рисков.* В историко-архивных свидетельствах встречается описание ущербов, наносимых климатическими событиями населению региона. Эти данные характеризуют воздействие события на окружающую среду, что косвенно определяет его уровень среди других событий. Очевидно, что данные исторического прошлого об ущербах должны использоваться в качестве информации для сравнения с событиями, которые зарегистрированы в период наблюдений.

В работе [21] показано влияние климатических событий на производство сельскохозяйственной продукции. Для оптимизации аграрного производства в условиях рисков предложены модели математического программирования с неопределенными параметрами. Экстремальные климатические явления оказывают влияние на параметры математической модели. В частности, это касается цен на получаемую продукцию, урожайность сельскохозяйственную культур, трудозатраты, а также использование ресурсов сельскохозяйственного предприятия.

Рассмотрены ситуации, когда деятельность товаропроизводителя может быть полностью парализована. Примером такой ситуации является гидрологическое событие 2019 года, наблюдавшееся на реке Ия. Между тем часто имеют место случаи, когда хозяйство производит продукцию, но при этом терпит ущербы. При решении задач, связанных с производством сельскохозяйственной продукции в условиях рисков, имеет место ситуация влияния одного климатического события в течение года. Вместе с тем наблюдаются случаи формирования двух событий одного или разного происхождения за год.

Применение модели производства аграрной продукции в условиях формирования одного или двух климатических событий способствует минимизации ущербов за счет повышения эффективности управления. В подобных моделях для оценки некоторых параметров [1] используют экспертные оценки. К таким параметрам относятся: своевременность посева сельскохозяйственных культур; коэффициенты, характеризующие загрязнение и деградацию почв другие. Таким образом, проектируемая интеллектуальная информационная система содержит в базе знаний экспертные оценки, описывающие производство аграрной продукции в условиях природных и техногенных рисков.

Вывод. В работе описан проект интеллектуальной системы моделирования климатических явлений, которая включает в себя базу данных и знаний с функцией автоматического об-

новления, аналитический пакет, архив и справочник. Интеллектуальная информационная система на основе числовой и описательной информации позволяет решать следующие задачи:

- формирование последовательности лет событий;
- построение распределений потока событий и оценки цикличности колебаний;
- физическую реконструкцию данных с использованием геоинформационных систем;
- определение периода между двумя редкими событиями для оценки вероятности проявления и рисков;
- учет рисков в управлении аграрным производством.

Преимуществом такой системы является увеличение информации об экстремальных событиях и повышение эффективности управления за счет снижения рисков. В дальнейшем планируется создание и наполнение слотов подклассов, а также разработка правил продукций базы знаний для перевода исторических свидетельств о событиях в количественную информацию.

Библиографический список:

1. Asalkhanov P.G. Management of the agro-industrial enterprise: optimization, uncertainty, expert assessments / P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, Ya.M. Ivan'o // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019 (FarEastCon 2019), 1-4 October 2019.
2. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Экстремальные природные явления в русских летописях XI-XVII вв. [Текст] - Л.: Гидрометеоздат, 1983 г. 240 с.
3. Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы [Текст] - М.: Гидрометеоздат, 1986. - 159 с.
4. Vasil'ev V.I., Il'jasov B.G. "Intellectual control systems. The theory and practice": the manual // The radio engineering, Moscow: 2009, 392 p.
5. Вашукевич Е.В. Математические модели аграрного производства с вероятностными характеристиками засух и гидрологических событий / Е.В. Вашукевич, Я.М. Иванько. - Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012. - 150 с.
6. Дружинин, И.П. Динамика многолетних колебаний речного стока [Текст] / И.П. Дружинин, В.Р. Смага, А.Н. Шевнин. - М: Наука, 1991.- 176 с.
7. Dursun Delen, Ramesh Sharda, "Artificial Neural Networks in Decision Support Systems". In Handbook on Decision Support Systems 1. SpringerVerlag, 2008, pp 557-580
8. Иванько Я.М. Информация об экстремальных природных явлениях в управлении производственными объектами / Я.М. Иванько, Н.В. Старкова // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». - Иркутск. ИрГСХА. – 2010. – №39 – С.49-53.
9. Ivan'o Y.M. Model of formation of a database about the extreme phenomenon on the basis of the hydrometeorological and historical-archival information / Y.M. Ivan'o N.V. Starkova // The 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009). - Crete, Greece, 2009. - P. 187-191.
10. Иванько, Я.М. Моделирование природных событий для управления региональными народнохозяйственными объектами [Текст] / Я.М. Иванько, Н.В. Старкова. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2011. – 160 с.
11. Иванько Я.М. Экстремальные природные явления: методология, моделирование и прогнозирование [Текст] / Я.М. Иванько. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2007. -266 с.
12. Иванько Я.М. Экстремальные природные явления исторического прошлого на территории Иркутской области [Текст]. - Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1997. – 96с.
13. Калинин, Г.П. Расчет повторяемости гидрологических явлений на основе анализа их формирования / Г.П. Калинин, З.И. Дарман // Метеорология и гидрология. – 1953. - №1. – С. 46-50.
14. Klimentko A.V., Bobrjakov A.V., Zernov M.M. «The Basic classes of fuzzy models and kinds of knowledge used in them» // Magazine " Neurocomputers ", №8, 2011, PP. 10-17.
15. Кренке А.Н. Изменчивость климата Европы в историческом прошлом [Текст] /А.Н. Кренке, М.И. Чернавская, Р. Браздил и др. - Москва: Наука, 1995. – С.224.
16. Кремер, Л.К. Микроклиматические закономерности [Текст] / Л.К. Кремер // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. - Новосибирск: Наука, 1975. - С.71-108
17. Крицкий С.Н. Гидрологические основы управления речным стоком. /С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1981. - 255 с.
18. Курзаева Л. В. К вопросу об актуальности разработки базы знаний интеллектуальной системы поддержки управления требованиями к результатам обучения ИТ-специалистов // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-3. – С. 513-517
19. Мардиа, К. Статистический анализ угловых наблюдений / К. Мардиа. - М.: Наука, 1978. - 239 с.
20. L.V. Massel, A.G. Massel, "Technologies and tools for intelligent support of decision-making in extreme situations in energy", Computational Technologies, Vol. 18, No. S1, 2013, pp. 37-44.

21. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков. Монография /Я.М. Иваньо, С.А. Петрова. Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ, 2015. - 180 с.
22. Раунер, Ю.Л. Динамика экстремумов увлажнения за исторический период [Текст] / Ю.Л. Раунер. - Изв. АН СССР Сер. геогр. 1981. N 6. - С.5-22.
23. Смирнов С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования/ С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т.3. No1. –С. 62–70.
24. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления [Текст] /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 20 с.
25. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик [Текст] - М.: Стройиздат, 1985., – 36 с.
26. Старкова Н.В. Информация и база знаний об экстремальных природных явлениях / Н.В. Старкова // Труды XII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2007. -Ч. 3.- С.100-105.
27. Stylios, C. Knowledge based decision support system for flood risk assessment. / C. Stylios, V. Reppa, P. Groumpos// The 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009). Crete, Greece, 2009. P. 7-12.

References:

1. P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, and Ya.M. Ivanyo, “Management of the agro-industrial enterprise: optimization, uncertainty, expert assessments”, in International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019 (FarEastCon 2019), 1-4 October 2019.
2. E.P. Borisenkov and V.M. Pasetkiy. “Extreme natural phenomena in Russian chronicles of the XI-XVII centuries”. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 240 p [“Ekstremal'nyye prirodnyye yavleniya v russkikh letopisyakh XI-XVII vv.”, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 240 p(In Russ)].
3. M.I. Budyko, G.S. Golitsyn, and Yu.A. Israel, “Global Climate Disasters”, Moscow: Gidrometeoizdat, 1986, 159 p [“Global'nyye klimaticheskiye katastrofy”, Moscow, Gidrometeoizdat, 1986, 159 p] (In Russian).
4. V.I. Vasil'ev and B.G. Il'jasov, “Intellectual control systems. The theory and practice: the manual”, The radio engineering, Moscow: 2009, 392 p [“Intellektual'nyye sistemy upravleniya. Teoriya i praktika: uchebnoye posobiye”, Radiotekhnika, Moscow, 2009, 392 p.(In Russ)].
5. E.V. Vashukevich, and Y.M. Ivanyo, “Mathematical models of agricultural production with probabilistic characteristics of droughts and hydrological events”, Irkutsk: Publishing House of the Irkutsk State Agricultural Academy, 2012, 150 p [“Matematicheskiye modeli agrarnogo proizvodstva s veroyatnostnymi kharakteristikami zasukh i gidrologicheskikh sobytiy”, Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA, 2012, 150 p. (In Russ)].
6. I.P. Druzhinin, V.R. Smaga, and A.N. Chevnin, “Dynamics of long-term fluctuations of river flow”, Moscow: Nauka, 1991, 176 p [“Dinamika mnogoletnikh kolebaniy rechnogo stoka”, Moscow: Nauka, 1991, 176 p. (In Russ)].
7. D. Dursun and Sh. Ramesh, “Artificial Neural Networks in Decision Support Systems”, in Handbook on Decision Support Systems, SpringerVerlag, 2008, pp 557-580.
8. Ya.M. Ivanyo, “Information on extreme natural phenomena in the management of production facilities”, Scientific and practical journal “Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy”. Irkutsk: IRGSHA, 2010, №. 39, pp. 49-53 [“Informatsiya ob ekstremal'nykh prirodnykh yavleniyakh v upravlenii proizvodstvennymi ob'yektami”, Nauchno-prakticheskiy zhurnal “Vestnik IrGSKHA”, Irkutsk: IrGSKHA, 2010, № 39, pp. 49-53] (In Russian).
9. Ya.M. Ivanyo and N.V. Starkova, “Model of formation of a database about the extreme phenomenon on the basis of the hydrometeorological and historical-archival information”, in The 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009), Crete, Greece, 2009, pp. 187-191.
10. Ya.M. Ivanyo and N.V. Starkova, “Modeling of natural events for the management of regional national economic objects”, Irkutsk: Publishing House of the Irkutsk State Agricultural Academy, 2011, 160 p [“Modelirovaniye prirodnykh sobytiy dlya upravleniya regional'nymi narodno-khozyaystvennymi ob'yektami”, Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA, 2011, 160 p. (In Russ)].
11. Ya.M. Ivanyo, “Extreme natural phenomena: methodology, modeling and forecasting”, Irkutsk: Publishing House of the Irkutsk State Agricultural Academy, 2007, 266 p [“Ekstremal'nyye prirodnyye yavleniya: metodologiya, modelirovaniye i prognozirovaniye”, Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA, 2007, 266 p. (In Russ.)].
12. Ya.M. Ivanyo, “Extreme natural phenomena of the historical past in the territory of the Irkutsk region”, Irkutsk: Publishing house Irkut. University, 1997, 96 p [“Ekstremal'nyye prirodnyye yavleniya istoricheskogo proshlogo na territorii Irkutskoy oblasti”, Irkutsk: Izd-vo Irkut. un-ta, 1997, 96 p. (In Russ)].
13. G.P. Kalinin and Z.I. Darman, “The calculation of the frequency of hydrological phenomena based on the analysis of their formation”, Meteorology and Hydrology, 1953, № 1, pp. 46-50 [“Raschet povtoryayemosti gidrologicheskikh yavleniy na osnove analiza ikh formirovaniya”, Meteorologiya i gidrologiya, 1953, № 1, pp. 46-50. (In Russ)].
14. A.V. Klimenko, A.V. Bobryakov, and M.M. Zernov, “The Basic classes of fuzzy models and kinds of knowledge used in them”, Magazine "Neurocomputers", № 8, 2011, pp. 10-17 [“Osnovnyye klassy nechetkikh modeley i ispol'zuyemye v nikh vidy znaniy”, Zhurnal «Neurokomp'yutery», № 8, 2011, pp. 10-17.(In Russ)].

15. A.N. Krenke, M.I. Chernavskaya, and R. Brezdil, "European climate variability in the historical past", Moscow: Nauka, 1995, 224 p ["Izmenchivost' klimata Yevropy v istoricheskom proshlom", Moskva, Nauka, 1995, 224 p. (In Russ)].

16. L.K. Kremer, "Microclimatic laws", Natural regimes and topographic systems of the Angara taiga, Novosibirsk: Nauka, 1975, pp. 71-108 [Prirodnyye rezhimy i topogeosistemy Priangarskoy taygi. - Novosibirsk: Nauka, 1975, pp. 71-108. (In Russ)].

17. S.N. Kritsky, M.F. Menkel, "Hydrological basics of river flow management", Moscow: Nauka, 1981, 255 p ["Gidrologicheskiye osnovy upravleniya rechnym stokom", Moscow: Nauka, 1981, 255 p] (In Russian).

18. L.V. Kurzaeva, "On the relevance of developing a knowledge base of an intellectual system for supporting the management of requirements for the learning outcomes of IT specialists", Basic Research, 2016, №. 12-3, pp. 513-517 ["K voprosu ob aktual'nosti razrabotki bazy znaniy intellektual'noy sistemy podderzhki upravleniya trebovaniyami k rezul'tatam obucheniya IT-spetsialistov", Fundamental'nyye issledovaniya, 2016, №. 12-3, pp. 513-517. (In Russ)].

19. K. Mardia, "Statistical analysis of angular observations", Moscow: Nauka, 1978, 239 p ["Statisticheskiy analiz uglovykh nablyudeniye", Moscow: Nauka, 1978, 239 p. (In Russ)].

20. L.V. Massel, A.G. Massel, "Technologies and tools for intelligent support of decision-making in extreme situations in energy", Computational Technologies, Vol. 18, №. S1, 2013, pp. 37-44.

21. Ya.M. Ivanyo and S.A. Petrova, "Optimization models of agricultural production in solving the problems of assessing natural and technological risks. Monograph", Irkutsk: Publishing house of the Irkutsk State Agrarian University, 2015, 180 p ["Optimizatsionnyye modeli agrarnogo proizvodstva v reshenii zadach otsenki prirodnykh i tekhnogennykh riskov. Monografiya", Irkutsk: Izd-vo Irkutskogo GAU, 2015, 180 p] (In Russian).

22. Yu.L. Rauner, "The dynamics of the extremes of humidification over the historical period", Izv. USSR Academy of Sciences Ser. geogr. 1981, № 6, pp. 5-22 ["Dinamika ekstremumov uvlazhneniya za istoricheskiy period", Izv. AN SSSR Ser. geogr. 1981, № 6, pp. 5-22. (In Russ)].

23. S.V. Smirnov, "Ontological analysis of subject areas of modeling", Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2001, vol. 3, № 1, pp. 62-70 ["Ontologicheskiy analiz predmetnykh oblastey modelirovaniya/ S.V. Smirnov", Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 2001, vol. 3, № 1, pp. 62-70] (In Russ)].

24. "SNiP 2.01.14-83. Determination of calculated hydrological characteristics", Moscow: Stroyizdat, 1985, 36 p ["SNiP 2.01.14-83. Opredeleniye raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik", Moscow: Stroyizdat, 1985, 36 p] (In Russ)].

25. "SNiP 2.06.15-85. Engineering protection of the territory from flooding and flooding", Gosstroy of the USSR, Moscow: TsITP Gosstroy of the USSR, 1986, 20 p ["SNiP 2.06.15-85. Inzhenernaya zashchita territorii ot zatopleniya i podtopleniya", Gosstroy SSSR, Moscow: TSITP Gosstroya SSSR, 1986. 20 p. (In Russ)].

26. N.V. Starkova, "Information and knowledge base about extreme natural phenomena", Proceedings of the XII Baikal All-Russian Conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management", Irkutsk: ISEM SB RAS, 2007, № 3, pp. 100-105 ["Informatsiya i baza znaniy ob ekstremal'nykh prirodnykh yavleniyakh, Trudy XII Baikal'skoy Vserossiyskoy konferentsii "Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii", Irkutsk, ISEM SO RAN, 2007, № 3, pp. 100-105 (In Russ)].

27. C. Stylios, V. Reppa, and P. Groumpos, "Knowledge based decision support system for flood risk assessment", in The 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009), Crete, Greece, 2009, pp. 7-12.

Сведения об авторах:

Асальханов Петр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра информатики и математического моделирования; e-mail: asalkhanov@mail.ru

Бендик Надежда Владимировна, кандидат технических наук, доцент, кафедра информатики и математического моделирования; e-mail: starkovan@list.r

Иваньо Ярослав Михайлович, доктор технических наук, профессор, кафедра информатики и математического моделирования; e-mail: iymex@rambler.ru

Information about authors:

Peter G. Asalkhanov, Cand. Sci. (Technical), Ass. Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling; e-mail: asalkhanov@mail.ru

Nadezhda V. Bendik, Cand. Sci. (Technical), Ass. Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling; e-mail: starkovan@list.r

Yaroslav M. Ivan'ov, Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling. e-mail: iymex@rambler.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.05.2020.

Принята в печать 18.06.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.05.2020.

Accepted for publication 18.06.2020.

Для цитирования: Ю.М. Баркалов, И.Г. Дровникова, А.М. Каднова, Е.С. Овчинникова, Е.А. Rogozin. Анализ архитектуры и особенностей функционирования автоматизированных систем органов внутренних дел в защищенном исполнении. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 40-51. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-40-51

For citation: Yu. M. Barkalov, I. G. Drovnikova, A. M. Kadnova, E. S. Ovchinnikova, E. A. Rogozin. Analysis of the architecture and functions of protected automated systems installed at internal affairs facilities. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 40-51. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-40-51

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

УДК 004.056

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-40-51

**АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРЫ И ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ
В ЗАЩИЩЕННОМ ИСПОЛНЕНИИ**

Ю.М. Баркалов, И.Г. Дровникова, А.М. Каднова, Е.С. Овчинникова, Е.А. Rogozin
Воронежский институт Министерства внутренних дел России,
394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. Одной из ключевых задач теории и практики защиты информации является анализ процесса функционирования защищенных автоматизированных систем при их эксплуатации на объектах информатизации органов внутренних дел. С целью идентификации потенциальных угроз конфиденциальному информационному ресурсу и их источников, оценки опасности реализации угроз и формирования на этой основе перечня актуальных угроз и их модели для конкретной автоматизированной системы на объекте информатизации органа внутренних дел необходимо проанализировать состав и архитектуру автоматизированных систем, выявить ключевые особенности их функционирования в защищенном исполнении на объектах информатизации органов внутренних дел, определить уязвимости программно-аппаратного обеспечения систем. **Метод.** Методом решения данной задачи является всесторонний анализ процесса функционирования защищенных автоматизированных систем при их эксплуатации на объектах информатизации органов внутренних дел. **Результат.** На основе анализа нормативно-методической и научной литературы, посвященной защите информации в автоматизированных системах, ведомственной документации МВД России, регламентирующей требования по защите информации на объектах информатизации органов внутренних дел, определены типовые структура и архитектура защищенной автоматизированной системы органов внутренних дел, выявлены потенциальные каналы реализации угроз, имеющих определяющее значение для ее функционирования, — сетевых атак. По результатам опроса экспертов в области обеспечения информационной безопасности проведены анализ, классификация и систематизация уязвимостей компонентов и программного обеспечения автоматизированной системы на объекте информатизации органов внутренних дел с точки зрения реализации сетевых атак. **Вывод.** Результаты проведенного исследования могут быть использованы в процессе проектирования и эксплуатации средств и систем информационной безопасности на объектах информатизации ОВД в целях повышения их защищенности.

Ключевые слова: автоматизированная система, уязвимость, угроза, несанкционированный доступ, сетевая атака, защита информации

ANALYSIS OF THE ARCHITECTURE AND FUNCTIONS OF PROTECTED AUTOMATED SYSTEMS INSTALLED AT INTERNAL AFFAIRS FACILITIES

Yu. M. Barkalov, I.G. Drovnikova, A.M. Kadnova, E.S. Ovchinnikova, E.A. Rogozin
Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
53 Patriotov St., Voronezh 394065, Russia

Abstract: Aim. One of the key objectives of the theory and practice of information security is to analyse the functioning of protected automated systems, particularly those operated at computerized facilities of internal affairs bodies. In order to identify potential threats to resources of confidential information, to assess the risk of threat implementation, as well as to form a list of potential threats to automated systems installed at computerized facilities of internal affairs bodies, it is necessary to analyse the composition and architecture of automated systems, identify the features of their protected functioning and determine the vulnerability of software and hardware systems. **Methods.** A comprehensive analysis of the functioning of protected automated systems during their operation at computerized facilities of internal affairs bodies was conducted. **Results.** Following an analysis of normative documentation and research publications in the field of protecting information in automated systems, departmental records of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, regulations for the protection of information at computerized facilities of internal affairs bodies, the structure and architecture of a protected automated system were defined. Potential threats to the functioning of such a system, including cyber attacks, were identified. On the basis of a survey among experts in the field of information security, the vulnerability (in term of cyber attacks) of the software components of an automated system installed at computerized facilities of internal affairs bodies was analysed. **Conclusion.** The results can be used in the process of designing and operating information security tools and systems installed at computerized facilities of internal affairs bodies for the purpose of improving their security.

Keywords: automated system, vulnerability, threat, unauthorized access, cyber attack, information protection

Введение. Для повышения производительности и оперативности выполняемых работ в сфере информационных технологий (ИТ) на объектах информатизации органов внутренних дел (ОВД) в настоящее время функционируют автоматизированные системы (АС) ОВД — системы, состоящие из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующие ИТ выполнения установленных функций [1]. АС ОВД представляют собой сложные по структуре системы критического применения, выход из строя которых ведет к значительным информационным и финансовым потерям [2-4]. Функционирование данных систем осуществляется с учетом решения множества актуальных задач по обеспечению их информационной безопасности (ИБ), сводящихся к трем основным группам: предотвращение и пресечение нарушений целостности, предотвращение и пресечение нарушений доступности, предотвращение и пресечение нарушений конфиденциальности информации в АС ОВД [5-7].

Необходимость решения указанных задач связана с обнаружением внештатных ситуаций в режиме функционирования АС ОВД в защищенном исполнении, причинами которых могут быть ошибки, возникающие в процессе проектирования, эксплуатации, администрирования, в случаях сбоях технических и программных средств, в связи с нарушением режима доступа на объект информатизации ОВД, при недостаточной квалификации пользователей - сотрудников различных подразделений [8]. Это приводит к увеличению вероятности нарушения ИБ АС ОВД, что способствует облегчению получения злоумышленниками информации конфиденциального характера. Поэтому исследования в данной области приобретают чрезвычайную важность и актуальность для объектов информатизации ОВД.

Постановка задачи. В процессе эксплуатации современных АС ОВД существенное внимание уделяется, как защите от преднамеренного воздействия на информацию штатных пользо-

вателей, так и защите технологической информации, от которой в полной мере зависит устойчивое функционирование прикладного программного обеспечения (ПО) или самой системы по ее прямому функциональному назначению (обработка, хранение и передача конфиденциальной информации) [9].

Нарушения целостности, доступности и конфиденциальности информации в АС ОВД возникают в результате реализации угроз безопасности информации, под которыми в [5, 10] понимается совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность утечки, хищения, утраты, уничтожения, искажения, модификации, подделки, копирования, блокирования информации и несанкционированного доступа (НСД) к ней.

В приказе МВД России от 14.03.2012 № 169 «Об утверждении Концепции обеспечения информационной безопасности органов внутренних дел Российской Федерации до 2020 года» среди основных направлений ее обеспечения указываются: разработка новых и совершенствование существующих способов, методов и средств выявления, оценки, прогнозирования, нейтрализации и ликвидации угроз безопасности информации на объектах информатизации ОВД; проведение оценки уязвимости и рисков информации при имеющемся множестве угроз и каналов утечки. Излагаемый в Концепции комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение ИБ ОВД, включает в себя разработку модели угроз информационно-телекоммуникационных систем ОВД [5].

Таким образом, анализ состава и архитектуры АС ОВД, выделение ключевых особенностей их функционирования в защищенном исполнении, выявление уязвимостей программно-аппаратного обеспечения, идентификация возможных угроз информационному ресурсу и их источников, оценивание опасности реализации угроз позволят сформировать перечень актуальных угроз и разработать их модель для данной АС ОВД [11-13].

Указанные этапы, в полной мере согласующиеся с требованиями системного подхода к анализу угроз безопасности информации в АС, изложенными в [9, 14, 15], позволят не только выявить основные направления ЗИ в АС ОВД, повысить обоснованность принятия решений по защите информации (ЗИ), но и раскрыть дальнейшие перспективы формализации и оперативного управления процессами ЗИ, разработки АС поддержки принятия решений по ЗИ на объектах информатизации ОВД и т.д.

Методы исследования. Типовая структура защищенной АС ОВД в виде сложной иерархической разветвленной информационно-телекоммуникационной сети представлена на рис. 1 [16, 17].

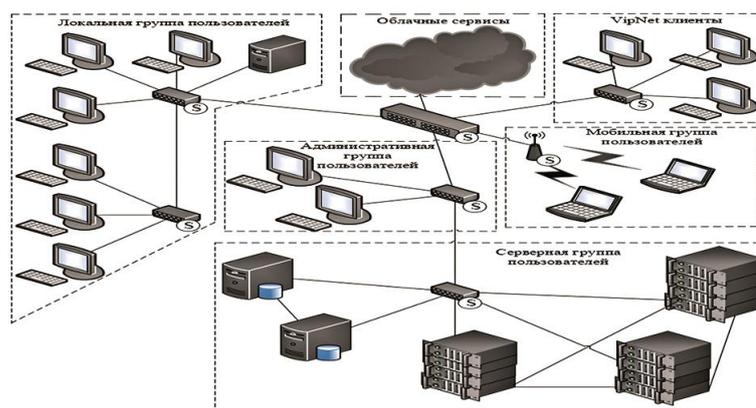


Рис.1. Типовая структура защищенной АС ОВД
Fig. 1 Typical structure of a protected ATS AS

Одной из важнейших характеристик АС ОВД, как и любой информационно-телекоммуникационной системы, является базовая сетевая технология, лежащая в основе ее построения, совокупность (стек) протоколов межсетевого взаимодействия, структура сети, состав и размещение коммуникационных элементов.

Функционирование большинства защищенных АС ОВД осуществляется с учетом исполь-

зования в них технологии межсетевого взаимодействия, реализованной в Internet, и четырех-уровневого стека протоколов TCP/IP, популярность которого для АС ОВД обусловлена рядом его свойств [18].

В то же время открытость и масштабируемость TCP/IP порождает его плохую управляемость. Основным недостатком протокола является его недостаточная защищенность от подделки и прослушивания пакетов, что делает возможной реализацию злоумышленниками деструктивных действий в отношении АС на объектах информатизации ОВД.

Соответствие уровней стека протоколов TCP/IP уровням модели OSI (семиуровневой эталонной коммуникационной модели «Взаимодействие открытых систем» (Open System Interconnection), в России в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99 [19] ее называют ЭМВОС («Эталонная модель взаимодействия открытых систем») с распределением некоторых основных протоколов межсетевого взаимодействия по уровням показано на рис.2.

Процесс функционирования защищенных АС ОВД основан, как правило, на использовании клиент-серверной архитектуры взаимодействия, построенного по технологии «Тонкий клиент» в сети Ethernet.

Проведенный теоретический анализ [17, 20, 21] позволил определить ключевые особенности функционирования АС ОВД в защищенном исполнении, которые представлены в [8]. Из всего комплекса угроз безопасности информации по способу их реализации в АС ОВД особо выделяются угрозы, связанные с НСД, под которым согласно [22] следует понимать доступ к служебной информации, нарушающий правила разграничения доступа с использованием штатных средств, предоставляемых средствами вычислительной техники или АС.

7	WWW, Gopher, WAIS	SNMP	FTP	Telnet	TFTP	SMTP	I–прикладной applied
6							
5	TCP			UDP			II –транспортный transport
4							
3	IP	ICMP	RIP	OSPF		ARP	III–сетевой network
2	не регламентируется: Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, PPP, FDDI, X.25, SLIP, frame relay ...						IV–канальный channel
1							
Уровни модели OSI OSI Model Layers	Протоколы Protocols						Уровни стека TCP/IP stack levels

Рис. 2. Соответствие уровней стека протоколов TCP/IP и модели OSI
Fig. 2. Correspondence between the layers of the TCP / IP protocol stack and the OSI model

При рассмотрении вопроса функционирования АС ОВД в защищенном исполнении определяющее значение имеют информационные угрозы НСД, которые реализуются через удаленное взаимодействие с объектом воздействия (сетевые атаки) [9, 15, 18].

Согласно [18] под сетевой (удаленной) атакой на АС ОВД будем понимать действие или совокупность действий, направленных на реализацию угрозы удаленного (с использованием протоколов сетевого взаимодействия) доступа к технологической информации или информации пользователя в компьютерной сети.

Причины успеха сетевых атак кроются в наличии уязвимостей АС ОВД, под которыми в [10] понимаются свойства АС, обуславливающие возможность реализации угроз безопасности обрабатываемой в ней информации, то есть некие характеристики системы, делающие возможным существование данных атак. Поэтому создание таксономии уязвимостей представляется весьма важной задачей, решение которой позволит выработать принципы построения

защищенного взаимодействия в АС на объектах информатизации ОВД.

Обсуждение результатов. На рис. 3 приведены типовая аппаратура и потенциальные каналы реализации сетевых атак в АС на объекте информатизации ОВД, построенные на основе анализа открытой научно-технической литературы по проблеме ИБ АС ОВД [8, 16, 17, 23, 24].

В соответствии с рис. 3 в табл.1 представлены результаты анализа, классификации и систематизации уязвимостей компонентов и ПО АС на объектах информатизации ОВД с точки зрения реализации сетевых атак, полученные по итогам опроса экспертов в области обеспечения ИБ.

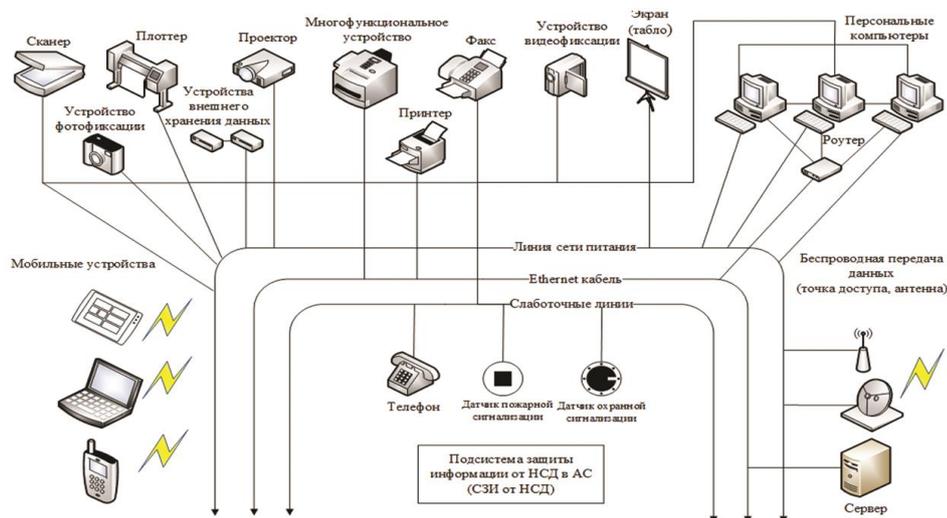


Рис.3. Типовая аппаратура и потенциальные каналы реализации сетевых атак в АС ОВД
Fig. 3. Typical equipment and potential channels for implementing network attacks in the ATS AS

Таблица 1. Звенья АС на объекте информатизации ОВД и соответствующие им уязвимости
Table 1. NPP links at the ATS informatization facility and the corresponding vulnerabilities

№ п/п	Звенья АС ОВД ATS links	Вид уязвимост Vulnerability type	Способ реализации уязвимости Method of vulnerability implementation
1	Мобильные Устройства Mobile devices	<ol style="list-style-type: none"> 1. Получение удаленного управления над устройством. 2. Перехват передаваемой информации. 3. Блокирование работы. 4. Получение обрабатываемой информации. 5. Соккрытие обрабатываемой и передаваемой информации от легитимного пользователя 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заражение мобильного устройства вредоносным ПО. 2. Получение физического доступа к устройству. 3. Перехват передаваемой информации по беспроводным линиям связи
2	Сканер Scanner	<ol style="list-style-type: none"> 1. Незаконное копирование информации пользователем. 2. Перехват передаваемой информации от устройства сканирования до устройства хранения 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создание нелегитимных копий пользователем или злоумышленником. 2. Незаконное подключение к линиям передачи информации от устройства сканирования до устройства хранения
3	Устройство фотофиксации Device photofixation	<ol style="list-style-type: none"> 1. Незаконное изготовление изображений пользователем. 2. Перехват передаваемой информации от устройства фотофиксации до устройства хранения. 3. Незаконное получение информации из памяти устройства фотофиксации 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создание нелегитимных изображений пользователем или злоумышленником. 2. Незаконное подключение к линиям передачи информации от устройства фотофиксации до устройства хранения. 3. Получение физического доступа к устройству фотофиксации

№ п/п	Звенья АС ОВД АТС links	Вид уязвимост Vulnerability type	Способ реализации уязвимости Method of vulnerability implementation
4	Плоттер Plotter	1. Незаконное использование плоттера для создания нелегитимных копий пользователем. 2. Незаконное копирование выводимой плоттером информации. 3. Перехват передаваемой информации от устройства обработки и хранения до плоттера 1. Illegal use of a plotter to create illegitimate copies by the user. 2. Illegal copying of information output by the plotter. 3. Interception of transmitted information from the processing and storage device to the plotter	1. Создание нелегитимных копий пользователем. 2. Получение физического доступа к устройству. 3. Незаконное подключение к линиям передачи информации от устройства обработки и хранения до плоттера. 1. Creation of illegitimate copies by the user. 2. Obtaining physical access to the device. 3. Illegal connection to information transmission lines from the processing and storage device to the plotter.
5	Устройства внешнего хранения данных External storage devices	1. Перехват передаваемой информации от устройств обработки и хранения до устройств внешнего хранения данных 2. Кража устройств внешнего хранения данных или используемых в них машинных носителей информации. 3. Незаконное копирование информации, хранимой на устройствах внешнего хранения данных 1. Interception of transmitted information from processing and storage devices to external data storage devices 2. Theft of external storage devices or the machine media used in them. 3. Illegal copying of information stored on external storage devices	1. Незаконное подключение к линиям передачи информации от устройств обработки и хранения до устройств внешнего хранения данных с целью перехвата передаваемой информации. 2. Получение физического доступа к устройству. 3. Незаконное непосредственное подключение к устройствам внешнего хранения данных. 4. Незаконное подключение к устройствам внешнего хранения данных через линии передачи информации 1. Illegal connection to information transmission lines from processing and storage devices to external data storage devices in order to intercept transmitted information 2. Obtaining physical access to the device. 3. Illegal direct connection to external storage devices. 4. Illegal connection to external data storage devices through data transmission lines
6	Проектор Projector	1. Незаконное получение визуальной информации, проецируемой на экран. 2. Незаконный перехват информации за счет утечек по каналам побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН) (кабель передачи данных от устройства генерации сигнала до проектора) 1. Illegal receipt of visual information projected on the screen. 2. Illegal interception of information due to leaks through the channels of incidental electromagnetic radiation and interference (PEMIN) (data transmission cable from the signal generating device to the projector)	1. Проникновение в помещение, где установлен проектор. 2. Установка аппаратной закладки для получения аудио- и визуальной информации в помещении, где установлен проектор. 3. Получение удалённого визуального доступа в помещение, где установлен проектор. 4. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации 1. Penetration into the room where the projector is installed. 2. Installation of a hardware bookmark for receiving audio and visual information in the room where the projector is installed. 3. Obtaining remote visual access to the room where the projector is installed. 4. Placement of equipment for receiving PEGIN in the area providing this information
7	Многофункциональное устройство Multifunction device	1. Незаконное копирование информации пользователем. 2. Перехват передаваемой информации от устройства сканирования до устройства хранения. 3. Незаконное использование многофункционального устройства для создания нелегитимных копий пользователем. 4. Незаконное копирование выводимой многофункциональным устройством информации. 5. Перехват передаваемой информации от устройства обработки и хранения до многофункционального устройства 1. Illegal copying of information by the user. 2. Interception of transmitted information from the scanning device to the storage device. 3. Illegal use of a multifunctional device to create illegitimate copies by the user. 4. Illegal copying of information displayed by a multifunctional device. 5. Interception of transmitted information from a processing and storage device to a multifunctional device	1. Создание нелегитимных копий пользователем или злоумышленником. 2. Незаконное подключение к линиям передачи информации от устройства сканирования до устройства хранения. 3. Создание нелегитимных копий пользователем. 4. Получение физического доступа к устройству. 5. Незаконное подключение к линиям передачи информации от устройства обработки и хранения до многофункционального устройства 1. Creation of illegitimate copies by a user or an attacker. 2. Illegal connection to data transmission lines from the scanning device to the storage device. 3. Creation of illegitimate copies by the user. 4. Obtaining physical access to the device. 5. Illegal connection to information transmission lines from a processing and storage device to a multifunctional device
8	Принтер Printer	1. Незаконное использование принтера для создания нелегитимных копий пользователем. 2. Незаконное копирование выводимой принтером информации. 3. Перехват передаваемой информации от устройства обработки и хранения до принтера 1. Illegal use of the printer to create illegitimate copies by the user. 2. Illegal copying of information output by the printer.	1. Создание нелегитимных копий пользователем. 2. Получение физического доступа к устройству. 3. Незаконное подключение к линиям передачи информации от устройства обработки и хранения до принтера. 1. Creation of illegitimate copies by the user. 2. Obtaining physical access to the device. 3. Illegal connection to information transmission lines from the processing and storage device to the printer

№ п/п	Звенья АС ОВД АТС links	Вид уязвимость Vulnerability type	Способ реализации уязвимости Method of vulnerability implementation
		3. Interception of transmitted information from the processing and storage device to the printer	
9	Факс Fax	1. Незаконное копирование информации пользователем. 2. Перехват передаваемой факсимильной информации 1. Illegal copying of information by the user. 2. Interception of transmitted facsimile information	1. Копирование передаваемой информации (принятые или отправляемые факсимильные сообщения) пользователем. 2. Получение физического доступа к устройству. 3. Незаконное подключение к телефонным линиям передачи информации от факсимильного устройства 1. Copying of transmitted information (received or sent fax messages) by the user. 2. Obtaining physical access to the device. 3. Illegal connection to telephone lines of information transmission from a facsimile device
10	Устройство видеозаписи Device video recording	1. Незаконное изготовление видеозаписей пользователем. 2. Перехват передаваемой информации от устройства видеозаписи до устройства хранения. 3. Незаконное получение информации из памяти устройства видеозаписи 1. Illegal production of video images by the user. 2. Interception of transmitted information from a video recording device to a storage device. 3. Illegal obtaining of information from the memory of the video recording device	1. Создание нелегитимных видеозаписей пользователем или злоумышленником. 2. Незаконное подключение к линиям передачи информации от устройства сканирования до устройства хранения. 3. Получение физического доступа к устройству 1. Creation of illegitimate video images by a user or an intruder. 2. Illegal connection to data transmission lines from the scanning device to the storage device. 3. Getting physical access to the device
11	Экран (табло) Screen scoreboard	1. Незаконное получение визуальной информации, проецируемой на экран. 2. Незаконный перехват информации за счёт утечек по каналам ПЭМИН (кабель передачи данных от устройства генерации сигнала до экрана). 1. Illegal receipt of visual information projected on the screen. 2. Illegal interception of information due to leaks through PEMIN channels (data transmission cable from the signal generating device to the screen)	1. Проникновение в помещение, где установлен проектор. 2. Установка аппаратной закладки для получения аудио и визуальной информации в помещении, где установлен проектор. 3. Получение удалённого визуального доступа в помещение, где установлен проектор. 4. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации 1. Penetration into the room where the projector is installed. 2. Installation of a hardware bookmark for receiving audio and visual information in the room where the projector is installed. 3. Obtaining remote visual access to the room where the projector is installed. 4. Placement of equipment for receiving PEMIN in the area providing this information
12	Персональные компьютеры Personal computers	1. Незаконное получение удаленного управления над персональным компьютером. 2. Перехват передаваемой информации. 3. Блокирование работы. 4. Незаконное получение обрабатываемой информации. 5. Незаконное получение хранимой информации. 6. Сокрытие обрабатываемой и передаваемой информации от легитимного пользователя. 7. Незаконная модификация информации. 8. Незаконный перехват информации за счет утечек по каналам ПЭМИН (кабель передачи данных от устройства генерации сигнала до проектора). 9. Работа от имени легитимного пользователя. 10. Уничтожение машинного носителя информации 1. Illegal obtaining of remote control over a personal computer. 2. Interception of transmitted information. 3. Blocking work. 4. Illegal receipt of processed information. 5. Illegal receipt of stored information. 6. Concealment of processed and transmitted information from a legitimate user. 7. Illegal modification of information. 8. Illegal interception of information due to leaks through PEMIN channels (data transmission cable from the signal generating device to the projector). 9. Work on behalf of a legitimate user. 10. Destruction of machine information carrier	1. Заражение персонального компьютера вредоносным ПО. 2. Получение физического доступа к устройству. 3. Перехват передаваемой информации по каналам связи. 4. Нелегитимная установка и применение пользователем ПО, не являющегося вредоносным, но позволяющим осуществлять действия по модификации информации (шифрование, удаление), сбору и передаче информации или удалённому управлению. 5. Подключение внешних устройств с целью незаконного копирования информации пользователем или злоумышленником. 6. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации. 7. Физическое или механическое воздействие на машинный носитель информации. 8. Кража персонального компьютера или носителя информации. 1. Infection of a personal computer with malware. 2. Obtaining physical access to the device. 3. Interception of transmitted information through communication channels. 4. Illegal installation and use by the user of software that is not malicious, but allows actions to modify information (encryption, deletion), collect and transfer information or remote control. 5. Connection of external devices for the purpose of illegal copying of information by a user or an intruder. 6. Placement of equipment for receiving PEMIN in the area providing this information. 7. Physical or mechanical impact on the machine data carrier. 8. Theft of a personal computer or data carrier
13	Роутер Router	1. Подключение к роутеру. 2. Блокирование роутера. 3. Перехват информации, передаваемой через	1. Подбор учетных данных (логин, пароль) к роутеру. 2. Заражение роутера вредоносным ПО. 3. Использование программных или программно-

№ п/п	Звенья АС ОВД АТС links	Вид уязвимост Vulnerability type	Способ реализации уязвимости Method of vulnerability implementation
		роутер 1. Connecting to a router. 2. Blocking the router. 3. Interception of information transmitted through the router	аппаратных устройств для перехвата и анализа трафика (снифферов), подключённых к линиям передачи информации роутера. 4. Физический доступ к устройству 1. Selection of credentials (login, password) for the router. 2. Infection of the router with malware. 3. The use of software or hardware-software devices for intercepting and analyzing traffic (sniffers) connected to the router's information transmission lines. 4. Physical access to the device
14	Беспроводная передача данных (точка доступа, антенна) Wireless data transmission (access point, antenna)	1. Беспроводная передача данных на фиксированных частотах по стандартным алгоритмам. 2. Отсутствие или слабое шифрование передаваемых пакетов 1. Wireless transmission of data at fixed frequencies using standard algorithms. 2. Absence or weak encryption of transmitted packets	1. Перехват передаваемых пакетов. 2. Дешифрация передаваемых пакетов 1. Interception of transmitted packets. 2. Decryption of transmitted packets
15	Сервер Server	1. Незаконное получение удаленного управления над сервером. 2. Перехват передаваемой информации. 3. Блокирование работы. 4. Незаконное получение обрабатываемой информации. 5. Незаконное получение хранимой информации. 6. Соккрытие обрабатываемой и передаваемой информации от легитимного пользователя. 7. Незаконная модификация информации. 8. Незаконный перехват информации за счёт утечек по каналам ПЭМИН (кабель передачи данных от устройства генерации сигнала до проектора). 9. Работа от имени легитимного пользователя. 10. Уничтожение машинного носителя информации 1. Illegal obtaining of remote control over the server. 2. Interception of transmitted information. 3. Blocking work. 4. Illegal receipt of processed information. 5. Illegal receipt of stored information. 6. Concealment of processed and transmitted information from a legitimate user. 7. Illegal modification of information. 8. Illegal interception of information due to leaks through PEMIN channels (data transmission cable from the signal generating device to the projector). 9. Work on behalf of a legitimate user. 10. Destruction of machine information carrier	1. Заражение сервера вредоносным программным обеспечением. 2. Получение физического доступа к устройству. 3. Перехват передаваемой информации по каналам связи. 4. Нелегитимная установка и применение пользователем ПО, не являющегося вредоносным, но позволяющим осуществлять действия по модификации информации (шифрование, удаление), сбору и передаче информации или удалённому управлению. 5. Подключение внешних устройств с целью незаконного копирования информации пользователем или злоумышленником. 6. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации. 7. Физическое или механическое воздействие на машинный носитель информации. 8. Кража сервера или носителей информации 1. Server infection with malicious software. 2. Obtaining physical access to the device. 3. Interception of transmitted information through communication channels. 4. Illegal installation and use by the user of software that is not malicious, but allows actions to modify information (encryption, deletion), collect and transfer information or remote control. 5. Connection of external devices for the purpose of illegal copying of information by a user or an intruder. 6. Placement of equipment for receiving PEMIN in the area providing this information. 7. Physical or mechanical impact on the machine data carrier. 8. Theft of the server or media
16	Телефон Telephone	1. Незаконное получение речевой информации 1. Illegal receipt of speech information	1. Незаконное подключение к каналам связи. 2. Установка аппаратной закладки для получения речевой информации 1. Illegal connection to communication channels. 2. Installation of a hardware bookmark for receiving speech information
17	Датчик пожарной сигнализации Fire alarm sensor	1. Линия передачи информации за счёт утечек по каналам ПЭМИН. 2. Может использоваться в качестве маскирующего устройства при установке в нём камеры или микрофона либо усилителя радиосигналов. 1. Linear information transmission due to leaks through PEMIN channels. 2. Can be used as a masking device when installing a camera or microphone or amplifier of radio signals in it	1. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации, или непосредственное подключение к линиям обслуживания датчика. 2. Физический доступ. 3. Установка в датчик камеры или микрофона при производстве устройства или после его установки. 4. Установка в датчик усилителя радиосигналов при производстве устройства. 1. Placement of equipment for receiving PEMIN in the area providing this information, or direct connection to the sensor service lines. 2. Physical access. 3. Installation of a camera or microphone in the sensor during the manufacture of the device or after its installation.

№ п/п	Звенья АС ОВД АТС links	Вид уязвимость Vulnerability type	Способ реализации уязвимости Method of vulnerability implementation
			4. Installation of an amplifier of radio signals in the sensor during the manufacture of the device
18	Датчик охранной сигнализации Security sensor alarms	1. Линия передачи информации за счёт утечек по каналам ПЭМИН. 2. Может использоваться в качестве маскирующего устройства при установке в нём камеры или микрофона 1. Linear information transmission due to leaks through PEMIN channels. 2. Can be used as a masking device when installing a camera or microphone in it	1. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации, или непосредственное подключение к линиям обслуживания датчика. 2. Физический доступ. 3. Установка в датчик камеры или микрофона при производстве устройства или после его установки. 4. Установка в датчик усилителя радиосигналов при производстве устройства. 1. Placement of equipment for receiving PEMIN in the area providing this information, or direct connection to the sensor service lines. 2. Physical access. 3. Installation of a camera or microphone in the sensor during the manufacture of the device or after its installation. 4. Installation of an amplifier of radio signals in the sensor during the manufacture of the device
19	Линия сети питания Power line	1. Линия передачи информации за счёт утечек по каналам ПЭМИН. 2. Подключение устройств для незаконного перехвата информации 1. Linear information transmission due to leaks through PEMIN channels. 2. Connecting devices for illegal interception of information	1. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации, или непосредственное подключение к линиям сети питания. 2. Физический доступ. 1. Placement of equipment for receiving PEMIN in the area providing this information, or direct connection to power lines. 2. Physical access
20	Ethernet кабель Ethernet cable	1. Линия передачи информации за счет утечек по каналам ПЭМИН. 2. Подключение устройств для незаконного перехвата информации 1. Shedding information transmission due to leaks through PEMIN channels. 2. Connecting devices for illegal interception of information	1. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации, или непосредственное подключение к Ethernet кабелю. 2. Физический доступ. 1. Placement of equipment for receiving PEMIN in the area providing this information, or direct connection to an Ethernet cable. 2. Physical access
21	Слаботочные линии Low current lines	1. Линия передачи информации за счёт утечек по каналам ПЭМИН. 2. Подключение устройств для незаконного перехвата информации 1. Linear information transmission due to leaks through PEMIN channels. 2. Connecting devices for illegal interception of information	1. Размещение оборудования для получения ПЭМИН в зоне, обеспечивающей получение данной информации или непосредственное подключение к слаботочным линиям. 2. Физический доступ. 1. Placement of equipment for receiving PEMIN in the area providing the receipt of this information or direct connection to low-current lines. 2. Physical access
22	Подсистема ЗИ от НСД в АС (СЗИ от НСД) Sub-system of IS from NSD in AS (IS from NSD)	1. ПО СЗИ от НСД. 2. Недостаточное качество функционирования СЗИ от НСД. 3. Использование неактуальной версии СЗИ от НСД. 4. Ошибки при проектировании. 5. Отсутствие актуального документа, связанного с обязательной сертификацией СЗИ от НСД. 1. ON SZI from NSD. 2. Insufficient quality (efficiency and reliability) of the functioning of the information security system from the NSD. 3. Use of an outdated version of the information security system from the NSD (from the point of view of the relevance of network attacks). 4. Errors in design. 5. Lack of an up-to-date document related to the mandatory certification of the information security system from the NSD	1. Сетевая атака на программный код СЗИ от НСД. 2. Ошибки персонала и операторов. 3. Несанкционированное изменение конфигурации СЗИ от НСД. 4. Несанкционированное изменение алгоритмов функционирования СЗИ от НСД. 1. Network attack on the ISS program code from the NSD. 2. Errors of personnel and operators. 3. Unauthorized change in the configuration of the information security system from the NSD. 4. Unauthorized change of the algorithms for the functioning of the information security system from the NSD

Вывод. На основе анализа методической документации и отраслевых стандартов ФСТЭК России, посвященных ЗИ в АС, ведомственной документации МВД России, регламентирующей требования по ЗИ на объектах информатизации ОВД, открытой научно-технической литературы в области обеспечения ИБ в статье разработана типовая структура защищенной АС ОВД и определены ключевые особенности ее функционирования с точки зрения обеспечения ИБ.

Выявлены потенциальные каналы реализации сетевых атак к конфиденциальному информационному ресурсу, определены уязвимости звеньев АС и возможные способы их реализации на объектах информатизации ОВД.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы в процессе проектирования и эксплуатации средств и систем ИБ на объектах информатизации ОВД в целях повышения их защищенности.

Библиографический список:

1. ГОСТ 34.003-90. Автоматизированные системы. Термины и определения [Электронный ресурс]. — URL:<http://docs.cntd.ru/document/120006979> (дата обращения: 24.10.2019).
2. Maximizing Uptime of Critical Systems in Commercial and Industrial Applications VAVR-8K4TVA_R1_EN.pdf [Электронный ресурс]. — URL:https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-8K4TVA_EN (дата обращения: 24.10.2019).
3. Butusov I.V. Methodology of Security Assessment Automated Systems as Objects Critical Information Infrastructure / I.V. Butusov, A.A. Romanov [Электронный ресурс]. — URL:fcyberrus.com/wp-content/uploads/2018/05/02-10-125-18_1.-Butusov.pdf (дата обращения: 28.10.2019).
4. Xin Z. Research on effectiveness evaluation of the mission-critical system / Z. Xin, M. Shaojie, Z. Fang // Proceedings of 2013 2nd International Conference on Measurement, Information and Control. 2013. P. 869-873.
5. Об утверждении Концепции обеспечения информационной безопасности органов внутренних дел Российской Федерации до 2020 года: приказ МВД России от 14.03.2012 № 169 [Электронный ресурс]. — URL:<http://policemagazine.ru/forum/showthread.php?t=3663> (дата обращения: 21.10.2019).
6. Security Trends & Vulnerabilities Review Corporate Information Systems // Positive Technologies 2017 [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ww-en/analytics/Corp-Vulnerabilities-2017-eng.pdf> (дата обращения: 09.11.2019).
7. Bagayoko D. Understanding the Relativistic Generalization of Density Functional Theory (DFT) and Completing It in Practice / D. Bagayoko // Journal of Information Security. Vol. 7 № 9, May 2016 [Электронный ресурс]. — URL:<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=66781> (дата обращения: 02.11.2019).
8. Методы и средства оценки защищенности автоматизированных систем органов внутренних дел: монография [Электронный ресурс] / И.Г. Дровникова [и др.]. Воронеж: Воронеж. ин-т МВД России, 2017. 88 с.
9. Язов Ю.К. Защита информации в информационных системах от несанкционированного доступа: пособие / Ю.К. Язов, С.В. Соловьёв. Воронеж: Кварта, 2015. 440 с.
10. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения // СПС «КонсультантПлюс»
11. Kresimir S. The information systems' security level assessment model based on an ontology and evidential reasoning approach / S. Kresimir, O. Hrvoje, G. Marin // Computers & Security. — 2015. — P. 100-112.
12. Method to Evaluate Software Protection Based on Attack Modeling / H. Wang [et al.] // 2013 IEEE 10th International Conference on High Performance Computing and Communications & 2013 IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing Year. 2013. PP. 837-844.
13. Effectiveness Evaluation on Cyberspace Security Defense System / L. Yun [et al.] // International Conference on Network and Information Systems for Computers (IEEE Conference Publications). 2015. PP. 576-579.
14. ФСТЭК России. Методический документ. Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах [Электронный ресурс]. — URL:<http://fstec.ru/component/attachments/download/812> (дата обращения: 21.10.2019).
15. Язов Ю.К. Организация защиты информации в информационных системах от несанкционированного доступа: монография / Ю.К. Язов, С.В. Соловьёв. — Воронеж: Кварта, 2018. — 588 с.
16. Рогозин Е.А. Проектирование систем защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных системах ОВД / Е.А. Рогозин, А.Д. Попов, Т.В. Шагиринов // Вестник Воронеж. ин-та МВД России. 2016. № 2. С. 174-183.
17. Попов А.Д. Модели и алгоритмы оценки эффективности систем защиты информации от несанкционированного доступа с учетом их временных характеристик в автоматизированных системах органов внутренних дел: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.19 / Попов Антон Дмитриевич. — Воронеж, 2018. — 163 с.
18. Радько Н.А. Проникновения в операционную среду компьютера: модели злоумышленного удаленного доступа: учеб. пособие / Н.М. Радько, Ю.К. Язов, Н.Н. Корнеева. — Воронеж: Воронеж. госуд. технич. ун-т, 2013. — 265 с.
19. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99. Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель [Электронный ресурс]. — URL:<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294818/4294818276.pdf> (дата обращения: 04.11.2019).
20. ГОСТ Р 51583-2014. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении [Электронный ресурс]. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108858> (дата обращения: 04.11.2019).
21. Рогозин Е.А. Классификация угроз информационной безопасности в автоматизированных информационных системах / Е.А. Рогозин, А.Д. Попов, Д.И. Коробкин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 7. С. 22-26.
22. Руководящий документ Государственной технической комиссии от 30 июня 1992 года. Защита от несанкционированного доступа к информации. Термины и определения. [Электронный ресурс]. — URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/298> (дата обращения: 05.11.2019).
23. Рогозин Е.А. Основные этапы и задачи разработки систем защиты информации ОВД в автоматизированных системах / Е.А. Рогозин, Е.Ю. Никулина, А.Д. Попов // Вестник Воронеж. ин-та ФСИН России. 2016. № 4. С. 94-98.
24. Система показателей качества функционирования при создании системы информационной безопасности на объ-

екте информатизации ОВД / А.М. Каднова [и др.] // Приборы и системы, управление, контроль, диагностика. 2019. № 1. С. 26-33.

References:

1. GOST 34.003-90. Avtomatizirovannyye sistemy. Terminy i opredeleniya [Elektronnyy resurs]. — URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200006979> (data obrashcheniya: 24.10.2019). [GOST 34.003-90. Automated systems. Terms and definitions [Electronic resource]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006979> (date of access: 24.10.2019). (In Russ)]
2. Maximizing Uptime of Critical Systems in Commercial and Industrial Applications VAVR-8K4TVA_R1_EN.pdf [Electronic resource]. - URL: https://download.schneider-eletric.com/files?P_Doc_Ref=SPD_VAVR-8K4TVA_EN (date accessed: 24.10.2019).
3. Butusov I.V. Methodology of Security Assessment Automated Systems as Objects Critical Information Infrastructure / I.V. Butusov, A.A. Romanov [Electronic resource]. - URL: fcyberus.com/wp-content/uploads/2018/05/02-10-125-18_1.-Butusov.pdf (date accessed: 28.10.2019).
4. Xin Z. Research on effectiveness evaluation of the mission-critical system / Z. Xin, M. Shaojie, Z. Fang // Proceedings of 2013 2nd International Conference on Measurement, Information and Control. 2013. P. 869-873.
5. Ob utverzhdenii Kontseptsii obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti organov vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda: prikaz MVD Rossii ot 14.03.2012 № 169 [Elektronnyy resurs]. — URL:<http://policemagazine.ru/forum/showthread.php?t=3663> (data obrashcheniya: 21.10.2019). [On the approval of the Concept for ensuring information security of the internal affairs bodies of the Russian Federation until 2020: order of the Ministry of Internal Affairs of Russia dated March 14, 2012 No. 169 [Electronic resource]. - URL: <http://policemagazine.ru/forum/showthread.php?t=3663> (date accessed: 21.10.2019). (In Russ)]
6. Security Trends & Vulnerabilities Review Corporate Information Systems // Positive Technologies 2017 [Electronic resource]. - URL: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ww-en/analytics/Corp-Vulnerabilities-2017-eng.pdf> (date accessed: 09.11.2019).
7. Bagayoko D. Understanding the Relativistic Generalization of Density Functional Theory (DFT) and Completing It in Practice / D. Bagayoko // Journal of Information Security. Vol. 7 № 9, May 2016 [Electronic resource]. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?Paperid=66781> (date accessed: 02.11.2019).
8. Metody i sredstva otsenki zashchishchonosti avtomatizirovannykh sistem organov vnutrennikh del: monografiya [Elektronnyy resurs] / I.G. Drovnikova [i dr.]. Voronezh: Voronezh. in-t MVD Rossii, 2017. 88 s. [Methods and tools for assessing the security of automated systems of internal affairs bodies: monograph [Electronic resource] / I.G. Drovnikov [and others]. Voronezh: Voronezh. Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2017.88 p. (In Russ)]
9. YAzov YU.K. Zashchita informatsii v informatsionnykh sistemakh ot nesantsionirovannogo dostupa: posobiye / YU.K. YAzov, S.V. Solov'yov. Voronezh: Kvarta, 2015. 440 s. [Yazov Yu.K. Protection of information in information systems from unauthorized access: manual / Yu.K. Yazov, S.V. Solovyov. Voronezh: Kvarta, 2015.440 p. (In Russ)]
10. GOST R 50922-2006. Zashchita informatsii. Osnovnyye terminy i opredeleniya // SPS «Konsul'-tantPlyus» [GOST R 50922-2006. Data protection. Basic terms and definitions // SPS "ConsultantPlus"(In Russ)]
11. Kresimir S. The information systems' security level assessment model based on an ontology and evidential reasoning approach / S. Kresimir, O. Hrvoje, G. Marin // Computers & Security. 2015. PP. 100-112.
12. Method to Evaluate Software Protection Based on Attack Modeling / H. Wang [et ol.] // 2013 IEEE 10th International Conference on High Performance Computing and Communications & 2013 IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing Year. 2013. PP. 837-844.
13. Effectiveness Evaluation on Cyberspace Security Defense System / L. Yun [et ol.] // International Conference on Network and Information Systems for Computers (IEEE Conference Publications). 2015. PP. 576-579.
14. FSTEC Rossii. Metodicheskiy dokument. Metodika opredeleniya ugroz bezopasnosti informa-tsii v informatsionnykh sistemakh [Elektronnyy resurs]. — URL:<https://fstec.ru/component/attachments/download/812> (data obrashcheniya: 21.10.2019). [FSTEC of Russia. Methodical document. Methods for determining threats to information security in information systems [Electronic resource]. - URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/812> (date of access: 21.10.2019). (In Russ)]
15. YAzov YU.K. Organizatsiya zashchity informatsii v informatsionnykh sistemakh ot nesantsionirovannogo dostupa: monografiya / YU.K. YAzov, S.V. Solov'yev. — Voronezh: Kvarta, 2018. — 588 s. [Yazov Yu.K. Organization of information protection in information systems from unauthorized access: monograph / Yu.K. Yazov, S.V. Soloviev. - Voronezh: Quarta, 2018. 588 p. (In Russ)]
16. Rogozin Ye.A. Proyektirovaniye sistem zashchity informatsii ot nesantsionirovannogo dostupa v avtomatizirovannykh sistemakh OVD / Ye.A. Rogozin, A.D. Popov, T.V. Shagirov // Vestnik Voronezh. in-ta MVD Rossii. 2016. № 2. S. 174-183. [Rogozin E.A. Design of information protection systems against unauthorized access in automated ATC systems / E.A. Rogozin, A.D. Popov, T.V. Shagirov // Bulletin Voronezh. Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2016. No. 2. pp. 174-183. (In Russ)]
17. Popov A.D. Modeli i algoritmy otsenki effektivnosti sistem zashchity informatsii ot ne-santsionirovannogo dostupa s uchedom ikh vremennykh kharakteristik v avtomatizirovannykh sistemakh orga-nov vnutrennikh del: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.19 / Popov Anton Dmitriyevich. — Voronezh, 2018. — 163 s. [Popov A.D. Models and algorithms for assessing the effectiveness of information protection systems from unauthorized access, taking into account their time characteristics in automated systems of internal affairs bodies: dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.13.19 / Popov Anton Dmitriyevich. Voronezh, 2018. 163 p. (In Russ)]
18. Rad'ko N.M. Proniknoveniya v operatsionnyuyu sredu komp'yutera: modeli zloumyshlennogo uda-lennogo dostupa: ucheb. posobiye / N.M. Rad'ko, YU.K. YAzov, N.N. Korneyeva. — Voronezh: Voronezh. gosud. tekhn. un-t, 2013. — 265 s. [Rad'ko N.M. Penetration into the operating environment of a computer: models of malicious remote access: textbook. manual / N.M. Radko, Yu.K. Yazov, N.N. Korneeva. - Voronezh: Voronezh. state tech-nich. un-t, 2013. 265 p. (In Russ)]
19. GOST R ISO/MEK 7498-1-99. Informatsionnaya tekhnologiya. Vzaimosvyaz' otkrytykh sistem. Ba-zovaya etalonnaya model'. Chast' 1. Bazovaya model' [Elektronnyy resurs]. — URL:<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294818/4294818276.pdf> (data obrashcheniya: 04.11.2019). [GOST R ISO / IEC 7498-1-99. Information technology. Interconnection of open systems. Basic reference model. Part 1. Basic model [Electronic resource]. - URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294818/4294818276.pdf> (date of access: 04.11.2019). (In Russ)]

20. GOST R 51583-2014. Poryadok sozdaniya avtomatizirovannykh sistem v zashchishchennom ispolnenii [Elektronnyy resurs]. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108858> (data obrashcheniya: 04.11.2019). [GOST R 51583-2014. The order of creation of automated systems in a protected version [Electronic resource]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108858> (date of access: 04.11.2019). (In Russ)]

21. Rogozin Ye.A. Klassifikatsiya ugroz informatsionnoy bezopasnosti v avtomatizirovannykh in-formatsionnykh sistemakh / Ye.A. Rogozin, A.D. Popov, D.I. Korobkin // Pribory i sistemy. Upravleniye, kontrol', diagnostika. 2017. № 7. S. 22-26. [Rogozin E.A. Classification of threats to information security in automated information systems / E.A. Rogozin, A.D. Popov, D.I. Korobkin // Devices and Systems. Management, control, diagnostics. 2017. No. 7.P. 22-26. (In Russ)]

22. Rukovodyashchiy dokument Gosudarstvennoy tekhnicheskoy komissii ot 30 iyunya 1992 goda. Zashchita ot nesantsionirovannogo dostupa k informatsii. Terminy i opredeleniya. [Elektronnyy resurs]. — URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/29> [Guidance document of the State Technical Commission dated June 30, 1992. Protection against unauthorized access to information. Terms and Definitions. [Electronic resource]. - URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/298> (In Russ)]

23. Rogozin Ye.A. Osnovnyye etapy i zadachi razrabotki sistem zashchity informatsii OVD v avtomatizirovannykh sistemakh / Ye.A. Rogozin, Ye.YU. Nikulina, A.D. Popov // Vestnik Voronezh. in-ta FSIN Rossii. 2016. № 4. S. 94-98 [Rogozin E.A. The main stages and tasks of developing ATS information protection systems in automated systems stemakh / E.A. Rogozin, E.Yu. Nikulina, A.D. Popov // Bulletin Voronezh. Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia. 2016. No. 4. pp 94-98. (In Russ)]

24. Sistema pokazateley kachestva funktsionirovaniya pri sozdanii sistemy informatsionnoy bezopasnosti na ob'yekte informatizatsii OVD / A.M. Kadnova [i dr.] // Pribory i sistemy, upravleniye, kontrol', diagnostika. 2019. № 1. S. 26- 33 [The system of performance indicators for the creation of an information security system at the object of informatization of the internal affairs department Kadnova [et al.] // Devices and systems, control, monitoring, diagnostics. 2019. No. 1. pp 26-33 (In Russ)]

Сведения об авторах:

Баркалов Юрий Михайлович, заместитель начальника кафедры информационной безопасности; e-mail: ekcvor@mail.ru

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

Каднова Айжана Михайловна, адъюнкт кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; e-mail: aizhana_kadnova@mail.ru

Овчинникова Елена Сергеевна, адъюнкт кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; e-mail: yelena_ovchinnikova1@mail.ru

Рогозин Евгений Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел; e-mail: evgenirogozin@yandex.ru

Information about the authors:

Yuri M. Barkalov, Deputy Head of the Information Security Department; e-mail: ekcvor@mail.ru

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

Ayzhana M. Kadnova, Adjunct, Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; e-mail: aizhana_kadnova@mail.ru

Elena S. Ovchinnikova, Adjunct of the Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; e-mail: yelena_ovchinnikova1@mail.ru

Evgeniy A. Rogozin, Dr. Sci. (Technical), Prof., Prof., Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies; e-mail: evgenirogozin@yandex.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.04.2020.

Принята в печать 28.05.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 30.04.2020.

Accepted for publication 28.05.2020.

Для цитирования: А.Л. Большеротов. GOOGLE SCHOLAR и другие системы индексирования наукометрических показателей, используемые белорусскими университетами. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 52-64. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-52-64
For citation: A.L. Bolsherotov. GOOGLE SCHOLAR and other systems for indexing scientometric indicators used by Belarusian Universities. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 52-64. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-52-64

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

УДК 519.71

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-52-64

**GOOGLE SCHOLAR И ДРУГИЕ СИСТЕМЫ ИНДЕКСИРОВАНИЯ
НАУКОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ
БЕЛОРУССКИМИ УНИВЕРСИТЕТАМИ**

А.Л. Большеротов

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
230023, г. Гродно, ул. Ожешко, 22, Беларусь*

Резюме. Цель. Целью работы является сравнение достоверности и объективности оценок при составлении рейтингов университетов мировыми лидерами Time Higher Education World University Rankings (THE WUR) и Quacquarelli Symonds World University Rankings (QS WUR), а также эффективности оценки публикационной активности организаций и авторов системами индексации такими, как Google Scholar, Scopus и РИНЦ. Оценка авторитетности и достоверность этих систем индексации трудов учёных, составленных на их основе рейтингов профессорско-преподавательского состава (ППС) университетов Беларуси и, в частности, Гродненского университета. **Метод.** В статье впервые анализируются и сравниваются различные системы индексирования, что крайне актуально из-за повсеместного применения в Беларуси системы оценки Google Scholar, Scopus и РИНЦ. **Результат.** Дана общая характеристика вышеуказанных систем индексации и их значимость в оценке ППС университета. Осуществлена сравнительная характеристика систем индексации, представлены их особенности положительные и отрицательные стороны предлагаемой системы оценки. Анализ идеологии построения системы индексации Google Scholar, механизм сбора информации подтвердил недостоверность, несостоятельность такого подхода к оценке трудов авторов публикаций, а также ошибочность принятия этой системы для оценки публикационной активности ППС университета. **Вывод.** Анализ системы индексации, принятой РИНЦ, также выявил значительные несовершенства и этой системы, но в то же время использование РИНЦ в качестве оценки публикационной активности авторов и организаций позволяет дать достаточно объективную всестороннюю оценку, позволяет проанализировать структуру показателей, что совершенно невозможно сделать в Google Scholar и в Scopus.

Ключевые слова: рейтинг ППС, методика составления рейтинга, публикационная активность, индекс Хирша, Google Scholar, Scopus, РИНЦ

**GOOGLE SCHOLAR AND OTHER SYSTEMS FOR INDEXING SCIENTOMETRIC
INDICATORS USED BY BELARUSIAN UNIVERSITIES**

A. L. Bolsherotov

*Yanka Kupala State University of Grodno,
22 Ozheshko St., Grodno 230023, Belarus*

Abstract. Aim. To compare the effectiveness of evaluating the publication activity of organizations and authors by such indexing systems as Google Scholar, Scopus and RINTS, as well as to assess

*the reliability and credibility of these indexing systems in terms of measuring research performance. On the basis of this information, the reliability of the systems currently used to rank Belarusian universities, in particular the University of Grodno, was estimated. **Methods.** This article analyses and compares the effectiveness of various indexing systems, which is extremely relevant due to the widespread use of the Google Scholar, Scopus, and RINTS indexing systems in Belarus. **Results.** The general characteristics of the above-mentioned indexing systems and their significance in assessing the research performance of university staff are given. A comparative assessment of the indexing systems was carried out, including their specific features, advantages and disadvantages. The conducted analysis of the ideology and mechanism of indexing research data using Google Scholar proved the unreliability and inconsistency of this approach for evaluating research performance, as well as the fallacy of adopting this system for evaluating the publication activity of university staff. **Conclusion.** The analysis of the Russian Science Citation Index (RINTS) also revealed significant imperfections. However, the use of RINTS does provide a fairly objective comprehensive assessment of the publication activity of authors and organizations. In addition, RINTS enables an analysis of the structure of indicators, which is completely impossible using Google Scholar and Scopus.*

Keywords: university staff rating, ranking methodology, publication activity, h-index, Google Scholar, Scopus, RINTS

Введение. Управление образовательным процессом в университетах имеет свою специфику. Преподаватель университета помимо того, что он должен хорошо знать свой предмет, должен вести исследовательскую работу и отчитываться за неё публикациями статей, научными трудами. Научная деятельность преподавателя – это обязательная составляющая подготовки специалистов с инновационным мышлением. Без активного исследовательского процесса научный прогресс невозможен, следовательно, в условиях рыночных конкурентных отношений, отсутствие инноваций явно даёт преимущества креативному конкуренту со всей цепочкой вытекающих из этой ситуации последствий.

Стимулирование научной активности в университетах связано с ведением рейтингов публикационной активности сотрудников и материальным поощрением по результатам оценки.

Западная модель высшего образования построена именно на ранжировании университетов. Попадание университета в верхние строчки рейтингов повышает его конкурентные преимущества перед другими университетами, повышает интерес к университету, спрос на его услуги, соответственно университет может выше установить стоимость обучения студентов, по сравнению с другими вузами. Ведущие вузы, точнее вузы с высоким рейтингом, успешнее привлекают инвестиции, получают заказы на проведение научных исследований и разработок. В связи с этим, не случайно в начале 2000-х годов стали появляться различные рейтинговые агентства, системы рейтингов университетов.

Постановка задачи. Рейтинги университетов стали одним из инструментов конкурентной борьбы на рынке образовательных услуг. У каждого рейтинга есть заказчик, есть источник финансирования. Основная цель любого рейтинга - предоставить конкурентные преимущества определённой группе университетов, привлечь потребителя образовательных услуг и научных разработок. Рейтинги англо-американских университетов выполняют и государственный заказ по привлечению наиболее талантливой молодёжи со всего мира в самые престижные, согласно рейтинга, университеты Америки и Великобритании. Перетягивание «мозгов» из той же России, Беларуси, Украины, Китая и других стран – одна из целей рейтингов.

Тема статьи отражает суть проблемы – оценки успешности университетов мира [1, 2, 3]. Истинное положение образования и науки и мировые рейтинги университетов - это параллельная реальность, имеющая мало общего с действительностью, созданная из конъюнктурных соображений в угоду англо-американского сообщества и дискредитирующая своими оценками наших учёных, наше образование, наши университеты, наши страны.

Как же тогда можно сравнить успешность ВУЗов разных организационных и стратегических научно-образовательных моделей по единой методике западных рейтинговых компаний?

Методы исследования. Если объективно оценить современные университеты Беларуси и России, то однозначно можно сказать, что качество образования высокое и при желании любой студент может стать специалистом широкого профиля. Безусловно, не без проблем, но инженерная подготовка соответствует мировому уровню, а IT специалисты у нас лучшие в мире, как показал последний чемпионат мира по программированию.

Есть характерное отличие модели высшего образования и науки в наших странах и на, так называемом, Западе.

Во-первых, мы готовим специалистов широкого профиля, со знанием всех процессов производства и с обширной базовой подготовкой по непрофильным направлениям – с широкой эрудицией. Так инженер-строитель знает и экономику, и управление, и технологию, и организацию строительства.

На Западе акцент делается на узкой специализации, инженеры эрудиты и интеллектуалы там не нужны.

Во-вторых, образование и наука в нашей модели разнесены в образовательные и научные учреждения.

Западная модель, как правило, объединяет под крышей университета и образование, и науку.

Одним из основных показателей всех рейтингов университетов является цитирование научных трудов учёных-преподавателей. В Западных университетах преподаватель, студент и исследователь - это практически единое целое. У нас занятие преподавателем наукой скорее дополнительная нагрузка к его основной преподавательской работе. Кроме того, в ВУЗах недостаточно современного научного оборудования, ВУЗовская наука, как правило, не эффективна по сравнению с научными исследовательскими специализированными организациями. Мы организовали наше образование и науку строго в соответствии с теорией управления проектами о разделении труда – образовательный процесс в ВУЗах, а наука в НИИ.

Поэтому, когда все оценки в мировых рейтингах строятся, исходя из западных моделей образования и науки, показатели западных университетов всегда оказываются лучше, так как университет в рейтингах представляют не только преподаватели, как у нас, но чистые учёные исследователи, которые в нашей модели представляют не ВУЗ, а некое научное специализированное учреждение.

Представим, что мы по западному образцу, объединили в одну научно-образовательную организацию, например, ядерный ВУЗ МИФИ или МФТИ и ядерные центры в г. Дубне, в Обнинске, в Томске, в Новосибирске, в Челябинске, в Красноярске... Или объединили в одну научно-образовательную организацию строительные ВУЗы и многочисленные строительные научные центры, лаборатории, производства, испытательные полигоны? Построенные на основе этой идеи модели [4] показали, что тот же ядерный Московский физико-технический институт (МФТИ) совместно с ядерным центром в г. Дубне превзошёл бы показатели лучших мировых университет в любом рейтинге. А на деле, сегодня, по данным рассматриваемых рейтингов, МФТИ находится в так называемой «мусорной зоне», как третьеразрядный ВУЗ. То же самое касается и ведущих образовательных учреждений Беларуси – их нет в рейтингах, за исключением Белорусского государственного университета в «мусорной зоне» рейтинга THE WUR.

Некоторым исключением является лучший российский МГУ, который располагается в 1-2 сотне рейтингов, но только из-за того, что к МГУ, на западный манер, присоединены некоторые научные центры по физике, биологии и другим направлениям науки, такие как в Черногловке, в Протвино.

Но, несмотря на рейтинги, демонстративно принижающие наше образование и университеты, наше образование и наука первыми освоили космос, первыми построили атомную элек-

тростанцию в Обнинске, первыми расшифровали письма мая, создали электрическую лампочку, радио, телевизор, самолёт, лазер, победили во второй мировой войне благодаря нашим инженерам, нашей науке, нашему образованию и людям, реализовавшим всё это.

Одними из первых появившихся рейтингов были рейтинги THE World University Rankings (рейтинг британского издания Time Higher Education - THE при участии информационной группы Thomson Reuters), составляемый с 2004 года и QS World University Rankings (рейтинг компаний Quacquarelli Symonds из Великобритании), составляемый с 2004г.

Данные рейтинги имеют различную методику проведения оценки университетов, различную степень достоверности. Но общей характерной особенностью этих рейтингов является то, что все они делаются на основе информации в основном западных экспертов. Кроме того, рейтинг QS составляется на основе закрытой информации в основном англоязычных экспертов.

Рейтинг THE World University Rankings [2,5] включает в себя почти 1400 крупнейших и лучших университетов из 92 стран. Оценка основывается на 13 показателях эффективности, с точки зрения данного рейтинга, которые всесторонне оценивают качество образовательного процесса, качество профессорско-преподавательского состава, эффективность научных исследований через объём цитирования трудов университета. Данный рейтинг, со слов организаторов, проводится независимо сторонней организацией Pricewaterhouse Coopers. В данном рейтинге на 2020 год Оксфордский университет четвёртый год подряд занимает первое место, Кембриджский университет стабильно третий. И как всегда в десятку лучших, по версии THE WUR, входят Стэнфордский университет, Йельский, Гарвард и Имперский колледж Лондона.

Рейтинг QS World University Rankings представляет собой совместное исследование газеты The Times, британской организации TSL Education Ltd. и консалтинговой компании Quacquarelli Symonds, которая до 2010 г. сотрудничала в составлении рейтингов с The Times Higher Education Supplement. С 2010 года компания Quacquarelli Symonds (QS) проводит свое исследование самостоятельно.

В рейтинг QS попадают только те учебные заведения, которые проводят многоуровневую подготовку студентов и которые не специализируются на каком-то одном направлении деятельности, а также ВУЗы, которые имеют большой индекс цитируемости в научных журналах.

В 2010 году в исследование попало 2500 учебных заведений, из которых были выбраны 500 лучших. В 2019 году оценивались 4977 университетов (в Беларуси оценили 12 высших учебных заведений из 64, в России 24 из 746). Кроме того, составлены региональные рейтинги по континентам, по некоторым странам, таким как Япония, Мексика, Китай, Индия. Есть сравнительный рейтинг стран БРИКС. В основной мировой рейтинг вошли 1000 университетов из 82 стран. Для стран бывшего Советского Союза, некоторых стран Европы, в основном из восточного блока, составлен рейтинг под названием «Рейтинг развивающихся стран Европы и Центральной Азии». По мнению составителей рейтинга, крупнейшая мировая ядерная и космическая держава Россия, это развивающаяся страна, как и союзная с Россией Беларусь. Каким критерием руководствовались составители рейтинга, классифицируя страны на - развитых и неразвитых, не сообщается. Но тенденция принизить наши страны и их университеты, по отношению к англо-американским и европейским странам есть. Нам четко дают понять – наше место в конце списка. Поэтому инвестиции, студенты, профессора должны приходить в лучшие университеты США и Европы. Рейтинги – это оружие конкурентной борьбы.

Методология составления рейтинга университетов мира THE WUR и QS WUR примерно одинакова. В качестве оценочных показателей используются: академическая репутация университета, цитируемость трудов, эффективность учебной нагрузки, спрос на выпускников, международное сотрудничество.

В отличие от THE World University Rankings вес научной составляющей в QS 40% против 32,5%, а вот показатель цитируемости в QS ниже, чем в THE WUR – 20 против 30. Суммарно примерно те же 60 на 60, но в QS цитированию придают меньшую значимость, это можно понять, так как хорошо знакома ситуация в науке с большим объёмом якобы научных статей при малом объёме научных исследований. Кроме того, отличаются и показатели международного сотрудничества 10% против 7,5 в THE WUR, так же есть в QS свой оригинальный критерий оценки – спрос на выпускников.

При всей внешней серьёзности подхода к составлению рейтинга университетов этими двумя конкурирующими рейтинговыми агентствами у обоих есть серьёзный изъян, который, во-первых, делает ничтожными эти рейтинги, а во-вторых, позволяет легко манипулировать полученными результатами. Более того, оба рейтинговых агентства практикуют привлечение спонсорских средств, «добровольных» пожертвований для проведения своей работы от оцениваемых университетов. Легко догадаться, что позиция того или иного университета в рейтинге зависит от величины «добровольных» пожертвований. В отчётах обоих агентств открыто называются суммы и имена спонсоров.

Самый основной «минус» методики составления обоих рейтингов это способ получения информации. Источниками информации являются, как правило, англоговорящие эксперты, живущие и работающие на Западе. В эксперты приглашаются преподаватели университетов, имеющие не менее 10-50 публикаций (в разные годы цифры менялись). Что такое преподаватель с 10-50 публикациями? Это молодой человек, только начинающий научную деятельность. Информация от такого эксперта и ложится в основу рейтинга. Источник информации – это открытые данные с сайтов университетов, какие-то экспертные оценки, но в основном это субъективное мнение людей, никогда не бывавших в наших странах и университетах, и не представляющих себе, что Белорусский государственный университет и Белорусский национальный технический университет, это не заурядные ВУЗы, а лидеры отечественного высококлассного образования. Эксперты не догадываются, что Томские университеты, университеты Новосибирска, Урала, МИФИ, МФТИ это кузницы кадров фундаментальной и прикладной ядерной науки, и образование в этих университетах никак не хуже, чем в лучших, по мнению экспертов рейтингов, университетах мира. Но в рейтинге эти ВУЗы или вообще не присутствуют или находятся в унизительной «мусорной зоне».

В табл. 1 видно, что часть ведущих университетов России и Беларуси по ряду показателей вообще не имеют никакой оценки. Как тогда можно объективно оценить университет, если о нём нет данных, а если нет данных, зачем такой университет вообще вставлять в рейтинг? Думаю, тут обошлось не без политики, а именно политики принизить уровень образования ряда стран и университетов, для создания дистанции между нашими университетами университетами - заказчиками рейтинга. В России работают около десятка крупных строительных университетов: Московский НИУ-МГСУ, Томский ГАСУ, Новосибирский ГАСУ, Казанский ГАСУ, Пензенский, Волгоградский и др.

Во многих технических университетах России, Украины и Беларуси работают строительные факультеты, но только два университета, готовящие строителей, представлены в рейтинге QS WUR, это Санкт-Петербургский политехнический университет (439 место) и Белорусский национальный технический университет, занимающий 801-1000 позицию в рейтинге (табл. 1). Досадно, что строительство, являющееся «визитной карточкой» любой исторической эпохи, так обойдено вниманием западных рейтинговых агентств. А ведь именно строители возвели римский Колизей, Великую китайскую стену, Крымский мост, высочайшее здание Бурдж Халифа, пирамиды Египта и многие другие строительные шедевры мира.

Таблица 1. Рейтинг и оценочные показатели 25 лучших университетов мира по версии QS World University Rankings на 2020 г. в сравнении с белорусскими, российскими и украинскими университетами

Рейтинг Rankings	Университет University	Страна Country	Оценка показателей Assessment of indicators						
			Общая General	Цитирование Citation	Зарубежные студенты Foreign students	Иностранные преподаватели Foreign teachers	Соотношение преподавателей и студентов The ratio of teachers and students	Репутация работодателя Employer reputation	Академическая репутация Academic reputation
			100%	40%	10%	20%	5%	5%	20%
1	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	США	100	99,8	94,1	100	100	100	100
2	Stanford University	США	98,4	98,6	67,7	99,8	100	100	100
3	Harvard University	США	97,4	99,6	62,2	86,3	98,7	100	100
4	University of Oxford	Великобритания	97,2	84,7	98,5	99,7	100	100	100
5	California Institute of Technology (Caltech)	США	96,9	100	87,3	99,4	100	81,2	97,8
6	ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology)	Швейцария	95,9	98,4	98	100	85	96,7	98,4
7	University of Cambridge	Великобритания	95	74,2	97,6	100	100	100	100
8	UCL (University College London)	Великобритания	94,8	76,7	100	99,1	98,1	98,7	99,3
9	Imperial College London	Великобритания	94,1	72,1	100	100	98,8	99,9	98,6
10	Chicago University	США	92	78,5	81	70,2	96,5	93,7	99,5
11	Nanyang Technology University of Singapore (NTU)	Сингапур	91,8	88,8	74,2	100	93,9	93,8	92,1
11	National University of Singapore (NUS)	Сингапур	91,8	75,7	76,4	100	88,3	99,2	99,8
13	Princeton University	США	90,9	100	67,6	64,9	70,7	98,6	99,9
14	Cornell University	США	89,3	95,1	72,3	93,8	65,7	90,4	98,7
15	University of Pennsylvania	США	88,9	67,6	63,6	84	100	93,7	95,8
16	Tsinghua University	Китай	88,6	80,4	30,1	68	92,4	99,1	97,4
17	Yale University	США	87,7	53,5	57,4	78,1	100	99,9	99,9
18	Columbia University	США	87,4	53	96,9	40,1	100	97,6	99,7
18	EPFL-Ecole Polytechnique Federale de Lausanne	Швейцария	87,4	98,9	100	100	96,6	77,6	75,6
20	University of Edinburgh	Великобритания	86,2	53	98,6	98	85,6	93,7	97,5
21	University of Michigan-Ann Arbor	США	86	61,6	44,1	79,7	91	94,4	98,9
22	Peking University	Китай	84,3	73	36,9	70,7	72,3	99,6	99,1
22	University of Tokyo	Япония	84,3	67,9	26,2	11,1	93,3	99,1	100
24	Johns Hopkins University	США	83,9	77,6	81,5	68,8	100	52,6	88,3
25	Duke University	США	83,8	80,3	59,3	12,4	99,4	84,2	89
...									
84	МГУ им. Ломоносова	Россия	62,3	7,2	56,1	18	99,7	84,9	73,6
231	Новосибирский гос. университет	Россия	39,8	16,4	49,1	11,6	93,8	26,4	30
234	Санкт-Петербургский государственный университет	Россия	39,6	6	35,8	6,9	87,9	31,3	38,6
268	Томский гос. университет	Россия	36,5	4,5	88,9	23,4	99,8	17,3	20,5
284	МГТУ им. Баумана	Россия	35,1	1,2	12,4	8,5	100	53,4	21
302	МФТИ	Россия	34,3	11,4	39,3	32,7	97,9	27,8	14,9
322	Высшая школа экономики	Россия	33,1	2,1	16,7	9,6	94,8	33	22,6
329	МИФИ	Россия	32,4	6,7	74,1	46,2	97,6	14,7	9,8
351	Белорусский государственный университет	Беларусь	31	1,7	20,6	5,5	94,2	32,4	18
364	Уральский федеральный университет	Россия	30,4	2,1	34,7	15,7	94	14,6	17,7
366	МГИМО	Россия	30,3	1,1	54,7	15,6	99,9	25,7	9,9

387	Национальный исследовательский Томский политехнический университет	Россия	28,7	4,8	85	13,4	88,3	14,6	9
392	Казанский федеральный университет	Россия	28,5	3,5	53,1	9,7	82,3	8	18,2
392	РУДН	Россия	28,5	1,5	93,7	10,7	83,5	19,1	10,7
436	Университет ИТМО	Россия	26,4	6,3	44,1	18,3	83,3	13,7	9,8
439	Санкт-Петербургский политехнический университет	Россия	26,2	3,3	78,1	16,8	77,2	10,5	10,5
451	МИСиС	Россия	25,7	18,4	6,7	11	74,1	16,5	9,3
521-530	Нац. Иссл. Саратовский Гос. университет	Россия	-	14,9	-	-	98,1	-	-
531-540	Дальневосточный федеральный университет	Россия	-	-	45,8	18,7	79,9	-	-
541-550	Южный федеральный университет	Россия	-	-	15,1	-	86	-	-
541-550	Киевский нац. университет	Украина	-	-	-	-	58	24,9	16,7
601-650	Университет Лобачевского	Россия	-	-	16,8	-	66,2	-	-
650-700	Самарский Нац.Иссл. университет	Россия	-	-	17,9	-	27,5	-	-
751-800	РЭУ им. Г.В.Плеханова	Россия	-	-	16,4	-	44,6	-	-
801-1000	Белорусский национальный технический университет	Беларусь	-	-	-	-	36,5	26,6	-
801-1000	Новосибирский гос. Технический университет	Россия	-	48,1	-	-	-	-	-
801-1000	Южно-Уральский гос.университет	Россия	-	-	25,7	41,9	-	-	-
801-1000	Воронежский гос.университет	Россия	-	-	16,3	-	-	-	-

Создание объективного рейтинга строительных университетов и учёных строителей удалось сделать Российскому индексу научного цитирования – РИНЦ. РИНЦ был создан в том же 2004 году, как и THE WUR и QS WUR.

Принципиальное отличие РИНЦ от западных рейтингов состоит в том, что российский индекс научного цитирования строится не на сомнительных субъективных мнениях экспертов, а на объективной, всесторонней оценке авторов - учёных, а уже затем, обобщая все показатели, строится оценка университета (организации), где трудятся эти учёные.

Оценка публикационной активности автора ведётся по 37 показателям. Оценка университета или научной организации ведётся по 45 показателям, плюс с разбивкой по годам и областям знаний. Такой комплексный подход к оценке даёт возможность объективно оценить любого автора и любую организацию, понять насколько наукометрические показатели соответствуют вкладу автора или организации в науку.

Для авторов ключевыми характеристиками являются: объём самоцитирования (он должен быть минимальным и уменьшаться с годами), количество соавторов (должно стремиться к подлинному количеству соавторов и учеников), количество значимых публикаций без соавторов (авторские научные работы делаются лично) и общее количество трудов (если ориентироваться на гениальных нобелевских лауреатов Ландау и Эйнштейна, то в пик своей научной деятельности они не публиковали больше 8-10 работ в год).

Для строителей и прикладной строительной науки соревноваться в количестве научных результатов с физиками-теоретиками, математиками, биологами невозможно. Строительная наука требует длительного эксперимента, прикладного результата. Кроме того, в строительной отрасли фактически основное поле для науки лежит в области строительных материалов (экспериментальная работа) и экологической безопасности (теоретические исследования с контрольными экспериментами). По остальным направлениям строительной науки в сфере технологии, организации, конструкций, экономики и пр. подлинный научный результат требует длительной индивидуальной работы с публикацией не более 1-2 работ в год.

Поэтому РИНЦ разумно выделил различные направления науки, а их более 68, и по каждому направлению ведётся свой рейтинг учёных. Индекс Хирша, индекс цитирования безусловно больше у физиков, биологов, медиков. В сфере строительства и архитектуры зарегистрировано 12667 учёных из 71 страны мира. Возглавляют рейтинг строителей российские учё-

ные, наибольший индекс цитирования превышает 10 тыс., а индекс Хирша 60, но это не меньше по значимости, чем индекс Хирша 100 у физика.

Для организаций основными наукометрическими показателями являются также количество цитирований, количество самоцитирований, среднее число публикаций у одного автора, среднее число цитирований одной публикации.

В Беларуси, также, как и во всех странах из бывшего СССР, ведётся учёт научных достижений в РИНЦ.

Все белорусские университеты, все научные организации зарегистрированы в РИНЦ, но показатели белорусских учёных и организаций в РИНЦ не являются базовыми для местных оценочных рейтингов. В Беларуси каждый университет разрабатывает свою систему оценочных показателей, где РИНЦ практически не играет никакой роли.

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы создал уникальную многостороннюю систему оценки деятельности профессорско-преподавательского состава, которая оценивает все стороны жизни и деятельности преподавателя в университете. Кроме оценки чисто преподавательской работы, система рейтинга в университете оценивает научную деятельность, идеологическую работу и международное сотрудничество. Вся система рейтинга преподавателя строится на бальной оценке. В «критериях оценки» научная деятельность - это раздел 2, пункт 2.9 (табл. 2).

Таблица 2. Критерии оценки рейтинга ППС в разных базах индексирования
Table 2. Criteria for assessing the rating of the teaching staff in different indexing bases

п/п	Вид оценки Valuation type	Баллы за 1 ед. Points for 1 unit	Наименование системы индексирования Indexing system name
2.9	Цитируемость работ сотрудника Citation of works employee	50	За каждую единицу индекса Хирша сотрудника в базе данных Google Scholar For each unit of the employee's Hirsch index in the Google Scholar database
		20	Дополнительно за каждую единицу индекса Хирша сотрудника в базе данных Scopus Additionally for each unit of the employee's Hirsch index in the Scopus database
		10	Дополнительно за каждую единицу индекса Хирша сотрудника в базе данных РИНЦ Additionally for each unit of the employee's Hirsch index in the RSCI database

Ключевую роль здесь играют баллы, начисляемые за показатели индекса Хирша сотрудника в базе данных Google Scholar, Scopus и РИНЦ. Причём важность, весомость баз данных подчёркивается количеством начисляемых баллов за единицу индекса Хирша, присвоенных этими базами авторам. Google Scholar в пять (!) раз весомее РИНЦ и в 2,5 раза весомее Scopus. Рассмотрим подробнее насколько авторитетны на самом деле приведённые системы индексирования и насколько они объективны в оценке.

Все системы индексирования начали свою работу практически одновременно в 2003-04 годах. Google Scholar позиционирует себя, как мировая система индексирования, собирающая информацию в одно место со всех многочисленных (а их более 100) систем индексирования и мировых, и национальных. Это сразу привлекает, так как ни одна другая система индексирования так широко и глубоко не отслеживает научную активность авторов. Но что же получается на самом деле? Действительно, мировая поисковая система Google имеет огромные технические возможности отслеживать всё, что угодно. Отслеживать индексирование публикаций для неё обычная поисковая задача. Откроем любую страничку Google Scholar по любому научному направлению и посмотрим на результаты поисков, например, в сфере строительства.

Здесь мировой рейтинг учёных-строителей возглавляет некая студентка ХНФГХ им. Бекетова Marina M., у неё рекордное число цитирований по мнению Google Scholar – 6564 [6]. На втором месте в мировом рейтинге учёных-строителей Nazar Marchuk, специализирующийся на межкомнатных дверях в Киеве, у него 5555 цитирований. Если первые два имени, наверное, мало кому известны, то третью почётную строчку с 5228 цитированиями занимает уже известный учёный-строитель, специалист по уникальным конструкциям доктор наук, профессор Ватин Н.И. За ним на 4 месте начинающий кандидат наук Дарья Немова, получившая учёную степень в 2016г. И так далее, можно только продолжать и удивляться новым мировым именам учёных-строителей. Здесь есть такие имена, как просто «Татьяна», «Маргарита», «Саша Сашин», «Наука и образование» или «Вісник Одесского строительного университета» – целый журнал, как физическое лицо конкурирует в рейтинге Google Scholar с доктором Ватиным и со студентом Сашей Сашиним, но сильно проигрывает им в конкурентной борьбе...

Есть в этом рейтинге только два имени строителей из Гродненского университета, но более трети имён с Украины, остальные Россия, Узбекистан – всё, что восточнее Беларуси. Есть среди имён строителей чистые биологи, медики и другие научные специальности, далёкие от стройки. Всего в «мировом» рейтинге учёных строителей по версии Google Scholar 453 имени, из них только 370 чел имеют цитирования от 1 и больше, остальные без цитирований. Конечно, здесь нет ни одного действительно известного учёного строителя, таких как Юхневский П.И. из БНТУ, как учёный с мировым именем, специалист по бетонам Баженов Ю.М. и др. Их и быть не может, так как под звонким названием Google Scholar нет ничего – ни добросовестного анализа цитируемости учёного, ни базы данных, ни контроля за достоверностью информации.

Этот тезис подтверждают и другие разделы Google Scholar. В разделе биофизики – одним из самых наукоёмких направлений, зарегистрировано всего 144 чел. (один из них из Гродненского университета). В то же время в Российском индексе научного цитирования в разделе физики зарегистрировано 58607 чел. – в 407 (!!!) раз больше. В разделе «история» в Google Scholar – 1057 чел. с числом цитирований 1 и более и 243 чел. без цитирований, в РИНЦ – 17001 чел. – в 17 раз больше. В разделе «психология» – 1212 чел. с цитированием 1 и более и 269 без цитирований, в РИНЦ – 10284 чел. И так по всем направлениям. Понимая и зная ситуацию с Google Scholar, уважающий себя учёный, без необходимости, не рискнёт регистрироваться в таком сомнительном рейтинге, возглавляемым в разделе, например, «строительство» специалистом «по межкомнатным дверям в Киеве» и студенткой Marina M.

Рейтинг Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) [7] наоборот имеет явные преимущества и перед Google Scholar, и перед Scopus. РИНЦ по 70 научным направлениям оценивает на сегодняшний день 975029 ученых всего мира и несколько тысяч научных и образовательных организаций. В РИНЦ представлены все, без исключения, университеты бывшего Советского Союза, ведущие университеты стран Восточной Европы и ряд университетов из 71 страны. В РИНЦ отслеживается 12667 (на 15.07.2020) учёных строителей из 71 страны мира (против 453 в Google Scholar) – в 25 с лишним раз больше. РИНЦ самая большая в мире и самая профессиональная система оценки публикационной активности и авторов, и организаций.

Анализ публикационной активности в РИНЦ каждого учёного строится на 36 основных показателях [8], из которых можно твёрдо понять кто настоящий учёный, а кто просто соавторствует в чужих трудах или просто «накручивает» свои показатели. В отличие от Google Scholar в РИНЦ нет авторов, представленных псевдонимом, по каждому автору в РИНЦ присутствует полная исчерпывающая информация о месте работы, должности, учёной степени, звании. Есть у каждого автора адрес электронной почты, с автором можно быстро связаться, если есть такая необходимость. Большое количество текстов публикаций находится в открытом бесплатном доступе и с ними всегда можно ознакомиться, ряд текстов публикаций можно приобрести за символические деньги.

Каждый автор, зарегистрированный в РИНЦ, имеет возможность заключить (бесплатно) персональный договор и самостоятельно размещать в библиотеке РИНЦ свои труды и новые, и старые. Каждый автор, при желании, может иметь в базе данных РИНЦ практически всю свою

авторскую библиотеку и представить себя и свою организацию, доступным путём, своим коллегам по науке на весь русскоязычный мир. В свою очередь, это создаёт интерес и к самому автору, и к организации, в которой он трудится. А это для организации имеет большое значение в условиях рыночной конкуренции в сфере науки и образования, имеет значение для привлечения потенциальных студентов и инвесторов научных исследований - это рейтинг и научный авторитет.

Стоит иметь в виду, что полноценное представительство учёных Белорусских университетов в Российском индексе научного цитирования это хороший шанс заявить о себе в гигантском пространстве русскоязычного мира, не замыкаясь в сомнительных рамках Google Scholar и территории Республики Беларусь, так как в России и большинстве стран СНГ Google Scholar не знают и НЕ используются подавляющим большинством научных и образовательных организаций.

Широко на весь мир заявить автору о себе ни Google Scholar, ни Scopus шансов не даёт. В обеих этих системах индексирования отсутствует всё то положительное, что есть в РИНЦ. Обе системы не дают практически никакой информации об авторах и слагаемых показателях их индекса Хирша и индекса цитирования. Поэтому понять, как «специалист по межкомнатным дверям в Киеве» и студентка Marina M. возглавили рейтинг учёных-строителей по версии Google Scholar невозможно. Нет развёрнутой информации о персоналиях рейтингов, нет их почты, телефонов, нет доступа к текстам публикаций и т.д.

Обсуждение результатов. Стартовав одновременно в 2003-2004 годах все три системы индексирования: Google Scholar, Scopus и РИНЦ пришли к разным результатам спустя 17 лет. Google Scholar превратился в пародию на серьёзную рейтинговую систему. Весь рейтинг Google Scholar сегодня - это непродуманная работа. Google Scholar не публикует список охвата научных журналов. Ряд издателей не позволяют Google Scholar индексировать свои журналы. Частота обновления данных также неизвестна. Кроме того, отсутствуют удобные инструменты для пользователя, которые имеются у многих подобных систем.

Scopus развивался по такому же алгоритму, как и Google Scholar – там нет аналитической информации об авторах и их трудах, там такая же зачастую необъективная информация. Отличие Scopus от Google Scholar в том, что это англоязычная система оценки публикационной активности. Волевым путём министерства образования и науки РФ в 2010 г. Scopus был назначен российским научным и образовательным организациям в виде системы, оценивающей качество научных исследований в России. Всех учёных и преподавателей стали обязывать публиковаться в журналах, индексируемых Scopus.

Однако, массового характера такие публикации не приобрели. И это связано не с качеством научных публикаций, а со сложностью системы отбора публикаций в журналах Scopus и сложностью качественного перевода научных трудов на английский язык, без чего труды к публикации не принимались. Откликаясь на проблему публикаций в Scopus, появилась коммерческая система продвижения трудов в журналы Scopus. За хорошие деньги предприниматели предлагали посредничество и перевод статей на английский язык. В 2012 году такая услуга в среднем предлагалась за 25 тыс. российских рублей (около 800 современных белорусских рублей), сегодня ценник вырос и публикации предлагаются к продвижению в Scopus за 100-350 тысяч российских рублей (примерно 3000-10000 белорусских рублей).

Проблему могла решить регистрация русскоязычных, российских журналов в системе Scopus, такая же, как регистрация журналов в РИНЦ, но ориентируясь на возникший спрос Scopus резко поднял цену регистрации и практически все ведущие научные журналы России, Беларуси отказались от регистрации в Scopus. Плата в Scopus обнуляла рентабельность журналов, вынуждала их вводить плату за приём статей к публикации, что в свою очередь резко снижало спрос авторов на публикацию за деньги. К примеру, в такой обширной сфере, как строительство, где издаётся и зарегистрировано в РИНЦ **483** журнала, только один журнал зарегистрирован в Scopus – это «Инженерно-строительный журнал» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Журнал новый, открыт в 2008 году, содержится и за-

регистрирован на средства учредителя – университета. Журнал имеет узкую тематическую направленность, не охватывает все стороны сферы строительства, издаётся 8 раз в год. Хотя члены редколлегии журнала публикуются по мере необходимости в своём журнале, самые активные имеют несколько десятков публикаций практически в половине номеров журнала. Остальные почти 11 тыс. учёных строителей, зарегистрированных в РИНЦ, такой возможности не имеют.

Популярная тема экологии и экологической безопасности – такая же история. Есть единственный журнал Вятского государственного университета (г. Киров, РФ) «Теоретическая и прикладная экология», зарегистрированный в Scopus. Так же декларируется бесплатность публикаций, но опубликоваться экологу со стороны в нём практически невозможно. Поэтому ценность публикации в журналах системы Scopus связана не с гениальностью статей и авторов, а с практической невозможностью такую публикацию сделать в нынешних условиях и с бессмысленностью расходов на такую публикацию не самых богатых учёных и преподавателей современных вузов. Более того, требования и призывы административных вышестоящих органов науки и высшего образования публиковаться в Scopus (а в России такое требование обязательно в ряде вузов для доктора наук с 2020 года, который обязан сделать не менее одной публикации в год в Scopus) практически не выполнимо, хотя стимулируется хорошими, но не соразмерными с затратами на публикацию, премиями и привилегиями при прохождении очередного конкурса на должность ППС.

В Беларуси есть такие же призывы публикации в Scopus и материальные мотивации. Но никто не оценивает ущерб от таких публикаций. Сейчас получается, что русскоязычная, белорусская наука все свои достижения переводит на хороший английский язык и за свой счёт рассказывает всему миру, чего мы достигли в науке. Англоязычный научный мир принимает наши подарки, но сам в свою очередь не докладывает на хорошем русском или белорусском языке о своих достижениях. Старая история, знакомая с советских времён. А пора бы уже учиться на своих ошибках. Не нужны ни нам лично, ни стране публикации наших достижений на Западе без равноценного обмена научной информацией.

Надо наводить порядок и с рейтингами в белорусских университетах и в первую очередь в Гродненском государственном университете имени Янки Купалы. Зачем Гродненскому университету рейтинг Google Scholar, если такой рейтинг – не достоверный, безответственный и даже карикатурный, который только дискредитирует уважаемую образовательную организацию? Ошибочно принятое когда-то решение - взять за основу Google Scholar для построения рейтинга учёных своего университета, необходимо срочно исправлять и убирать Google Scholar из системы оценки публикационной активности ППС Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, как не соответствующий целям и задачам университета.

Наиболее оптимальным и очевидным решением было бы принять в качестве оценочной рейтинговой системы Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), как наиболее достоверный, проработанный и уважаемый мировой рейтинг. Необходимые устранения недостатков российского рейтинга могут выполнить специалисты Гродненского университета, в частности, внедрив предложения, изложенные в предыдущей публикации [9,10].

Сегодня рейтинг ППС и индекс Хирша сотрудников Гродненского государственного университета имени Янки Купалы базируется на Google Scholar. Из первых 10 сотрудников ППС ГрГУ этого рейтинга, 4 человек не зарегистрированы в РИНЦ. Из сотрудников ППС, занимающих 11-20 места в рейтинге Google Scholar также 4 не зарегистрированы в РИНЦ. Из 12 зарегистрированных в РИНЦ показатели в Google Scholar лучше, чем в РИНЦ у 10 ППС, у двоих показатели в РИНЦ значительно лучше, чем в Google Scholar.

Учитывая, что мировые рейтинговые агентства работают с показателями количества публикаций, с показателями цитирования публикаций сотрудников университетов стран бывшего СССР, предоставленными именно Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) получается когнитивный диссонанс: рейтинг ГрГУ им. Янки Купалы строится на показателях РИНЦ, а в РИНЦ из 723 сотрудников университета зарегистрировано только 382 человек – по-

ловина. Рейтинг же ППС строится на сомнительной системе Google Scholar, которая серьёзными рейтинговыми агентствами в расчёт не принимается. Надо исправлять.

Вывод. 1. Нам нужна своя (!!!) методика оценки качества образования и науки, отражающая нашу специфику [4, 5, 13-15].

2. Необходимо разработать инструменты и ввести в действие объективную методику оценки научной эффективности преподавателей, учёных, организаций, исключая учёт неоправданного соавторства, самоцитирования, искажающих объективный вклад в науку и поощряющий манипуляции этими показателями [11, 12].

3. Необходимо отказаться от попыток попасть в рейтинги Запада по их критериям оценки университетов. Присутствие заслуженных и авторитетных российских и белорусских университетов в «мусорной зоне» рейтингов или в рейтингах третьеразрядных, по мнению западных экспертов, развивающихся стран (раздел рейтинга QS - EЕCA (Emerging Europe and Central Asia – развивающаяся Европа и Центральная Азия) дискредитирует наше образование, науку и учёных.

Библиографический список:

1. Академический рейтинг мировых университетов // Academic Ranking of World Universities (ARWU) [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://www.shanghairanking.com/ARWU2019.html>. – Дата доступа: 13.07.2020.
2. Мировой рейтинг университетов 2020 // The Times Higher Education World University Rankings 2020 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2020/world-ranking#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/stats. – Дата доступа: 13.07.2020.
3. Топ-вариативность, мировой рейтинг университетов 2020 // topuniversities, world university rankings 2020 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2020>. – Дата доступа: 23.06.2020.
4. Большеротов, А. Л. Состояние экологического образования и науки в строительной отрасли / А. Л. Большеротов // М.: Жилищное строительство. 2012. № 2. С. 23–27.
5. Рейтинги: гонка лидеров // [Электронное издание] // Йошкар-Ола: «Аккредитация в образовании» - 2017. -№1 (93). - С.21-29
6. Система индексации Google Scholar. [Электронный ресурс]. - 2020. – Режим доступа: https://scholar.google.com/citations?hl=ru&view_op=search_authors&mauthors=label:%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE. - Дата доступа: 15.07.2020.
7. РИНЦ [Электронный ресурс]. - 2020. – Режим доступа: <https://elibrary.ru>. - Дата доступа: 15.07.2020.
8. Профиль в РИНЦ [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=938409. - Дата доступа: 15.07.2020
9. Орлов А.И. Наукометрия и управление научной деятельностью / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Управление большими системами: сборник трудов. 2013. № 44. С. 538-568.
10. Герасимова В.А. Компетентностный подход к моделированию структуры основной образовательной программы / В.А. Герасимова, О.М. Шикунская, М.И. Шукульский // Вестник ДагГТУ. Технические науки. 2015. Том 39. №4. С. 38-45.
11. Георгиев, Г.П. Индекс Хирша надо исключить из оценки ученых [Электронное издание] / Г.П. Георгиев// Наука и технологии РФ. – 2011. – Режим доступа: http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=221&d_no=43481 - Дата доступа: 05.11.19.
12. Писляков В.В. Методы оценки научного знания по показателям цитирования / В.В. Писляков // М.: Строительные материалы. 2009. № 3. С. 89–93.
13. Исмаилова Ш.Т. Информационно-аналитическая модель выбора методов управления по степени их влияния на эффективность производственной деятельности строительных организаций / Ш.Т. Исмаилова, В.Б. Мелехин, В.М. Хачумов// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. Том 44. №3. С. 210-221.
14. Мейланов И.М. Развитие форм государственной поддержки проектов промышленного строительства / И.М. Мейланов, А.М. Эсетова// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. Том 42. №3. С. 220-230.
15. Султалиева З.М. Совершенствование системы обеспечения качества деятельности учреждений высшего образования / З.М. Султалиева// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. Том 41. №2. С. 170-178.

References:

1. Akademicheskiy reyting mirovykh universitetov // Akademicheskiy reyting mirovykh universitetov (ARWU) [Elektronnyy resurs]. - 2020 g. - Rezhim dostupa: <http://www.shanghairanking.com/ARWU2019.html>. - Data dostupa: 13.07.2020. [Academic rating of the world universities (Akademicheskij reyting mirovykh universitetov) 2020 [Electronic resource].
2. World ranking of universities 2020 (Mirovoj reyting universitetov 2020) 2020 [Electronic resource].
3. Topuniversities, world university rankings 2020 (Top-variativnost', mirovoj reyting universitetov 2020) 2020 [Electronic resource].
4. Bolsherotov A. L. State of Ecological Education and Science in the Construction Industry (Sostoianie ekologicheskogo obrazovaniia i nauki v stroitel'noi otrasli) / A. L. Bolsherotov//M.: Housing Construction. 2012. № 2. Pp. 23-27.
5. Reytingi: gonka liderov // [Elektronnoye izdaniye] // Yoshkar-Ola: «Аккредитация в образовании» - 2017. -№1 (93). - S.21-29 [Ratings: leaders race/[Electronic edition]/Yoshkar-Ola: "Accreditation in Education" - 2017. – No. 1 (93). pp.21-29. (In Russ.)]
6. System of indexation Google Scholar (Sistema indeksacii Google Scholar) [Electronic resource].

7. RINTS [Elektronnyy resurs]. - 2020 g. - Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru>. - Data dostupa: 15.07.2020. [RISC (RINC) [Electronic resource] (In Russ)]
8. Profil' v RINTS [Elektronnyy resurs]. 2020. Rezhim dostupa: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=938409. - Data dostupa: 15.07.2020 [Profile in RISC (Profil v RINC) [Electronic resource] (In Russ)]
9. Orlov A.I. Naukometriya i upravleniye nauchnoy deyatel'nost'yu. V.A. Trapeznikova RAN. Upravleniye nizkimi trebovaniyami: sbornik trudov. 2013. № 44. S. 538-568. [Orlov A.I. Science and Scientific Management/Institute of Management Problems named after V.A. Trapeznikov RAS. Management of large systems: a collection of works. 2013. № 44. pp. 538-568. (In Russ.)]
10. Gerasimova V.A. Kompetentnostnyy podkhod k modelirovaniyu struktury osnovnoy obrazovatel'-noy programmy / V.A. Gerasimova, O.M. Shikul'skaya, M.I. Shukul'skiy // Vestnik DagGTU. Tekhnicheskiye nauki. 2015. Tom 39. №4. S. 38-45. [Gerasimova V.A. Competent approach to modeling the structure of the main educational program/V.A. Gerasimova, O.M. Shikul'skaya, M.I. Shukul'skiy// Herald of the Daghestan State Technical University. Technical sciences. 2015. Vol. 39. No. 4. pp. 38-45. (In Russ.)]
11. Georgiyev, G.P. Indeks Khirsha nado isklyuchit' iz otsenok uchenykh [Elektronnoye izdaniye] / G.P. Ge-orgiyev // Nauka i tekhnologii RF. - 2011. - Rezhim dostupa: http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=221&d_no=43481 - Data dostupa: 05.11.19. [Georgiev G.P. Hirsch Index should be excluded from the assessment of scientists (Indeks hirsha nado iskluchit iz ochenki uchenih) Nauka I tehnologii, 2011 [Electronic Edition]. (In Russ.)]
12. Pislyakov V.V. Metody otsenki nauchnogo znaniya po pokazatelyu tsitirovaniya / V.V. Pislyakov // M.: Stroitel'nyye materialy. 2009. № 3. S. 89-93. [Pislyakov V. V. Methods of assessment of scientific knowledge by citation indicators (Metody ocenki nauchnogo znaniya po pokazatelyam citirovaniya)/Pislyakov V.V./M.: Construction materials. 2009. No 3. pp. 89-93. (In Russ)]
13. Ismailova Sh.T. Informatsionno-analiticheskaya model' vybora metodov upravleniya po stepeni ikh vliyaniya na effektivnost' proizvodstvennoy deyatel'nosti stroitel'nykh organizatsiy / Sh.T. Ismailova, V.B. Melekhin, V.M. Khachumov // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2017. Tom 44. №3. S. 210-221. [Ismailova Sh.T. Informational and analytical model of selection of management methods according to the degree of their influence on the efficiency of production activities of construction organizations/S.T. Ismailova, V.B. Melekhin, V.M. Khachumov .Herald of the Daghestan State Technical University. Technical sciences. 2017. Vol. 44. No. 3. pp. 210-221. (In Russ)]
14. Meylanov I.M. Razvitiye form gosudarstvennoy podderzhki proyektov promyshlennogo stroitel'stva-stva / I.M. Meylanov, A.M. Esetova // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2016. Tom 42. №3. S. 220-230. [Meylanov I.M. Development of forms of state support for industrial construction projects/I.M. Meylanov, A.M. Esetova// Herald of the Daghestan State Technical University. Technical sciences. 2016. Vol 42, No. 3. pp. 220-230. (In Russ)]
15. Sultaliyeva Z.M. Sovershenstvovaniye sistemy obespecheniya kachestva deyatel'nosti vysshego obrazovaniya / Z.M. Sultaliyeva // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universi-teta. Tekhnicheskiye nauki. 2016. Tom 41. №2. S. 170-178 [Sultaliyeva Z.M. Improvement of the system of quality assurance of higher education institutions/Z.M. Sultanieva/Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016. Vol. 41. No. 2. pp. 170-178. (In Russ)]

Сведения об авторе:

Большеротов Аркадий Леонидович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительного производства; e-mail: bark1091@mail.ru

Information about the authors:

Arkadiy L. Bolsherotov, Dr. Sci., (Technical), Assoc. Prof., Prof., Department of construction production; e-mail: bark1091@mail.ru

Конфликт интересов .

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 08.05.2020.

Принята в печать 11.06.2020.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 08.05.2020.

Accepted for publication 11.06.2020.

Для цитирования: Д.А. Короченцев, Л.В. Черкесова, К.А. Намавир. Имитационная модель идентификации угроз нарушения информационной безопасности, возникающих за счет низкочастотных акустоэлектрических преобразований Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 65-74. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-65-74

For citation: D. A. Korochentsev, L. V. Cherkesova, K. A. Namavir. A simulation model for identifying information security threats from low-frequency acoustoelectric transformations. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 65-74. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-65-74

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

УДК 004.056/ББК 32.81

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-65-74

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ УГРОЗ НАРУШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ЗА СЧЕТ НИЗКОЧАСТОТНЫХ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Д.А. Короченцев, Л.В. Черкесова, К.А. Намавир
Донской государственный технический университет,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия

Резюме. Цель. В статье рассмотрены физические основы формирования технического канала утечки информации, возникающего за счет низкочастотных акустоэлектрических преобразований. **Метод.** Исследование основано на методах имитационного моделирования. Применена методика инструментально-расчетного контроля защищенности речевой информации в рассматриваемом канале утечки информации. **Результат.** На основе разработанной имитационной модели, используя паттерн проектирования MVP, разработано программное средство. Представлены основные классы программного средства, реализующего модель. Продемонстрирован функционал разработанного программного средства и даны рекомендации по возможному применению имитационной модели идентификации угроз нарушения информационной безопасности, возникающих за счёт низкочастотных акустоэлектрических преобразований. **Вывод.** Разработанная имитационная модель может использоваться специалистами по безопасности, как крупных, так и малых предприятий, реализующих мероприятия по защите информации. Модель создает условия для её активного внедрения в образовательный процесс подготовки специалистов в области информационной безопасности, с применением, как традиционных (в виде контактной работы), так и дистанционных форм обучения

Ключевые слова: объект информатизации, акустоэлектрические каналы утечки информации, защита информации, угроза информационной безопасности, имитационная модель, информационная безопасность

A SIMULATION MODEL FOR IDENTIFYING INFORMATION SECURITY THREATS FROM LOW-FREQUENCY ACOUSTOELECTRIC TRANSFORMATIONS

D.A. Korochentsev, L.V. Cherkesova, K.A. Namavir
Don State Technical University,
1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russia

Abstract. Aim. The article considers the physical basis for the formation of a technical channel of information leakage due to low-frequency acoustoelectric transformations. **Methods.** The research was based on simulation modelling methods. The method of instrumental and computational control of the security of speech information in the considered channel of information leakage was applied. **Results.** Based on the developed simulation model, using the Model-View-Presenter design pattern, a software tool was

*developed. The main software classes implementing this model are presented. The functionality of the developed software tool is demonstrated and recommendations are given on the possible application of the developed simulation model for identifying threats to information security due to low-frequency acoustoelectric transformations. **Conclusion.** The developed simulation model can be used by security specialists at both large and small enterprises, which implement measures for ensuring information protection. The model creates conditions for its active implementation in the educational process of training specialists in the field of information security, using both traditional (contact work) and distance learning formats.*

Keywords: *computerization object, acoustoelectric channels of information leakage, information protection, threat to information security, simulation model, information security*

Введение. В настоящее время техническая защита информации приобретает все большее значение. Это обусловлено, прежде всего, активным развитием методов и средств добывания информации, позволяющих несанкционированно получать все больший объём информации на безопасном расстоянии, оснащением служебных и жилых помещений, а в последнее время автомобилей и других транспортных средств, разнообразной электро- и радиоэлектронной аппаратурой, являющейся источником случайных опасных сигналов.

Постановка задачи. Построение эффективной системы защиты информации возможно лишь при условии полного и всестороннего обследования объекта информатизации (ОИ) на наличие возможных технических каналов утечки информации (ТКУИ) [4, 8, 12].

Практически на любом ОИ находятся те или иные технические средства (ТС), относящиеся к вспомогательным техническим средствам и системам (ВТСС): телефоны, датчики пожарной и охранной сигнализации, системы диспетчерской (громкоговорящей) связи, оргтехника, системы связи и т.д. [1, 5, 6, 17–19]. Эти ТС в нормальном режиме работы могут образовывать технические каналы утечки информации.

Достаточно хорошо известны способы несанкционированного получения защищаемой информации за счёт подключения технических средств разведки (ТСР) к функциональным линиям указанных ВТСС.

В качестве ТСР, например, могут выступать малошумящие усилители низкой частоты с высоким коэффициентом усиления и специальными наборами элементов подключения [5, 11, 13, 14, 16, 17]. Подобные каналы утечки создаются за счёт явления акустоэлектрических преобразований (АЭП) в элементах технических средств.

Проявление АЭП рассматриваемых ТКУИ в большинстве случаев не связано с качеством исполнения того или иного ТС, а является сопутствующим его деятельности.

В общем случае, канал утечки информации, образованный за счёт АЭП, можно разделить на низкочастотный (НЧ) и высокочастотный (ВЧ) каналы утечки информации [1, 5, 14].

Для идентификации технических каналов утечки информации, образованных за счёт НЧ акустоэлектрических преобразований, на объекте информатизации проводятся специальные исследования, позволяющие оценить значения величины отношения «информативный сигнал / шум» Δ_i и словесной разборчивости речи W на выходных контактах ТС.

Специальные исследования проводятся в соответствии с методикой инструментально–расчётного контроля защищенности речевой информации в канале НЧ АЭП (далее – Методика) [1, 14].

Методы исследования. Методика инструментально–расчётного контроля защищенности речевой информации в канале НЧ АЭП предназначена для оценки защищенности акустической речевой информации от утечки, возникающей в результате низкочастотных акустоэлектрических преобразований, когда информативные сигналы, содержащие акустическую речевую информацию, могут быть зарегистрированы в виде электрических сигналов в линиях связи технических средств, в шине заземления, в проводах сети электропитания, а также при воздействии на ТС звуковых колебаний, возникающих при произношении или воспроизведении речи.

Сущность рассматриваемой Методики [2, 3, 5, 7, 16] заключается в том, что ТС подвергается акустическому воздействию тональным сигналом на среднегеометрической частоте октавы F_i , где i – номер октавы.

На выходных контактах ТС измеряется уровень сигнала и шума U_{cui} . Одновременно измеряется звуковое давление тонального сигнала в месте расположения ТС L_i .

Затем источник акустического сигнала выключается и измеряется уровень шума U_{ui} . По результатам обработки результатов измерений выполняется оценка отношения «сигнал/шум» в i -й октаве Δ_i на выходе вспомогательного технического средства и/или системы, и сравнение с нормативным значением Δ_n .

При выполнении неравенства

$$\Delta_i \leq \Delta_n \quad (1)$$

считается, что проверяемое ВТСС не подвержено явлению низкочастотных акустоэлектрических преобразований.

В противном случае, производится расчёт значения словесной разборчивости речи W_c . Рассчитанное значение W_c сравнивается с нормированным значением W_n [16, 5].

При выполнении неравенства

$$W_c \leq W_n \quad (2)$$

устанавливается, что проверяемое ВТСС не подвержено НЧ АЭП.

В противном случае необходимо провести оценку возможностей перехвата речевой информации из защищаемого помещения по каналу низкочастотного акустоэлектрического преобразования, для чего необходимо определить коэффициент затухания $K_{л,i}$ опасных сигналов исследуемой линии на среднегеометрических частотах октавных полос [16].

С учётом $K_{л,i}$ исследуемой линии на среднегеометрических частотах октавных полос рассчитывается отношение «сигнал/шум» на границе контролируемой зоны (КЗ) в i -й октаве Δ_i^* .

При выполнении неравенства

$$\Delta_i^* \leq \Delta_n \quad (3)$$

считается, что проверяемое ВТСС подвержено НЧ АЭП, однако характеристики исследуемой линии не позволяют случайному опасному сигналу выйти за границы КЗ.

Если неравенство (3) не выполняется, то производится расчёт значения словесной разборчивости речи W_c^* , которое в дальнейшем сравнивается с нормированным значением.

При выполнении неравенства

$$W_c^* \leq W_n \quad (4)$$

устанавливается, что проверяемое ВТСС считается защищённым от утечки информации за счёт явления низкочастотных акустоэлектрических преобразований, в противном случае принимается решение о необходимости использования активных или пассивных методов защиты информации.

Концептуально рассматриваемую методику можно представить в виде имитационной модели, графически изображенной на рис.1.

Для определения подверженности вспомогательных технических средств и систем явлению низкочастотных акустоэлектрических преобразований собирают специальный измерительный стенд, общая структура которого представлена на рис.2.

После сборки измерительного стенда, генератор низкой частоты настраивают на среднегеометрическую частоту 1-й октавы и измеряют уровни звукового давления L_i и электрического сигнала и шума U_{cui} на выходных контактах ТС на частоте 1-й октавы.

Далее, генератор низкой частоты выключается, и измеряется уровень электрического шума на выходных контактах ТС U_{ui} в полосе пропускания фильтра анализатора (за уровень шумов принимается минимальное значение U_{ui} , зафиксированное в течение 30 с непрерывного измерения).

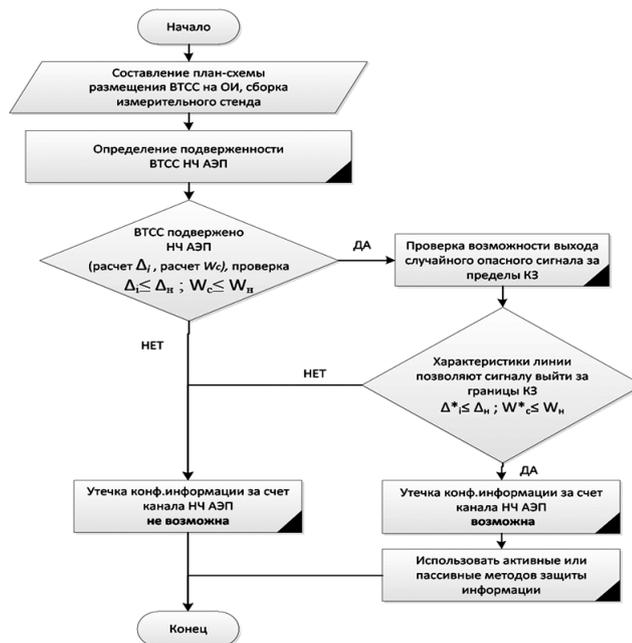


Рис. 1. Имитационная модель определения технических каналов утечки информации за счёт низкочастотных акустоэлектрических преобразований
Fig. 1. Simulation model for determining technical channels of information leakage due to low-frequency acoustoelectric transformations

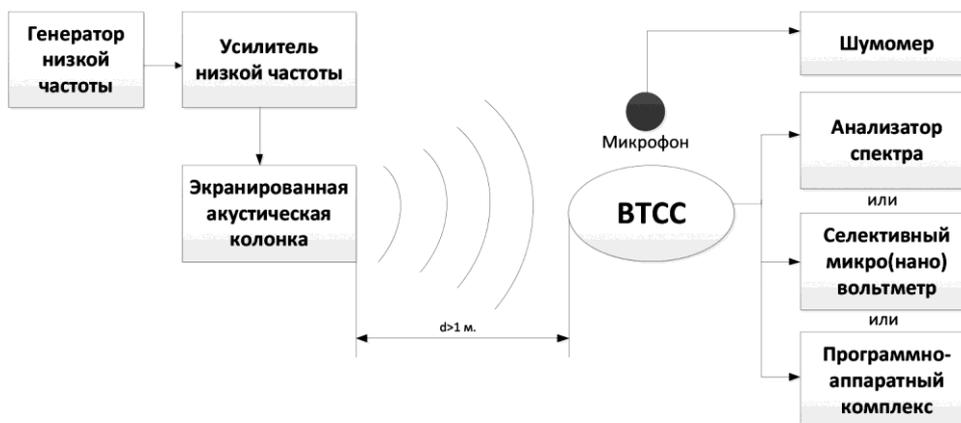


Рис. 2. Специальный измерительный стенд, используемый для определения канала низкочастотных акустоэлектрических преобразований
Fig. 2. A special measuring stand used to determine the channel of low-frequency acoustoelectric conversions

Для среднегеометрических частот 2–5 октав измерения проводятся аналогично. В том случае, если применяются средства пассивной или активной защиты, то измерения проводятся аналогично, с той разницей, что дополнительно измеряется уровень шумов с отключенным средством защиты.

При невыполнении неравенства (3) и необходимости определения $K_{л,i}$, собирают схему, представленную на рис. 3, и в точке отключения ВТСС на i -й частоте в исследуемую линию подают сигнал от генератора сигналов и измеряют пробником напряжение этого сигнала в двух точках: вблизи подачи сигнала в линию в точке $T1(U_{1,i})$ и на границе КЗ в точке $T2(U_{2,i})$.

Результаты измерений фиксируются в протоколе специальных исследований. Специальные исследования на подверженность явлению низкочастотных акусто-электрических преобразований проводятся для всех возможных режимов работы ВТСС и для всех возможных вариантов подключения технического средства разведки к ВТСС.

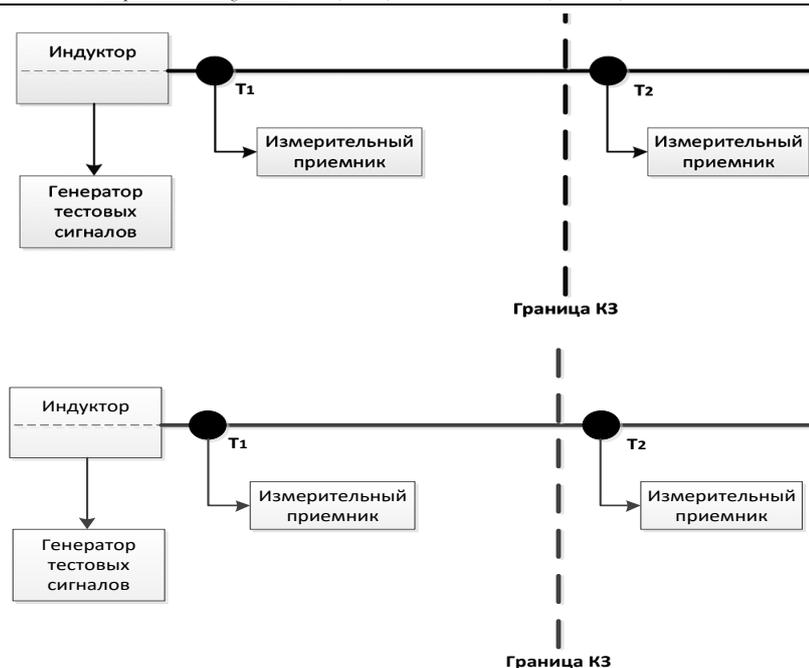


Рис. 3. Схема измерения коэффициента затухания исследуемой линии ВТСС
Fig. 3. Circuit for measuring the attenuation coefficient of the investigated VTSS line

Порядок обработки результатов измерений и расчета Δ_i (Δ_i^*), W_c (W_c^*) приведен в [2, 3, 5, 16].

Обсуждение результатов. Имитационная модель идентификации угроз нарушения информационной безопасности, возникающих за счет НЧ АЭП, реализована посредством программного средства, компоненты которого разрабатывались на языке C#, с использованием платформы .NET Framework 2.0 – 4.5.2. в среде разработки Unity3D 2018.4 и JetBrains Rider.

В качестве паттерна проектирования рассматриваемого программного средства использовался паттерн «Модель–Вид–Представитель» (Model–View–Presenter (MVP)) [9, 10, 20].

Основными классами программного средства, реализующими используемый паттерн проектирования «Модель–Вид–Представитель», являются следующие:

- **Task** – класс задачи, содержащий в себе интерфейс условия `ITaskCompleteChecker` и возвращающий в систему состояние условия (выполнен / не выполнен). На основе этого класса строится система этапов, которая проверяет выполнение всех задач, принадлежащих данному этапу (например, условия вида «установка генератора низкой частоты», «расстояние между экранированной акустической колонкой и ВТСС», «расстояние между вспомогательным техническим средством и/или системой и анализатором спектра» и др.);

- **IDataProvider** – интерфейс, определяющий тип данных, необходимых классу, который запрашивается (например: класс `CalculationTableLabLFAT` – это таблица в протоколе с результатами специальных исследований, а `CalculationTableLabLFATProvider` – класс, реализующий интерфейс `IDataProvider` с параметром `CalculationTableLabLFAT` и предоставляющий рассматриваемую таблицу протокола специальных исследований);

- **TestBenchForLFAT** – класс, который реализует логику работы измерительного стенда. Этот класс проверяет условия сборки измерительного стенда и моделирует значения параметров используемых технических средств в соответствии в выбранным вариантом (например: уровень звукового давления акустического сигнала на среднегеометрической частоте 1-й октавы; уровень электрического сигнала и шума на выходных контактах ВТТС на частоте 1-й октавы и т.д.);

- **TableView** – класс, реализующий обработку результатов измерений. Рассматриваемый класс принимает модель данных, в соответствии с которой строит отображение. Модель данных не только содержит в себе информацию о том, какую структуру имеют данные, но и какие логические связи есть с другими моделями данных, а также как они рассчитываются.

При запуске программного средства появляется пользовательский интерфейс, который состоит из четырёх основных компонентов: панель «Меню» (1), панель устройств (2), рабочая область (3), список задач (4) (рис.4).

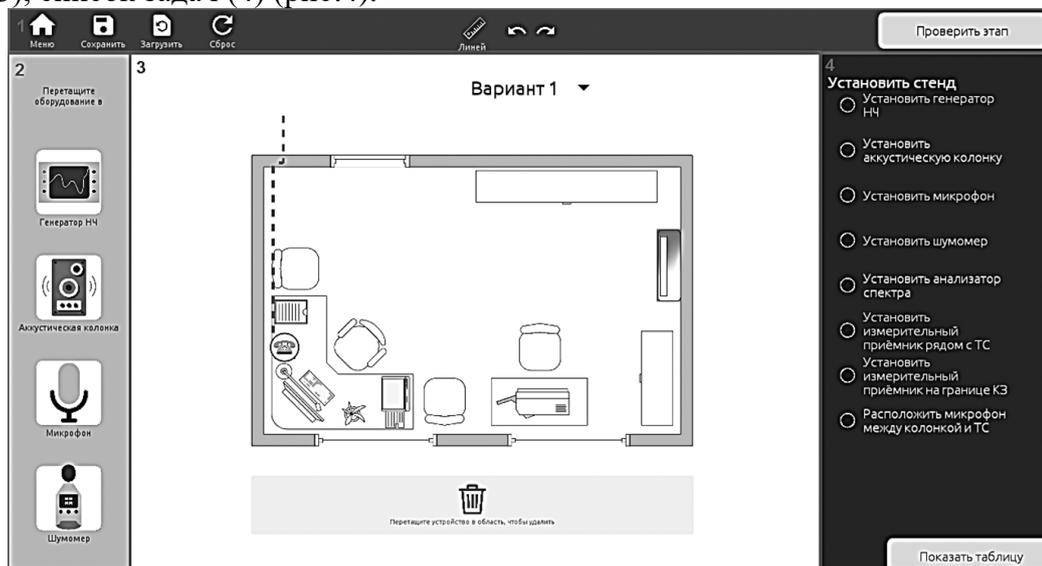


Рис. 4. Пользовательский интерфейс программного средства

Fig. 4. User interface of the software

Панель «Меню» содержит в себе основные элементы управления. Среди них находится кнопка возврата в описательную часть имитационной модели (кнопка «Меню»), кнопка сброса хода этапа специальных исследований ОИ, кнопка вызова инструмента «Линейка» и кнопка проверки правильности выполнения этапов специальных исследований ОИ в соответствии с Методикой. Кнопка линейки является переключателем.

Сам инструмент «линейка» работает только в пределах рабочей области и позволяет измерять расстояние между двумя точками (например, между ВТСС и экранированной акустической колонкой) (рис.5).

Кнопка выполнения этапа является контекстной, и в зависимости от состояния либо выполняет проверку этапа специальных исследований объекта информатизации, либо вызывает таблицу из протокола.

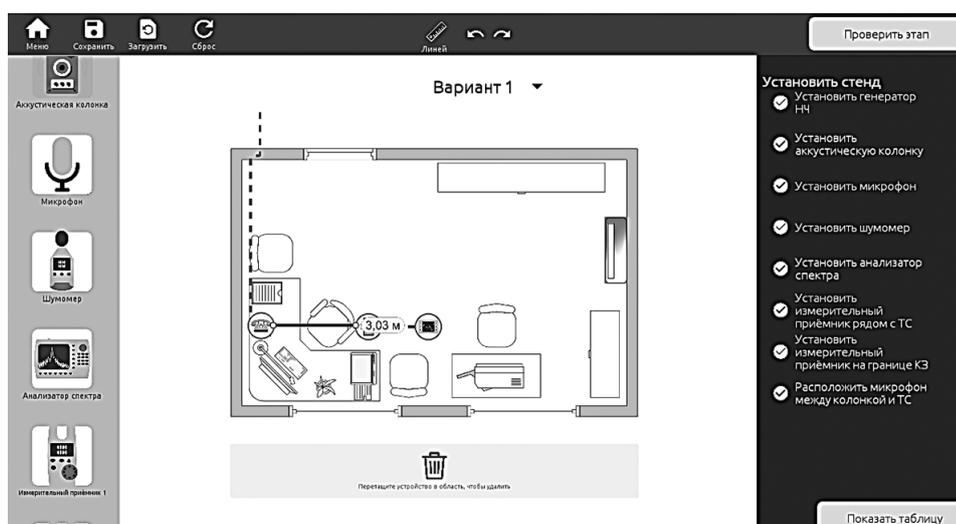


Рис. 5. Измерение расстояния между ВТСС и экранированной акустической колонкой

Fig. 5. Measurement of the distance between the VTSS and the shielded speaker

Панель инструментов содержит в себе необходимое контрольно–измерительное оборудование (КИО), используемое при проведении специальных исследований ОИ, и представляет собой пиктограмму и подпись с названием.

Рабочая область содержит в себе план-схему объекта информатизации, область для удаления КИО и меню выбора вариантов, в виде выпадающего списка, (в качестве вариантов используются различные ОТСС, часто размещаемые на объекте ОИ, например, на рисунке 4 представлен вариант 1, ВТСС – телефонный аппарат). При смене варианта происходит сброс всего проделанного процесса.

Рабочая область, в пределах которой производится сборка измерительного стенда, представляет собой объект информатизации со схематично изображенными ограждающими конструкциями, техническими средствами, предметами интерьера, мебелью. В нижней части рабочей области имеется область для удаления, при перетягивании в которую контрольно–измерительное оборудование удаляется из рабочей области и появляются на панели устройств.

Список задач содержит в себе этапы Методики, разбитые на подзадачи, которые необходимо выполнить для завершения этапа. Каждая подзадача имеет соответствующий маркер, который отображает её состояние ((выполнено или не выполнено), рис. 5).

Первым этапом Методики является сборка специального измерительного стенда, в соответствии схемой, представленной на рис. 2. Для этого необходимо выбрать КИО на панели устройств и перетащить его в рабочую область. После нажатия на кнопку проверки выполнения этапа, программа произведёт проверку условий и отметит те, которые были успешно выполнены. Помимо этого, для проверки правильности расположения КИО относительно друг друга и ВТСС, можно воспользоваться линейкой (рис.5).

После того, как специальный измерительный стенд был собран в соответствии с правилами проведения инструментального контроля, необходимо произвести измерения и получить исходные данные для расчета $\Delta_i(\Delta_i^*)$, $W_c(W_c^*)$.

Для этого необходимо нажать по пиктограмме соответствующего КИО (например, анализатору спектра или шумомеру) в рабочей зоне, вызвав тем самым диалоговое окно, в котором будут отображаться результаты измерений. В диалоговых окнах некоторого КИО есть элементы управления (например, в диалоговом окне акустической колонки есть переключатель её состояния (вкл./выкл.), а в окне генератора НЧ можно перестраивать среднегеометрическую частоту генерируемого сигнала с 1–й по 5–ю октавы). На рис. 6 графически изображено проведение измерений уровней звукового давления L_I и электрического сигнала и шума U_{cu1} на выходных контактах ТС на частоте 1–й октавы (275 Гц).

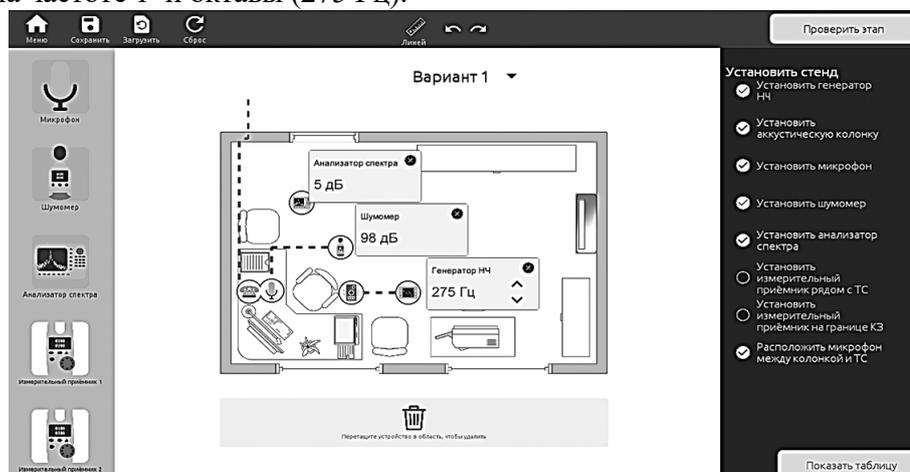


Рис. 6. Проведение измерений уровней звукового давления и электрического сигнала и шума на выходных контактах ВТТС на частоте 275 Гц

Fig. 6. Carrying out measurements of the levels of sound pressure and electrical signal and noise at the output contacts of VTTS at a frequency of 275 Hz

После того, как проведены измерения значений уровней звукового давления L_i , электрического сигнала и шума U_{cui} на выходных контактах ТС, электрического шума на выходных контактах ТС U_{ui} , а в случае невыполнения неравенств 1 и 2, напряжения сигнала в точках Т1($U_{1,i}$) и Т2($U_{2,i}$), на среднегеометрических частотах всех октав, они заносятся в протокол специальных исследований ОИ (таблица 1, появляющаяся после нажатия контекстной кнопки в панели «Список задач», рис. 7).

Среднегеометрическая частота октавы, Гц	Нормир. уровень звукового давления, дБ	Измеренный уровень звукового давления, дБ	Напряжение "Сигнал + шум", дБ	Напряжение шума, дБ	Напряжение в линии связи между контактами Т1, мВ	Напряжение в линии связи между контактами К3 Т2, мВ
275	66	98	5	1	125	41.2
525	66	97.5	4	3	98	52.4
1025	61	99	9	2	220.4	125.1
2025	56	96.8	12	1	115.5	25.2
4025	53	91.2	19	1	186.3	55.1

Рис. 7. Таблица значений, измеренных с помощью КИО
 Fig. 7. Table of values measured with КИО

Далее, производится обработка результатов измерений и расчет $\Delta_i(\Delta_i^*)$, $W_c(W_c^*)$ [2, 3, 5, 16]. Результаты расчетов вручную заносятся в таблицу протокола специальных исследований, которая визуально разделена на таблицы 1-4 (рис. 8).

Среднегеометрическая частота октавы, Гц	Напряжение "Сигнал + шум", мкВ	Напряжение шума, мкВ	Напряжение сигнала, мкВ	Коэф-т превышения звукового давления над нормой	Напряжение сигнала, деленное на звуковую частоту, мВ/Гц
275	1.778	1.122	1.38	39.811	0.035
525	1.585	1.413	0.72	37.584	0.019
1025	2.818	1.259	2.52	79.433	0.032
2025	3.981	1.122	3.82	109.648	0.032
4025	8.913	1.122	8.84	81.283	0.109

Рис. 8. Результат проверки расчетов по измеренным значениям
 Fig. 8. Result of verification of calculations based on measured values

Дополнительным функционалом таблиц 2–4 является проверка результатов расчёта, полученных в соответствии с порядком обработки результатов измерений. Если в ячейку таблицы было внесено правильное значение, после нажатия кнопки «Проверить», цвет заливки ячейки изменится на зеленый, в противном случае ячейка окрасится красным.

Вывод. Выполненная в виде программного средства имитационная модель идентификации угроз нарушения информационной безопасности, возникающих за счёт явления низкочастотных акустоэлектрических преобразований, позволяет, варьируя набором исходных данных (выбор вариантов используемых вспомогательных технических средств и / или систем), моделировать ситуации, при которых рассматриваемый технический канал утечки информации может быть актуальным (расчёт $\Delta_i(\Delta_i^*)$, $W_c(W_c^*)$ и проверка выполнения неравенств 1–4).

Такая имитационная модель может использоваться специалистами по безопасности как крупных, так и малых предприятий, реализующих мероприятия по защите информации. Помимо этого, указанная модель создает условия для её активного внедрения в образовательный процесс подготовки специалистов в области информационной безопасности, с применением, как традиционных (в виде контактной работы), так и дистанционных форм обучения.

Разработанная имитационная модель может использоваться при изучении таких дисциплин как: «Техническая защита информации», «Технические средства защиты информации», «Аттестация объектов информатизации» и др.

Библиографический список:

1. Бузов Г.А., Калинин С.В., Кондратьев А.В. Защита от утечки информации по техническим каналам: Учебное пособие. - М.: Горячая линия - Телеком, 2005. 416 с.
2. Волков Д.С., Козлов А.О. Методика оценки защищенности систем передачи данных от утечки речевой конфиденциальной информации по каналам электроакустических преобразований // Научный поиск. 2014. № 2.5, с. 4-6.
3. Временная методика оценки защищенности основных технических средств и систем...: Нормативно-методический документ // Сборник временных методик оценки защищенности конфиденциальной информации от утечки по техническим каналам. - М.: Гостехкомиссия России, 2002.
4. ГОСТ Р 51275-2006. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения. - Введ. 01.02.2008 - М.: Стандартинформ, 2006. — 12 с.
5. Дураковский А.П., Куницын И.В., Лаврухин Ю.Н. Контроль защищенности речевой информации в помещениях. Аттестационные испытания вспомогательных технических средств и систем по требованиям безопасности информации: Учебное пособие. - М.: НИЯУ МИФИ, 2015. - 152 с.
6. Емельянов С.Л. Техническая разведка и технические каналы утечки информации // Системы обработки информации. - 2010. - Вып. 3. - С. 20-23.
7. Железняк В. К., Макаров Ю. К., Хорев А. А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. - М.: 2000. № 4, с. 39-45.
8. Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Технические средства и методы защиты информации. М.: Машиностроение, 2009. - 507 с.
9. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы / Ю.Н. Павловский. — М.: Фазис: ВЦ РАН, 2000. С. 134.
10. Паттерны разработки: MVC vs MVP vs MVVM vs MVI // URL: <https://habr.com/ru/post/344184/>
11. Скрипник Д.А. Общие вопросы технической защиты информации. URL [http:// www. intuit. ru /goods_store/ebooks/8563](http://www.intuit.ru/goods_store/ebooks/8563)
12. Специальные требования и рекомендации по защите конфиденциальной информации (СТР-К), Госкомиссия России. - М.: 2001 г.
13. Титов А.А. Инженерно-техническая защита информации: Учебное пособие для студентов специальностей «Организация и технология защиты информации», «Комплексная защита объектов информатизации» и «Информационная безопасность телекоммуникационных систем». - Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010. - 197 с.
14. Торокин А.А. Инженерно-техническая защита информации. - М.: Гелиос АРВ, 2005
15. Халяпин Д.Б. Акустоэлектрические, акустопреобразовательные каналы утечки информации и возможные способы их подавления. М.: «Мир безопасности», № 5, с. 47-53
16. Хорев А.А. Контроль эффективности защиты вспомогательных технических средств // Защита информации. Инсайд. - Издательский дом «Афина», СПб.: 2009. - № 1, с. 42-52
17. Хорев А.А. Технические каналы утечки акустической (речевой) информации // Специальная техника. - М.: 2009. - № 5, с. 12-26
18. Хорев А.А., Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации. - М.: Гостехкомиссия РФ, 1998. - 320 с.
19. Хорев А.А. Способы и средства защиты информации. Учебное пособие. - М.: МО РФ, 2000. - 316 с.
20. Common Software Architectural Patterns in a nutshell / Vijini Mallawaarachchi // Towards Data Science [Электронный ресурс] URL: <https://towardsdatascience.com/10-common-software-architectural-patterns-in-a-nutshell-a0b47a1e9013>

References:

1. Buzov G.A., Kalinin S.V., Kondrat'yev A.V. Zashchita ot utechki informatsii po tekhnicheskim kanalām: Uchebnoye posobiye. - M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2005. 416 s. [Buzov G. A., Kalinin S. V., Kondratyev A.V. Protection against information leakage through technical channels: the manual. - Moscow: Hotline-Telecom, 2005. 416 p. (In Russ)]
2. Volkov D.S., Kozlov A.O. Metodika otsenki zashchishchennosti sistem peredachi dannykh ot utechki rechevoy konfidentsial'noy informatsii po kanalām elektroakusticheskikh preobrazovaniy // Nauchnyy poisk. 2014. № 2.5, s. 4-6. [Volkov D. S., Kozlov A. O. Method of assessing the security of data transmission systems from leakage of speech confidential information through channels of electroacoustic transformations // Scientific search. 2014. No. 2.5, pp. 4-6. (In Russ)]
3. Vremennaya metodika otsenki zashchishchennosti osnovnykh tekhnicheskikh sredstv i sistem...: Normativno-metodicheskiy dokument // Sbornik vremennykh metodik otsenki zashchishchennosti konfidentsial'noy informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalām. - M.: Gostekhkomissiya Rossii, 2002. [A temporary method for assessing the security of basic hardware and systems... Normative and methodological document // Collection of temporary methods for assessing the security of confidential information from leakage through technical channels. - Moscow: State Technical Commission Of Russia, 2002. (In Russ)]
4. GOST R 51275-2006. Zashchita informatsii. Ob'yekt informatizatsii. Faktory, vozdeystvuyushchiye na informatsiyu. Obshchiye polozheniya. - Vved. 01.02.2008 - M.: Standartinform, 2006. — 12 s [GOST R 51275-2006. Information protection. Object of Informatization. Factors that affect information. Generalities. - Yes. 01.02.2008-Moscow: STANDARTINFORM, 2006. 12 p. (In Russ)]
5. Durakovskiy A.P., Kunitsyn I.V., Lavrukhin YU.N. Kontrol' zashchishchennosti rechevoy informatsii v pomeshcheniyakh. Attestatsionnyye ispytaniya vspomogatel'nykh tekhnicheskikh sredstv i sistem po trebovaniyam bezopasnosti informatsii: Uchebnoye posobiye. - M.: NIYAU MIFI, 2015. - 152 s. [Durakovskiy A. P., Kunitsyn I. V., Lavrukhin Yu. N. Control of speech information security in premises. Certification tests of auxiliary technical means and systems for information security requirements: Tutorial. - Moscow: niyau MEFPhI, 2015. 152 p. (In Russ)]

6. Yemel'yanov S.L. Tekhnicheskaya razvedka i tekhnicheskiye kanaly utechki informatsii // Sistemy obrabotki informatsii. – 2010. – Вып. 3. – С. 20–23. [Emelyanov S. L. Technical intelligence and technical channels of information leakage // information processing Systems. 2010. Vol. 3. pp. 20-23. (In Russ)]
7. Zheleznyak V. K., Makarov YU. K., Khorev A. A. Nekotoryye metodicheskiye podkhody k otsenke effektivnosti zashchity rechevoy informatsii // Spetsial'naya tekhnika. – М.: 2000. № 4, с. 39–45. [Zheleznyak V. K., Makarov Yu. K., Horev A. A. Some methodological approaches to evaluating the effectiveness of speech information protection // Special technique. Moscow: 2000. No. 4, pp. 39-45. (In Russ)]
8. Zaytsev A.P., Shelupanov A.A., Tekhnicheskiye sredstva i metody zashchity informatsii. М.: Mashino-stroyeniye, 2009. – 507 s. [Zaitsev A. P., Shelupanov A. A., Technical means and methods of information protection. Moscow: Mashinostroenie, 2009. 507 p. (In Russ)]
9. Pavlovskiy YU.N. Imitatsionnyye modeli i sistemy / YU.N. Pavlovskiy. — М.: Fazis: VTS RAN, 2000. S. 134. [Pavlovsky Yu. N. Simulation models and systems / Yu. Pawlowski. - М.: fazis: VC RAS, 2000. P. 134. (In Russ)]
10. Development patterns: MVC vs MVP vs MVVM vs MVI // URL: <https://habr.com/ru/post/344184/>
11. Skripnik D.A. Obshchiye voprosy tekhnicheskoy zashchity informatsii. URL http://www.intuit.ru/goods_store/ebooks/8563 [Skripnik D. A. General issues of technical protection of information. URL http://www.intuit.ru/goods_store/ebooks/8563 (In Russ)]
12. Special requirements and recommendations for the protection of confidential information (PAGE-K), the state Commission of Russia. - Moscow: 2001.
13. Titov A.A. Inzhenerno-tekhnicheskaya zashchita informatsii: Uchebnoye posobiye dlya studentov spetsial'nostey «Organizatsiya i tekhnologiya zashchity informatsii», «Kompleksnaya zashchita ob"yektov informatizatsii» i «Informatsionnaya bezopasnost' telekommunikatsionnykh sistem». – Tomsk: Tomsk. gos. un-t sistem upravleniya i radioelektroniki, 2010. – 197 s. [Titov A. A. Engineering and technical protection of information: A textbook for students of the specialties "Organization and technology of information protection", "Complex protection of information objects" and "information security of telecommunication systems". - Tomsk: Tomsk. state University of control systems and Radioelectronics, 2010. – 197 p. (In Russ)]
14. Torokin A.A. Inzhenerno–tekhnicheskaya zashchita informatsii. - М.: Gelios ARV, 2005 [Torokin A. A. Engineering and technical protection of information. - Moscow: Helios ARV, 2005 (In Russ)]
15. Khalyapin D.B. Akustoelektricheskiye, akustopreobrazovatel'nyye kanaly utechki informatsii i voz-mozhnyye sposoby ikh podavleniya. М.: «Mir bezopasnosti», № 5, s. 47-53 [Chaliapin D. B. Acoustoelectric, customsearchengine channels of information leakage and possible ways of their suppression. Moscow: "The world of security", no. 5, pp. 47-53 (In Russ)]
16. Khorev A.A. Kontrol' effektivnosti zashchity vspomogatel'nykh tekhnicheskikh sredstv // Zashchita in-formatsii. Insayd. – Izdatel'skiy dom «Afina», SPb.: 2009. - № 1, s. 42-52 [Horev A. A. Control of the effectiveness of protection of auxiliary technical means // information Protection. Insider trading. - Publishing house "Athena", St. Petersburg.: 2009. No. 1, pp. 42-52 (In Russ)]
17. Khorev A.A. Tekhnicheskiye kanaly utechki akusticheskoy (rechevoy) informatsii // Spetsial'naya tekhnika. - М.: 2009. - № 5, s. 12-26 [Horev A. A. Technical channels for leakage of acoustic (speech) information // Special technique. - Moscow: 2009. No. 5, pp. 12-26 (In Russ)]
18. Khorev A.A., Zashchita informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam. Chast' 1. Tekhnicheskiye kanaly utechki informatsii. – М.: Gostekhkomissiya RF, 1998. – 320 s. [Horev A. A., Protection of information from leakage through technical channels. Part 1. Technical channels for information leakage. - Moscow: state technical Commission of the Russian Federation, 1998. 320 p. (In Russ)]
19. Khorev A.A. Sposoby i sredstva zashchity informatsii. Uchebnoye posobiye. – М.: MO RF, 2000. – 316 s. [Horev A. A. Methods and means of information protection. Textbook. - Moscow: MO RF, 2000. 316 p. (In Russ)]
20. Common Software Architectural Patterns in a nutshell / Vijini Mallawaarachchi // Towards Data Science [Электронный ресурс] URL: <https://towardsdatascience.com/10-common-software-architectural-patterns-in-a-nutshell-a0b47a1e9013>

Сведения об авторах:

Кореченцев Денис Александрович, доктор технических наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой кибербезопасности информационных систем; ORCID 0000-0002-4491-3376; e-mail: center-bit@yandex.ru

Черкесова Лариса Владимировна, доктор технических наук, профессор, кафедра кибербезопасности информационных систем; e-mail: chia2002@inbox.ru

Намавир Константин Аркадьевич, студент, кафедра кибербезопасности информационных систем; e-mail: k.namavir@gmail.com

Information about the authors:

Denis A. Korechentsev, Dr. Sci.(Technical), Acting Head of the Department of Cybersecurity of Information Systems; ORCID 0000-0002-4491-3376; e-mail: center-bit@yandex.ru

Larisa V. Cherkesova, Dr. Sci.(Technical), Prof., Department of Cybersecurity of Information Systems; e-mail: chia2002@inbox.ru

Konstantin A.Namavir, Student, Department of Cybersecurity of Information Systems; e-mail: k.namavir@gmail.com

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.03.2020.

Принята в печать 18.04.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 02.03.2020.

Accepted for publication 18.04.2020.

Для цитирования: Д.В. Кошутин. Виртуальное предприятие на основе PLM-СИСТЕМЫ «Лоцман» в виде многоагентной системы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 75-85. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-75-85

For citation: D.V. Koshutin. Virtual enterprise based on the Lotsman PLM SYSTEM AS a multi-agent system. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 75-85. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-75-85

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

УДК 30.2-5-05/658.5

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-75-85

ВИРТУАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НА ОСНОВЕ PLM-СИСТЕМЫ «ЛОЦМАН» В ВИДЕ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

Д.В. Кошутин

*Вологодский государственный университет,
160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Россия*

Резюме. Цель. Современное промышленное производство остро нуждается в повышении технического уровня управления информацией, для обеспечения чего предлагается формирование информационного пространства по модели виртуального предприятия. **Метод.** В статье дается представление разработанной базовой структуры виртуального предприятия для индустриальных предприятий, построенного по интеграционной методик, на основе выбранной в результате сравнительного анализа системы обеспечения жизненного цикла изделия «Лоцман», с использованием основных элементов решения корпорации «Аскон». Виртуальное предприятие рассматривается как многоагентная система, дается описание ее уровней, организационных единиц, их отношений, действий, входов и выходов, выполняемых ею задач, её среды и состояний. Каждое множество представлено в виде формулы с необходимыми для понимания пояснениями и комментариями. **Результаты.** В завершении статьи представлен пример алгоритма разработки единичного изделия машиностроения, демонстрирующей простоту и удобство проектирования в рамках представленного варианта формы организации производства. **Вывод.** В статье продемонстрирована разработанная модель виртуального предприятия на основе PLM-системы «Лоцман» в виде многоагентной системы, описаны ее элементы и взаимодействия между ними, а также дан пример разработки изделия в ее рамках.

Ключевые слова: автоматизация, жизненный цикл изделия, виртуальное предприятие, PLM, многоагентные системы

VIRTUAL ENTERPRISE BASED ON THE LOTSMAN PLM SYSTEM AS A MULTI-AGENT SYSTEM

D.V. Koshutin

*Vologda State University,
15 Lenin St., Vologda 160000, Russia*

Abstract. Aim. Modern industrial production requires an improved level of information management. This problem can be approached by creating an information space based on a virtual enterprise model. **Methods.** The article presents the structure of a virtual enterprise for industrial enterprises based on the integration method chosen as a result of comparative analysis of the Lotsman product life cycle assurance system using the solution of the Askon Corporation. A virtual enterprise is considered as a multi-agent system; the description of its levels, organizational units, their relations, actions, inputs and outputs, performed tasks, environment and states is given. Each set is presented as

a formula with useful explanations and comments. Results. As an example, an algorithm for producing an engineering product is presented, which demonstrates the simplicity and convenience of designing products within the developed model of production organization. Conclusion. The article proposes the developed model of a virtual enterprise based on the Lotsman PLM system in the form of a multi-agent system. The key elements and interactions of this model are described, and the convenience of the model is demonstrated on an example.

Keywords: automation, product lifecycle, virtual enterprise, PLM, multi-agent systems

Введение. Современное успешно интегрированное в глобальную экономику российское производство вынуждено находиться в состоянии постоянной борьбы за повышение конкурентоспособности продукции, в том числе путем кооперации, а также постоянных и временных объединений в промышленные кластеры. В условиях же формирующегося информационного сообщества одним из основных факторов, определяющих успех или провал политики предприятия, является способность эффективно производить, хранить, перерабатывать и реализовывать информацию. При совпадении же определенных факторов [1,2], наиболее перспективной формой организации оптимального информационного пространства предприятия является создание единого информационного пространства на основе систем автоматизации управления жизненного цикла производства, с итоговой целью формирования максимально удобного для взаимодействия с партнерами виртуального предприятия (далее ВП).

Точное определение понятия «виртуальное предприятие» в данный момент является предметом дискуссий [3,4], однако обычно оно описывается как предприятие, объединяющее географически разделенные экономические субъекты, которые взаимодействуют в процессе совместного производства, используя преимущественно электронные средства коммуникаций. Модели кооперации в рамках подобных структур уже долгое время находятся в фокусе зарубежных исследований [5-8] и в случае успешной имплементации они обещают значительное улучшение в распределении ресурсов и задач, а также обмене информацией между отдельными подразделениями и организациями, тем самым повышая эффективность работы предприятий [9-12]. Именно поэтому, считаем рациональным разработать по возможности простую конструкцию ВП, позволяющую получить доступ к выгодам данного метода организации производства при минимальных сложностях и затратах.

Постановка задачи. Целью работы является представление разработанной базовой структуры ВП для индустриальных предприятий, построенного по интеграционной методике [13] на основе, выбранной в результате сравнительного анализа, [14] PLM-системы «Лотсман» в виде многоагентной модели и демонстрация примера ее работы.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Изучение основных задач подготовки производства, стоящих перед современной российской промышленностью – в первую очередь, сосредотачиваясь на малых предприятиях, не предполагающих свыше сотни рабочих мест. С последующим формированием системы из наиболее важных элементов решений задач подготовки производства.
2. Разбиение сформированной минималистической системы на компоненты, согласно требованиям, для описания многоагентных систем.
3. Прослеживание взаимосвязей между агентами внутри построенной модели.
4. Формирование экспериментального ВП на основе ресурсов кафедры и осуществление с его помощью разработки единичного изделия машиностроения.

Методы исследования. Центральным элементом данной работы является демонстрация многоагентной модели рассматриваемого виртуального предприятия (ВП). Согласно часто используемому описанию [15] любая многоагентная система (далее МАС) состоит из следующих основных компонентов:

- 1) множество организационных единиц;
- 2) множество задач;

- 3) среда, т.е. некоторое пространство, в котором существуют агенты и объекты;
- 4) множество отношений между агентами;
- 5) множество действий агентов (К примеру, операций над объектами).

На основании этого определим MAC следующим образом:

$$MAC = \langle A, R, T, Z, Y, S \rangle, \quad (1)$$

где A , есть множество элементов, составляющих систему, т.е. агентов, присутствующих в процессе конструкторско-технологической подготовки производства, R – множество отношений во множестве элементов, T – множество задач, Z – множество входов в систему, Y – множество выходов, S – множество состояний системы.

В качестве элементов предлагаются компоненты решения Аскон:

- работающая в качестве основы PLM-система Лоцман (далее L), обеспечивающая управление жизненным циклом производства;
- ERP-PDM-система Гольфстрим (далее G), обеспечивающая управление заказами и базами данных;
- система автоматизированного проектирования конструкций Компас (далее K), обеспечивающая выполнение задач конструкторской подготовки производства;
- система автоматизированного проектирования технологических процессов; Вертикаль (далее V), обеспечивающая выполнение задач технологической подготовки производства.

Графическое изображение взаимосвязи между ними представлено на рис.1.

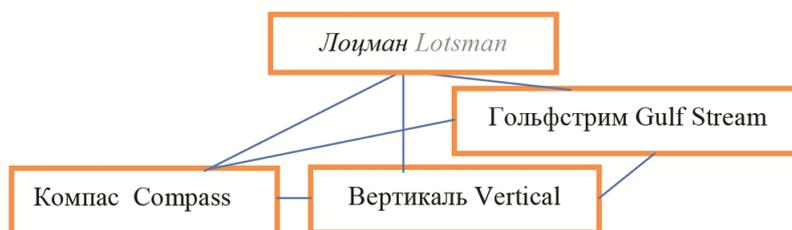


Рис. 1. Графическое изображение связей между агентами внутри виртуального предприятия
Fig. 1. Graphical representation of connections between agents within a virtual enterprise

Множество агентов представим в виде системы:

$$A = \langle L, G, K, V \rangle, \quad (2)$$

В системе выделим три основных логических уровня, в рамках которых, действуют агенты:

I – Экспертный уровень. Здесь производится взаимодействие пользователя с системой через моделируемый интерфейс, учет документов, как конструкторско-технологических, так и организационно-распорядительных – резервное копирование, восстановление документов и массивов данных, обеспечение доступа к внешним массивам данных и справочникам, а также маршрутизация всей имеющейся в обороте документации. Обеспечивается L .

II – Управленческий уровень. Здесь осуществляется управление различными производственными спецификациями а также заказами, анализируются потребности и необходимые для производства затраты, происходит номенклатурно-календарное и иное планирование, учитываются движения деталей и сборочных единиц, производится внутрицеховое, линейное и складское управление, а также учет запасов материально-производственных ресурсов. Обеспечивается G .

III – Исполнительный уровень. Здесь происходит конструкторская и технологическая подготовка производства вкупе с необходимыми расчетами, а также формируются пакеты результирующей документации. Обеспечивается V и K .

Каждый указанный уровень системы автономен, т.е. они способны функционировать безотносительно того, работают ли в тот или иной момент иные уровни. Рабочая среда агентов замкнута, детерминирована и представляет из себя ранее созданные на предприятии локальные сети, с заведомо определённым количеством машин, с инсталлированными на них агентами. Иными словами, различные подразделения организации с установленными на компьютерах компонентами ВП. Отношения агентов описываются формулой:

$$R = \langle R_0, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6 \rangle, \quad (3)$$

где R_0 – связь L с интерфейсом пользователя. Данное отношение обеспечивает составление запросов, введение/выведение объектов в систему.

R_1 – связь L с G. Данное отношение обеспечивает планирование производства и управление заказами.

R_2 – связь L с K. В рамках данной связи обеспечивается формирование задач конструкторской подготовки производства и получение результатов.

R_3 – связь L с V. В рамках данной связи обеспечивается формирование задач технологической подготовки производства и получение результатов.

R_4 – связь G с K. Данное отношение обеспечивает обмен информации системы автоматизированного проектирования конструкций с ERP-системой. К примеру, чтобы определить, есть ли у предприятия возможность использовать в производстве какой-то материал.

R_5 – связь G с V. Данное отношение обеспечивает обмен информации системы автоматизированного проектирования технологических процессов с ERP-системой. К примеру, чтобы уточнить, в наличии ли на предприятии специфическая оснастка.

R_6 – связь K с V. Данное отношение обеспечивает обмен информации между программами Компас и Вертикаль. Самый очевидный пример – когда успешно завершённая конструкция передается на проверку технологичности.

Решаемые в рамках виртуального предприятия задачи в основном лежат в рамках организационной, конструкторской и технологической подготовки производства. Каждый агент, в свою очередь, располагает специфическим множеством задач.

Задачи PLM-системы Лоцман:

$$TL = TLput + TLget + TLdel + TLsta + TLtra + TLcha + TLexe + TLhie + TLrep + TLint, \quad (4)$$

где TLput – ввести объект в систему, TLget – вывести объект из системы, TLdel – удалить объект, TLsta – вывести информацию о наличествующих агентах, TLtra – перенести объект, TLcha – отредактировать объект (атрибуты, свойства, состояния, связи), TLexe – управление приложениями, включая иные агенты (добавление/удаление, запуск), TLhie – функции обеспечения доступа, TGrep – формирование результирующей документации, TLint – редактирование компоновки.

Задачи ERP-PDM-системы Гольфстрим:

$$TG = TGput + TGget + TGdel + TGsta + TGtra + TGcha + TGord + TGrep + TGcal + TGcom, \quad (5)$$

где TGput – ввести объект в систему, TGget – вывести объект из системы, TGdel – удалить объект, TGsta – вывести информацию о наличествующих агентах, TGtra – перенести объект, TGcha – отредактировать объект, TGrep – создание отчетов, нарядов, планов, TGcom – осуществление расчетов (к примеру, для анализа затрат, планирования производства), TGcom – анализ потребностей производства (сравнение имеющихся ресурсов с необходимыми).

Задачи САПРК Компас:

$$TK = TKput + TKget + TKdel + TKsta + TKtra + TKcha + TKrep + TKcal + TKfil + TKmod + TKbib, \quad (6)$$

где $TKput$ – ввести объект в систему, $TKget$ – вывести объект из системы, $TKdel$ – удалить объект, $TKsta$ – вывести информацию о существующих агентах, $TKtra$ – перенести объект, $TKcha$ – отредактировать объект, $TKrep$ – создание документации, $TKcal$ – производство расчетов (к примеру, для прочностного анализа), $TKfil$ – действия с форматами, $TKmod$ – формирование/редактированию моделей (2Д и 3Д), $TKbib$ – работа с библиотекам, справочниками,

Задачи САПРТП Вертикаль:

$$TV = TVput + TVget + TVdel + TVsta + TVtra + TVcha + TVrep + TVcal + TVfil + TVbib + TVfor + TVins, \quad (7)$$

где $TVput$ – ввести объект в систему, $TVget$ – вывести объект из системы, $TVdel$ – удалить объект, $TVsta$ – вывести информацию о существующих агентах, $TVtra$ – перенести объект, $TVcha$ – отредактировать объект, $TVrep$ – создание документации, $TVcal$ – производство расчетов, $TVfil$ – редактирование формата файла, $TVbib$ – работа с библиотеками, справочниками, $TVfor$ – создание форм (включая автоматический перенос сведений из моделей Компас), $TVins$ – подбор инструментария/оснастки.

Итого, все задачи ВП, созданного из вышеуказанных компонентов:

$$T = (TL; TG; TK; TV). \quad (8)$$

Множество входов Лоцман, описывается как:

$$ZL = (ZLput; ZLget; ZLdel; ZLsta; ZLtra; ZLcha; ZLexe; ZLhie; ZLrep; ZLint; ZLang; ZLank; ZLanv), \quad (9)$$

где $ZLput$ – введение объекта в систему, $ZLget$ – запрос на выведение объекта из системы, $ZLdel$ – запрос на удаление объекта, $ZLsta$ – запрос на выведение информации о существующих объектах, $ZLtra$ – запрос на перенос объекта, $ZLcha$ – запрос на редактирование объекта (атрибуты, свойства, состояния, связи), $ZLexe$ – запрос на управление приложениями, включая иные агенты (добавление/удаление, запуск), $ZLhie$ – запрос на обеспечение доступа, $ZLrep$ – запрос на создание отчетов, $ZLint$ – запрос на редактирование компоновки, $ZLang$ – информация, переданная от G, $ZLank$ – информация, переданная от K, $ZLanv$ – информация, переданная от V.

Множество входов Гольфстрим:

$$ZG = (ZGput; ZGget; ZGdel; ZGsta; ZGtra; ZGcha; ZGord; ZGrep; ZGcal; ZGcom; ZGanl; ZGank; ZGanv), \quad (10)$$

где $ZGput$ – введение объекта в систему, $ZGget$ – запрос на выведение объекта из системы, $ZGdel$ – запрос на удаление объекта, $ZGsta$ – запрос на выведение информации о существующих объектах, $ZGtra$ – запрос на перенос объекта, $ZGcha$ – запрос на редактирование объекта, $ZGrep$ – запрос на создание планов, отчетов, нарядов, $ZGcom$ – запрос на производство расчетов (к примеру, для анализа затрат, планировании производства), $ZGcom$ – запрос на анализ потребностей предприятия (сравнение существующих ресурсов с необходимыми), $ZGanl$ – информация, переданная от L, $ZGank$ – информация, переданная от K, $ZGanv$ – информация, переданная от V.

Множество входов Компас:

$$ZK = (ZKput; ZKget; ZKdel; ZKsta; ZKtra; ZKcha; ZKrep; ZKcal; ZKfil; ZKmod; ZKbib; ZKanl; ZKang; ZKanv), \quad (11)$$

где $ZKput$ – введение объекта в систему, $ZKget$ – запрос на выведение объекта из системы, $ZKdel$ – запрос на удаление объекта, $ZKsta$ – запрос на выведение информации о наличии

ствующих объектах, ZKtra – запрос на перенос объекта, ZKcha – запрос на редактирование объекта, ZKger – запрос на создание документации, ZKcal – запрос на производство расчетов (к примеру, для прочностного анализа), ZKfil – запрос на производство работы с форматами, ZKmod – запрос на производство работы по созданию и редактированию моделей (2Д и 3Д), ZKbib – запрос на работу с библиотеками, справочниками, ZKanl – информация, переданная от L, ZKang – информация, переданная от G, ZKanv – информация переданная от V.

Множество входов Вертикаль:

$$ZV = (ZVput; ZVget; ZVdel; ZVsta; ZVtra; ZVcha; ZVrep; ZVcal; ZVfil; ZVbib; ZVfor; ZVins; ZVanl; ZVang; ZVank), \quad (12)$$

где ZVput – введение объекта в систему, ZVget – запрос на выведение объекта из системы, ZVdel – запрос на удаление объекта, ZVsta – запрос на выведение информации о наличествующих объектах, ZVtra – запрос на перенос объекта, ZVcha – запрос на редактирование объекта, ZVger – запрос на создание документации, ZVcal – запрос на производство расчетов, ZVfil – запрос на редактирование формата файла, ZVbib – запрос на работа с библиотеками, справочниками, ZVfor – запрос на создание форм (включая автоматический перенос сведений из моделей Компас), ZVins – запрос на подбор инструментария/оснастки, ZVanl – информация, переданная от L, ZVang – информация, переданная от G, ZVank – информация, переданная от K.

Итого все входы ВП, созданного из указанных агентов:

$$Z = (ZL; ZG; ZK; ZV). \quad (13)$$

Множество выходов Лоцман, описывается как:

$$YL = (YLput; YLget; YLdel; YLsta; YLtra; YLcha; YLexe; YLhie; YLrep; YLint; YLang; YLank; YLanv), \quad (14)$$

где YLput – выведение объекта из системы, YLget – ответ на запрос на вывод объекта, YLdel – удаление объекта, YLsta – предоставление данных о наличествующих объектах, YLtra – перенос объекта, YLcha – редактирование объекта (атрибуты, свойства, состояния, связи), YLexe – управление приложениями, включая иные агенты (добавление/удаление, запуск), YLhie – решение задач по обеспечения доступа, YLger – вывод отчетов, YLint – редактирование компоновки, YLang – информация, передаваемая G, YLank – информация, передаваемая K, YLanv – информация, передаваемая V.

Множество входов Гольфстрим:

$$YG = (YGput; YGget; YGdel; YGsta; YGtra; YGcha; YGord; YGrep; YGcal; YGcom; YGanl; YGank; YGanv), \quad (15)$$

где YGput – выведение объекта из системы, YGget – ответ на запрос на вывод объекта, YGdel – удаление объекта, YGsta – предоставление данных о наличествующих объектах, YGtra – перенос объекта, YGcha – редактирование объекта, YGrep – вывод отчетов, нарядов, планов, YGcom – выведение результатов расчетов (к примеру, для анализа затрат, планирования производства), YGsom – выведение результатов анализов потребностей производства (сравнение имеющихся ресурсов с необходимыми), YGanl – информация, передаваемая L, YGank – информация, передаваемая K, YGanv – информация, передаваемая V.

Множество выходов Компас:

$$YK = (YKput; YKget; YKdel; YKsta; YKtra; YKcha; YKrep; YKcal; YKfil; YKmod; YKbib; YKanl; YKang; YKanv), \quad (16)$$

где YKput – выведение объекта из системы, YKget – ответ на запрос на вывод объекта, YKdel – удаление объекта, YKsta – предоставление данных о наличествующих объектах, YKtra – перенос объекта, YKcha – редактирование объекта, YKrep – выведение сформированной до-

кументации, $YKcal$ – выведение результатов расчетов (к примеру, для прочностного анализа), $YKfil$ – выведение результатов работы с форматами, $YKmod$ – выведение результатов работы по формированию и редактированию 2Д и 3Д-моделей, $YKbib$ – выведение запрошенных данных из библиотек, справочных материалов, $YKanl$ – информация, передаваемая L, $YKang$ – информация, передаваемая G, $YKanv$ – информация, передаваемая V.

Множество выходов Вертикаль:

$$YV = (YVput; YVget; YVdel; YVsta; YVtra; YVcha; YVrep; YVcal; YVfil; YVbib; YVfor; YVins; YVanl; YVang; YVank), \quad (17)$$

где $YVput$ – выведение объекта из системы, $YVget$ – ответ на запрос на вывод объекта, $YVdel$ – удаление объекта, $YVsta$ – предоставление данных о существующих объектах, $YVtra$ – перенос объекта, $YVcha$ – редактирование объекта, $YVrep$ – выведение сформированной документации, $YVcal$ – выведение результатов расчетов, $YVfil$ – запрос на редактирование формата файла, $YVbib$ – выведение запрошенных данных из библиотек, справочных материалов, $YVfor$ – выведение созданных форм (в том числе в виде автоматического переноса данных из моделей Компас), $YVins$ – выведение подобранного инструментария и оснастки, $YVanl$ – информация, передаваемая L, $YVang$ – информация, передаваемая G, $YVank$ – информация, передаваемая K.

Итого все выходы ВП, созданного из указанных агентов:

$$Y = (YL; YG; YK; YV), \quad (18)$$

которое возможно дополнить, к примеру, выходами систем для обеспечения автоматизированного инженерного анализа или систем поддержки производства от иных производителей. При этом выходы одних задач зачастую являются входами других:

$$\begin{aligned} YLang &= ZLang; YLank = ZLank; YLanv = ZLanv; YGanl = ZGanl; \\ Gank &= ZGank; YGanv = ZGanv; YKanl = ZKanl; YKang = ZKang; \\ YKanv &= ZKanv; YVanl = ZVanl; Vang = ZVang; YVank = ZVank; \end{aligned} \quad (19)$$

Благодаря тому, что применяемые программы имеют одну компанию-изготовителя и изначально спроектированы с идеей плотного взаимодействия, то мы имеем возможность пренебречь вероятностью получения проблем несовместимости, такими как невозможности восприятия формата входящего файла программой-получателем, что является дополнительным преимуществом формирования виртуального предприятия на основе PLM-системы Лоцман с применением компонентов решения корпорации Аскон.

Множество состояний системы описывается:

$$S = \langle S_i, S_w, S_r, S_s \rangle, \quad (20)$$

где S_i - стартовое состояние системы (ожидание), S_w - рабочее состояние, S_r - только восстановление, S_s - нерабочее состояние.

Обсуждение результатов. Таким образом, имея перед глазами многоагентную модель предлагаемого ВП, нам не составит труда оценить ее эффективность и проследить за основными этапами подготовки производства в ее рамках. В качестве примера работы ВП мы рассмотрим процесс разработки единичного изделия машиностроения [16]. ВП представлено основными элементами решения корпорации Аскон: выступающая в качестве основы PLM-система Лоцман, система автоматизированного проектирования конструкций Компас и система автоматизированного проектирования технологических процессов Вертикаль. Алгоритм разработки изделия выглядит как:

1. В Лоцман-PLM вносится задание на проектирование. Оно регистрируется и в виде файла заявки переносится в конструкторское бюро (рис.2):

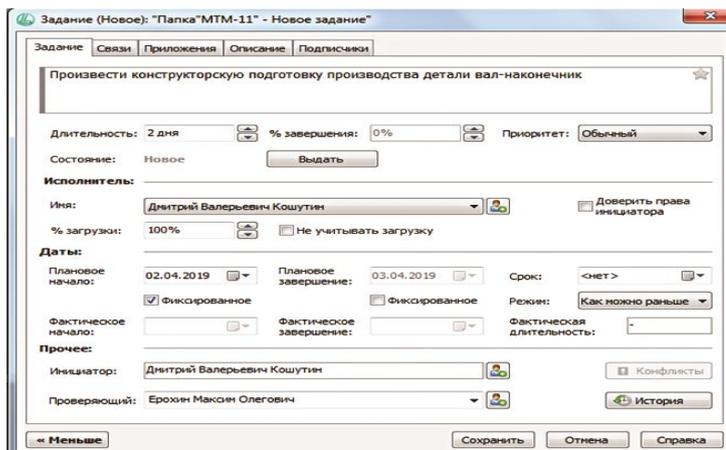


Рис. 2. Внесение в систему Лоцман задания на проектирование
Fig. 2. Entering the design assignment into the Pilot system

2. Формируется техническое задание, создается файл соответствующего формата и передается на рабочую станцию исполнителя (рис.3).

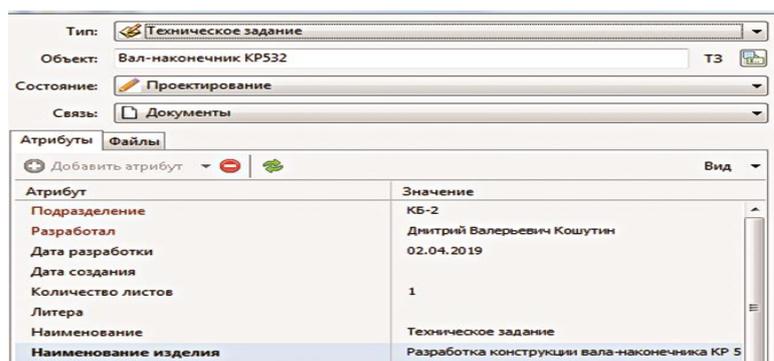


Рис. 3. Создание технического задания
Fig. 3. Creation of technical specifications

3. Посредством Компаса конструктор создает 3Д-модель (рис.4) и 2Д-модель требуемого объекта в форматах m3d, crw, frw и т.д., откуда они переносятся в Лоцман-PLM.

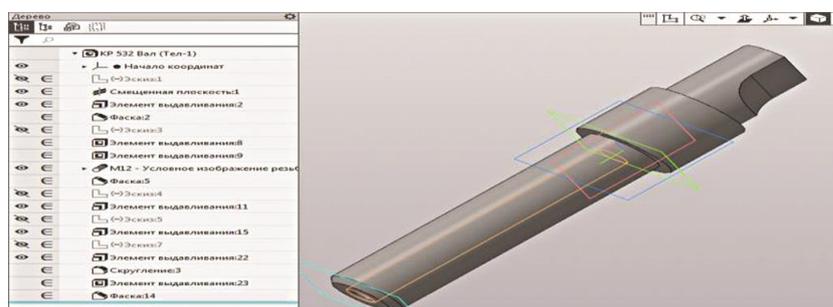


Рис. 4. 3Д-модель объекта
Fig. 4. 3D-model of the object

4. В Лоцмане формируется пакет конструкторской документации (рис.5), включающий в себя файлы в форматах изображений, заполняемых форм, текстовых и форматах для 2-Д и 3-Д моделирования, который передается в подразделение, ответственное за разработку технологического процесса.

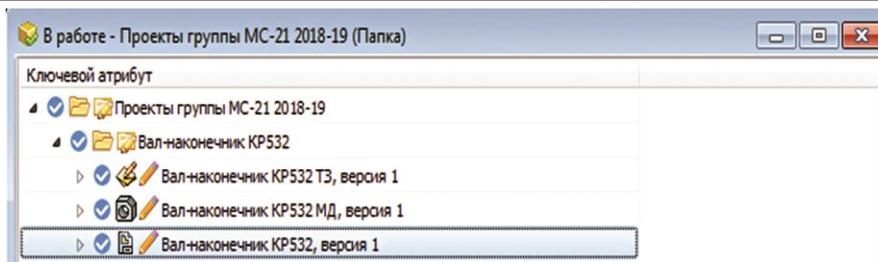


Рис. 5. Пакет конструкторской документации в PLM-системе Лоцман
 Fig. 5. Package of design documentation in PLM-system Lotsman

5. На основе полученного пакета данных формируется техническое задание. Созданный файл соответствующего формата передается на рабочую станцию исполнителя, работа которого осуществляется в Вертикали (рис.6).

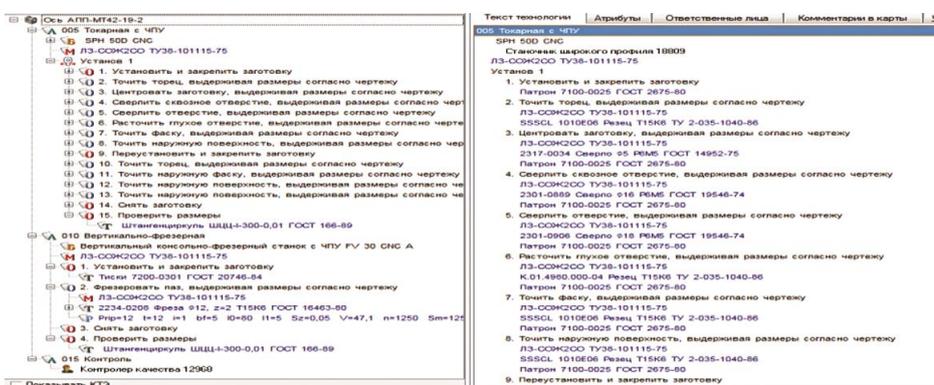


Рис. 6. Рабочее пространство САПРТП Вертикаль в процессе создания техпроцесса
 Fig. 6. Workspace SAPRTP Vertical in the process of creating a technical process

6. Результаты технологической подготовки производства в виде технологической ведомости и комплекта технологических карт (формат текстовый, изображение или заполняемой формы) (рис.7) передаются в Лоцман-PLM.

P	№	D или B	L	F	I	S	a	v
P01		30	3	1	3	0,779	393	37
002	6. Подобрать размеры							
T01	Штангенциркуль ШШЦ-300-0,01 ГОСТ 166-89							
T04	0113-0231 Калибр-скала ГОСТ 16776-93							
005	7. Переустановить и закрепить деталь							
006	8. Точить наружный торец. Выдерживать размер 201 мм						0,01	0,03
T07	Р0М 2525115 Резец Т15К6 ТУ 2-035-892-82							
P08		4,2	4	1	4	0,705	584	209
009	9. Точить наружный торец. Выдерживать размер 200H4-k115P						0,02	0,03
T10	Р0М 2525115 Резец Т15К6 ТУ 2-035-892-82							
P11		4,2	7	0,5	2	0,401	2086	275,2
012	10. Точить шлицы. Выдерживать размеры согласно эскизу						0,1	0,3
T13	Р0М 2020K15 Резец Т15К6 ТУ 2-035-892-82							
P14		4,2	4,2	2,5	2	0,508	505	198,6
015	11. Подобрать размеры							
T16	Штангенциркуль ШШЦ-300-0,01 ГОСТ 166-89							
T17	0113-0231 Калибр-скала ГОСТ 16776-93							

Рис. 7. Фрагмент технологической карты изготовления объекта
 Fig. 7. Fragment of the technological map of the object manufacturing

7. В Лоцман-PLM формируется пакет технологической документации, который вместе с ранее созданным пакетом конструкторской документации выводится на утверждение (рис.8).

Все вышеперечисленные этапы осуществляются через сеть виртуального предприятия, и данные достигают адресата за считанные секунды безотносительно того, находится ли он в том же здании или на другом континенте – от участников данного процесса конструкторской подготовки производства не требуется даже вставать из-за рабочего места, каковой факт наглядно демонстрирует простоту и удобство проектирования, а в рамках единого информационного пространства, в случае имплементации, способно значительно повысить эффективность работы предприятия.

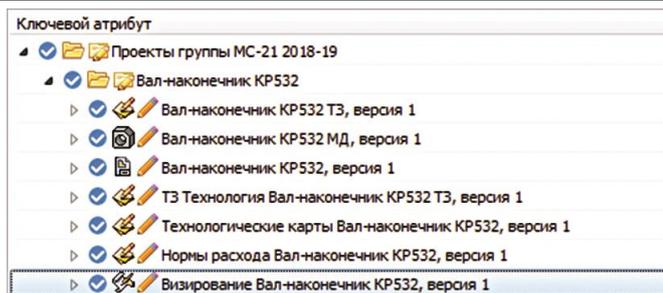


Рис. 8. Пакет технологической документации
Fig. 8. Package of technological documentation

Вывод. Продемонстрирована разработанная базовая структура ВП для промышленных предприятий, построенного по интеграционной методике на основе PLM-системы «Лоцман».

Осуществлено разбиение сформированной минималистической системы на компоненты согласно требованиям для описания многоагентных систем и прослеживание взаимосвязей между агентами внутри построенной модели.

На основе ресурсов кафедры сформировано экспериментальное ВП, построенное на основе предлагаемых решений, с помощью которого осуществлена разработка единичного изделия машиностроения, чье краткое описание дано в разделе «Обсуждение результатов».

Библиографический список:

1. Кошутин Д.В. Факторы, определяющие потребность организации в создании единого информационного пространства на основе erp/plm комплексов// Сборник научных трудов 5-ой Международной научно-практической конференции «Техника и технологии: пути инновационного развития». – Курск, 2015 – С. 111-112.
2. Cruz-Cunha, Maria & Putnik, Goran. (2009). Environments for Virtual Enterprise Integration. 10.4018/9781605668567.ch010.
3. Hales, K & Barker, J. (2020). Searching for the Virtual Enterprise i SEARCHING FOR THE VIRTUAL ENTERPRISE.
4. Kwon, Youngsun & Lee, Hong-Kyu & Lee, Sunmi & Lee, Jungsub. (2003). The Virtual Enterprise: Redefining the Concept. 2713. pp. 249-258.
5. Carutasu, George & Botezatu, Cezar. (2007). Virtual Enterprise - Past and Future.
6. Ming, Xinguo & Ma, Yongsheng & Lu, Wen-Feng & He, W & Yang, Q.Z. & Zhu, C.F. & Khoo, L.P.. Collaborative product lifecycle management in virtual enterprise ecosystem// Business challenge and research strategy. 2005. pp. 337-342.
7. Bondarchuk, Evgenii & Feofanov, Alexander & Grishina, Tat'jana. (2020). Organization of a virtual enterprise in information systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 709.
8. Lucia, Rusu & Kleinhempel, Simona & Costin, Razvan & Jecan, Sergiu. (2010). A COLLABORATIVE MODEL FOR VIRTUAL ENTERPRISE. Romanian Economic Business Review. 4.pp. 20-31.
9. Shamsuzzoha, Ahm & Ferreira, Filipe & Faria, J & Azevedo, Américo & Hao, Y & Helo, Petri. Virtual enterprise management// Perspective of process-based business collaboration.2012. pp.2028-2032.
10. Jähn, Hendrik & Burghardt, Thomas. Fundamentals for the Allocation of Financial Benefits in Virtual Enterprises// IFIP Advances in Information and Communication Technology. 380. 2005. pp.539-547.
11. Valenzuela, Sergio. (2017). Virtual enterprise, a management training tool. pp. 4517-4519
12. Tnshoff, Hans & Woelk, Peer-Oliver & Timm, Ingo & Herzog, Otthein. (2003). Emerging Virtual Enterprises.
13. Кошутин Д.В. Интеграционная методика формирования виртуального предприятия// Сборник научных трудов 7-ой Международной научно-практической конференции. «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях». Курск, 2017. С. 204-206.
14. Кошутин Д.В. Выбор plm-системы при использовании интеграционной методики построения виртуального предприятия// Сборник научных трудов 8-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. «Современные инновации в науке и технике». Курск, 2018. С. 104-106.
15. Мясников Д. М. Многоагентный подход к разработке распределённой системы хранения данных // «Системы управления и информационные технологии» 2009. №4(38). с.59-62
16. Кошутин Д.В. Пример разработки изделия в виртуальном предприятии на основе plm-системы лоцман в рамках основных компонентов решения Аскон// Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции. «Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем». Курск, 2019. С. 396-398.

References:

1. Koshutin D.V. Faktory, opredelyayushchiye potrebnost' organizatsii v sozdanii yedinogo informatsi-onnogo prostranstva na osnove erp/plm kompleksov// Sbornik nauchnykh trudov 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnika i tekhnologii: puti innovatsionnogo razvitiya». – Kursk, 2015 – S. 111-112. [Koshutin D.V. Factors determining the organization's need to create a single information space based on erp / plm complexes // Collection of scientific papers of the 5th International Scientific and Practical Conference "Technology and technology: ways of innovative development". Kursk, 2015. pp. 111-112. (In Russ)]
2. Cruz-Cunha, Maria & Putnik, Goran. (2009). Environments for Virtual Enterprise Integration. 10.4018/9781605668567.ch010.
3. Hales, K & Barker, J. (2020). Searching for the Virtual Enterprise i SEARCHING FOR THE VIRTUAL ENTERPRISE.
4. Kwon, Youngsun & Lee, Hong-Kyu & Lee, Sunmi & Lee, Jungsub. (2003). The Virtual Enterprise: Redefining the Concept. 2713. 249-258.
5. Carutasu, George & Botezatu, Cezar. (2007). Virtual Enterprise - Past and Future.
6. Ming, Xinguo & Ma, Yongsheng & Lu, Wen-Feng & He, W & Yang, Q.Z. & Zhu, C.F. & Khoo, L.P.. Collaborative product lifecycle management in virtual enterprise ecosystem// Business challenge and research strategy. 2005. 337-342.
7. Bondarchuk Evgenii & Feofanov, Alexander & Grishina, Tat'jana. (2020). Organization of a virtual enterprise in information systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 709.
8. Lucia, Rusu & Kleinhempel, Simona & Costin, Razvan & Jecan, Sergiu. (2010). A COLLABORATIVE MODEL FOR VIRTUAL ENTERPRISE. Romanian Economic Business Review. 4. 20-31.
9. Shamsuzzoha, Ahm & Ferreira, Filipe & Faria, J & Azevedo, Américo & Hao, Y & Helo, Petri. Virtual enterprise management// Perspective of process-based business collaboration.2012. 2028-2032.
10. Jähn, Hendrik & Burghardt, Thomas. Fundamentals for the Allocation of Financial Benefits in Virtual Enterprises// IFIP Advances in Information and Communication Technology. 380. 2005. 539-547.
11. Valenzuela, Sergio. (2017). Virtual enterprise, a management training tool. 4517-4519
12. Tnshoff, Hans & Woelk, Peer-Oliver & Timm, Ingo & Herzog, Otthein. (2003). Emerging Virtual Enterprises.
13. Koshutin D.V. Integratsionnaya metodika formirovaniya virtual'nogo predpriyatiya// Sbornik nauchnykh trudov 7-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Innovatsii, kachestvo i servis v tekhnike i tekhnologiyakh». Kursk, 2017. S. 204-206. [Koshutin D.V. Integration methodology for the formation of a virtual enterprise // Collection of scientific papers of the 7th International Scientific and Practical Conference. "Innovation, quality and service in technology and technologies". Kursk, 2017. pp. 204-206. (In Russ)]
14. Koshutin D.V. Vybór plm-sistemy pri ispol'zovanii integratsionnoy metodiki postroyeniya virtual'nogo predpriyatiya// Sbornik nauchnykh trudov 8-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. «Sovremennyye innovatsii v nauke i tekhnike». – Kursk, 2018. S. 104-106. [Koshutin D.V. The choice of a plm-system using the integration methodology for building a virtual enterprise // Collection of scientific papers of the 8th All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation. "Modern innovations in science and technology". Kursk, 2018 pp. 104-106. (In Russ)]
15. Myasnikov D. M. Mnogoagentnyy podkhod k razrabotke raspredelonnoy sistemy khraneniya dannykh // «Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii» 2009. -№4(38). s.59-62 [Myasnikov D. M. A multi-agent approach to the development of a distributed data storage system // Management Systems and Information Technologies 2009. No 4 (38). p. 59-62. (In Russ)]
16. Koshutin D.V. Primer razrabotki izdeliya v virtual'nom predpriyatii na osnove plm-sistemy lotsman v ramkakh osnovnykh komponentov resheniya Askon// Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. «Upravleniye kachestvom na etapakh zhiznennogo tsikla tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh sistem». Kursk, 2019. S. 396-398 . [Koshutin D.V. An example of product development in a virtual enterprise based on the plm-system «Loodsman» within the framework of the main components of the Ascon solution // Collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Technical Conference. "Quality management at the stages of the life cycle of technical and technological systems". Kursk, 2019. pp. 396-398 (In Russ)]

Сведения об авторе:

Кошутин Дмитрий Валерьевич, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения; e-mail: koshutindv@mail.ru

Information about the author:

Dmitry V. Koshutin, Master of Engineering, Senior Lecturer, Department of technology of mechanical engineering; e-mail: koshutindv@mail.ru

Конфликт интересов/

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 07.05.2020.

Принята в печать 30.05.2020.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 07.05.2020.

Accepted for publication 30.05.2020.

Для цитирования: А.А. Олейников, А.А. Сорокин, И.А. Береснев. Система поддержки принятия решения для оценки элементов систем передачи данных. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 86-97. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-86-97

For citation: A. A. Oleynikov, A. A. Sorokin, I. A. Beresnev. Decision support system for evaluating the elements of data transmission system. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 86-97. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-86-97

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

УДК 004.6+004.3654.1

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-86-97

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Олейников А.А.^{1,2}, Сорокин А.А.¹, Береснев И.А.²

¹Астраханский государственный технический университет,

¹414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Россия,

²АО «Южный центр судостроения и судоремонта»,

²416111, Астраханская область, г. Нариманов, ул. Береговая, д. 3, Россия

Резюме. Цель. В настоящее время, строительство сетей передачи данных ускоряется и для поддержания их в актуальном состоянии требуется своевременное обслуживание, ремонт и модернизация сетевого оборудования. В этой статье мы предоставляем поэтапное описание системы поддержки принятия решения для оценки элементов систем передачи данных, которые используются для повышения эффективности обслуживания сетей электросвязи. **Метод.** В исследовании использовались методы системного анализа, теории нечетких множеств, нейронных сетей, теории графов и математического моделирования. **Результат.** Разработана система поддержки принятия решений для оценки эксплуатационных состояний элементов систем передачи данных в процессе эксплуатации сетевой инфраструктуры оператора связи. **Вывод.** Разработанная система поддержки принятия решения позволит снизить нагрузку на высококвалифицированный персонал и повысить качество принимаемых решений при развитии сетей передачи данных.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, элементы систем передачи данных, телекоммуникационная сеть, нечеткая логика, нейронные сети

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR EVALUATING THE ELEMENTS OF DATA TRANSMISSION SYSTEMS

A.A. Oleynikov^{1,2}, A.A. Sorokin¹, I.A. Beresnev²

¹Astrakhan State Technical University,

¹16 Tatischeva St., Astrakhan 414056, Russia,

²South Center for Shipbuilding and Ship Repair JSC,

²3 Beregovaya St., Astrakhan region, Narimanov 416111, Russia

Abstract. Aim. At present, the construction of data transmission networks is undergoing rapid development, which actualized the problem of the timely maintenance, repair, and modernization of network equipment. This article provides a step-by-step description of the decision support system for evaluating the elements of data transmission systems used to improve the efficiency of telecommunication network maintenance. **Method.** The research methodology involved the methods of system analysis, fuzzy set theory, neural networks, graph theory, and mathematical modelling. **Results.** A decision

support system was developed for evaluating the operational state of the elements of data transmission system during operating the network infrastructure of a communications service provider. **Conclusion.** The developed decision support system reduces the workload of highly qualified personnel and improves the quality of decisions made during the development of data transmission networks.

Keywords: decision support system, elements of data transmission systems, telecommunications network, fuzzy logic, neural networks

Введение. Развитие сетей передачи данных влечёт увеличение числа компетентных сотрудников, в штате операторов связи, способных своевременно принимать обоснованные решения по модернизации и ремонту. Масштабы сетей некоторых операторов, особенно федерального уровня, имеют значительную зону покрытия. Оборудование, используемое на таких сетях, в большинстве своем имеет схожие эксплуатационные параметры, в этом случае прослеживается необходимость автоматизации принятия однотипных решений, не требующих глубокого анализа [1, 5-7]. В основе предлагаемого к рассмотрению исследования лежат алгоритмы принятия решения по развитию сети доступа оператора связи и мониторинга состояния элементов систем передачи данных (ЭСПД) после внедрения проекта модернизации [2-4, 8-16].

Постановка задачи. Цель работы заключается в разработке системы поддержки принятия решения для оценки эксплуатационного состояния элементов систем передачи данных.

Методы исследования. Принятие решений по развитию сети доступа. Во время анализа данных, при изменении эксплуатационной нагрузки на ЭСПД, возможно возникновение не классифицируемых состояний. В алгоритме предусматривается использование обратных связей для снижения уровня принятия ошибочных решений. Первая обратная связь, в случае неправильной классификации, на основе динамики данных, поступающих в реальном времени от конкретного ЭСПД, предусматривает повторную кластеризацию для определения новых классов оборудования распределенных по текущим эксплуатационным состояниям (рис. 1).

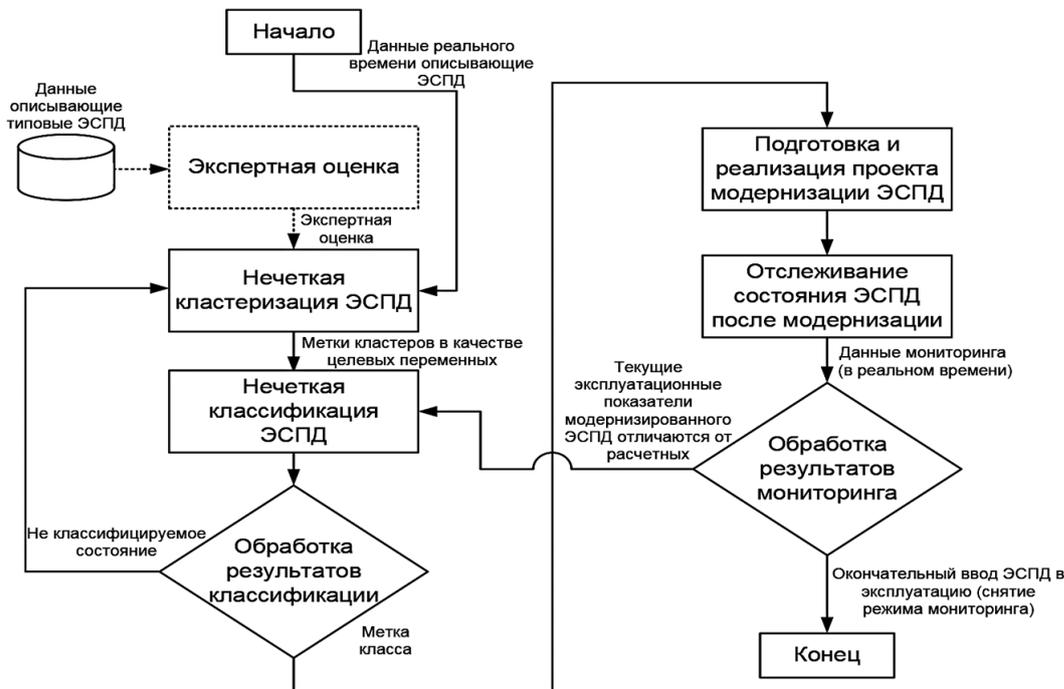


Рис. 1. Алгоритм оценки состояния ЭСПД
Fig. 1. The algorithm for assessing the state of EDTS

Вторая обратная связь связывает блок мониторинга и блок нечёткой классификации. Здесь происходит контроль эксплуатационных параметров модернизированного оборудования. Если отсутствует факт превышения показателей в установленный период, проект вводится в окончательную эксплуатацию и снимается с мониторинга.

Алгоритм предусматривает повторную классификацию, а в случае увеличения уровня влияния иных эксплуатационных параметров на повторную кластеризацию. При работе алгоритма изменение функций принадлежности и нечётких продукционных правил происходит в автоматическом режиме.

Алгоритм усиленного мониторинга состояния элементов систем передачи данных после модернизации. Учитывая социотехническую природу систем передачи данных, требуется обращать внимание на изменения уровня востребованности услуг на модернизированном оборудовании в зависимости от изменения факторов социального характера.

Необходимость контроля эксплуатационного состояния ЭСПД возникает при увеличении спроса на предоставление услуг при подключении абонентов через модернизированный элемент сети.

Наиболее актуальные данные можно получить в часы пиковых нагрузок согласно алгоритму, показанному на рис.2.

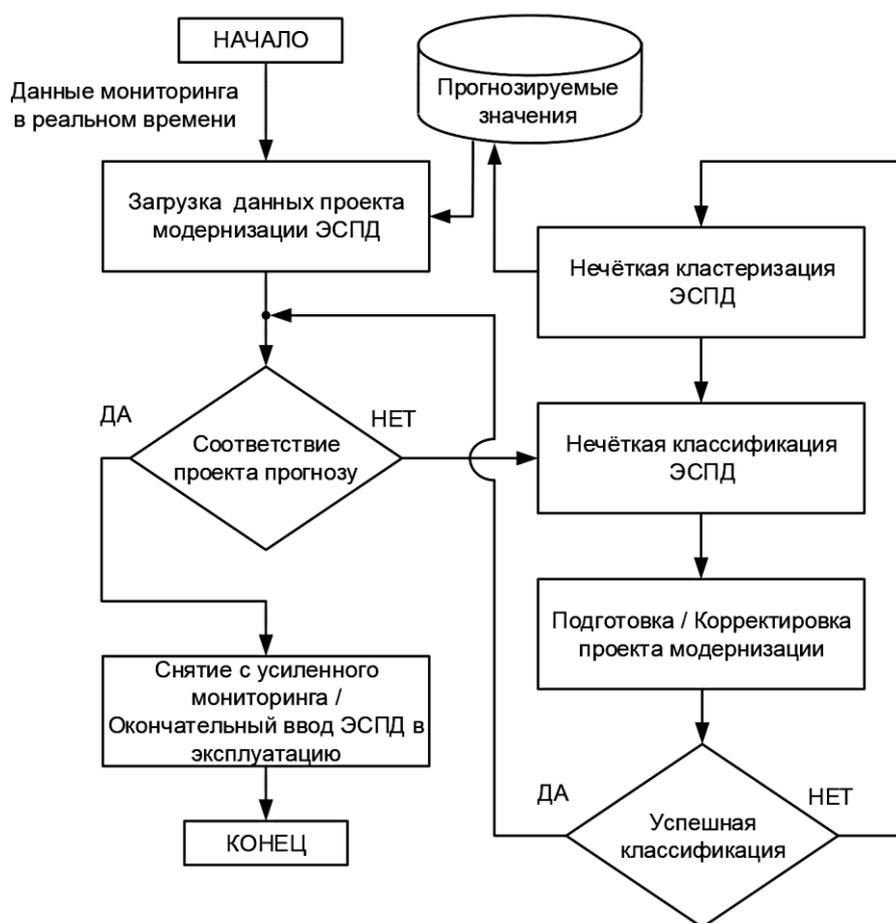


Рис. 2. Алгоритм усиленного мониторинга состояния ЭСПД после модернизации
Fig. 2. The algorithm for enhanced monitoring of the state of EDTS after modernization

По завершении работ по модернизации ЭСПД, элемент ставится на усиленный мониторинг. Данные реального времени от анализируемого оборудования, сравниваются с прогнозными значениями. Если полученные показатели соответствуют требуемым нормативам в течение установленного периода времени, ЭСПД снимается с усиленного мониторинга. В противном случае, производится анализ состояния ЭСПД путём нечёткой классификации. При отсутствии возможности отнести ЭСПД к одному из эксплуатационных классов, производится новая группировка путём нечёткой кластеризации, сопровождающаяся наполнением базы данных сведениями, используемыми при определении сроков модернизации.

Состав системы поддержки принятия решения. Диагностика ЭСПД представляет собой установление актуального состояния элемента, путем соотнесения с некоторым классом эксплуатационного состояния. Класс описывает состояние на основании заданных критериев в предварительно обобщенной форме совокупности состояний.

На начальном этапе производится анализ и распознавание данных. На их основе выявляются признаки состояний ЭСПД и формируются их наборы. В этот момент формируется вектор состояний. Низкая чувствительность алгоритма классификации состояний затрудняет учёт изменений при оценке ЭСПД в переходных состояниях, при изменении класса. Для этого требуется дополнительное уточнение эксплуатационных состояний ЭСПД.

На следующем этапе происходит сравнение анализируемых и проверочных данных. На этом этапе принимается решение о соотнесении одного из классов, характеризующих состояние с анализируемым ЭСПД.

Классификация элементов, имеющих пограничные состояния происходит за счет использования нечёткой кластеризации, позволяющей определять принадлежность классифицируемых ЭСПД к нескольким классам с разной степенью.

На этом основании предлагается система поддержки принятия решений (СППР), для оценки состояния и мониторинга ЭСПД структура которой представлена на рис.3.

В состав СППР входят следующие блоки:

«Блок экспертной оценки» использует для работы данные ретроспективного характера, обрабатываемые с привлечением экспертных групп.

В нем формируются классы для последующей группировки блоком нечёткой кластеризации по эксплуатационным состояниям ЭСПД, требующим проведения мероприятий по поддержанию работоспособности оборудования.

Перечень классов представлен в табл.1.

Таблица 1. Классы эксплуатационных состояний ЭСПД
Table 1. Classes of operational states of EDTS

Название класса Class name	Описание Description	Значимость Relevance
Class 1	Проведение работ не требуется No work required	Низкая Low
Class 2	Модернизация необходима в течение 3 лет Retrofitting required within 3 years	Средняя Average
Class 3	Модернизация необходима в течение 1 года Upgrades are required within 1 year	Высокая High
Class 4	Требуется немедленная модернизация Immediate upgrade required	Очень высокая Very high

Длительность временных периодов была выбрана экспертной группой на основе параметров имеющих высокую значимость в процессе эксплуатации сети (табл. 1).

Также блок осуществляет формирование базы нечётких продукционных правил, применяемых при нечёткой классификации. Далее выбираются факторы, в лучшей степени, описывающие эксплуатационное состояние конкретного типа ЭСПД, и формализуются в виде массива входных переменных $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$.

«Блок нечёткой кластеризации» обрабатывает данные ретроспективного характера и данные, поступающие в реальном времени. Эти данные подвергаются группировке на основании рекомендаций, полученных от экспертов в блоке экспертной оценки.

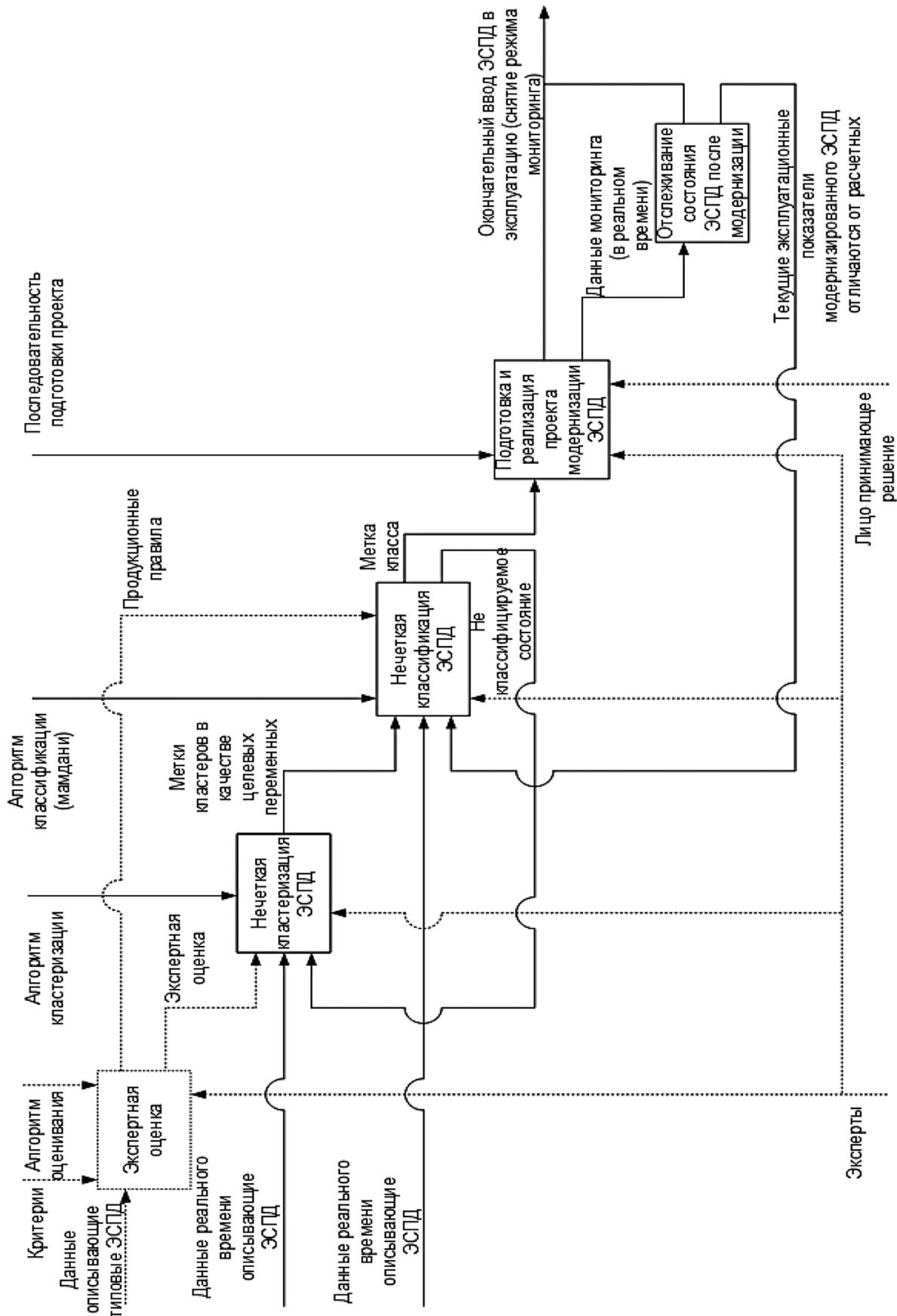


Рис. 3. Обобщенный вид системы поддержки принятия решения по оценке состояния ЭСПД
 Fig. 3. A generalized view of the decision support system for assessing the status of EDTS

При работе алгоритма нечёткой кластеризации, fuzzyc-means, получаем метки кластеров, в виде массива.

Далее этот массив передается блоку нечёткой классификации в качестве целевой функции:

$$T_{fuzzy}(U, q, n) = \sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^q z_{ij}^n \rho^2(\gamma_i, \varepsilon_j),$$

где $U \subset R^a$ - данные для обучения векторов; $i \in V: 1 \leq i \leq w$ - номер вектора набора данных для обучения; $q \in V$ - количество кластеров; $j \in V: 1 \leq j \leq q$ - номер кластера; $\varepsilon_j \in R^a$ - центр-ид кластера с номером j , a вектор величины; $n \in R: n > 1$ - степень нечеткости целевой функции; z_{ij} - степень принадлежности объекта i к кластеру j ; $\rho(\gamma_i, \varepsilon_j)$ - функция расстояния, определяющая степень принадлежности вектора γ_i кластеру j ; T_{fuzzy} - значение целевой функции.

Блок нечёткой кластеризации на выходе предоставляет массив данных, описывающих центры кластеров. Они служат одним из входных параметров при работе блока нечёткой классификацией.

«Блок нечеткой классификации», определяет степень принадлежности состояний ЭСПД к элементам массива меток кластеров:

$$\mu(a) = \frac{1}{\sum_{w=1}^L [\prod_{j=1}^G \gamma_M^{(w)}(a_i)]} \sum_{g=1}^L [\prod_{j=1}^G \gamma_M^{(w)}(a_i)] [p_{g0} + \sum_{j=1}^G p_{gj} a_j],$$

где L - число правил; G - количество входных переменных a_j ; $\gamma_M(a_i)$ - алгебраическое произведение w -го правила; $p_{g0} \dots p_{gj}$ - параметры.

Состояние ЭСПД соотносится с одним из четырёх классов эксплуатационного состояния оборудования с заранее установленными экспертами сроками проведения модернизации, как это показано в табл. 1.

В «блок подготовки и реализации проекта модернизации» передается метка класса эксплуатационного состояния ЭСПД, и начинается подготовка работ, определённых на временной период, получаемый в процессе классификации.

Утвержденный и реализованный проект модернизации ставится блоком отслеживания состояния ЭСПД после модернизации на усиленный мониторинг. Он отслеживает состояние ЭСПД, проводя повторную классификацию.

В процессе мониторинга используются средства визуализации, основанные на картах Кохонена, использующих взвешенные сумматоры:

$$f_j = h_j + \sum_{i=1}^m s_{ij} t_i,$$

где f_j - выход адаптивного сумматора, h_j - порог, s_{ij} - вес на i -входе, t_i - многомерный входной вектор.

При соответствии состояния ЭСПД классу оборудования, не требующего модернизации, проект можно отнести к успешным, и снять ЭСПД с усиленного наблюдения. В противном случае потребуется его дополнительная оценка на основе повторной кластеризации и классификации.

Обсуждение результатов. Структуризация системы поддержки принятия решения для оценки состояния элементов сетей передачи данных.

Разработанная СППР состоит из блоков, содержащих следующие укрупнённые функциональные группы: основные программные блоки, использующие в своей работе алгоритмы и методики на базе нечёткой логики и базы данных, в которых содержатся базы знаний, сформированные с привлечением экспертной группы и базы данных, содержащие информацию о состоянии ЭСПД и пополняемые в режиме реального времени (рис. 4.).

Работа предлагаемой СППР для оценки состояния ЭСПД, предполагает участие нескольких групп специалистов оператора связи и учитывает следующие особенности:

1. Блок экспертной оценки используется на первоначальном этапе, а также этапах проверки и корректировки работы системы в связи с исследованием эффективности её работы или

ввода новых эксплуатационных параметров, позволяющих производить оценку ЭСПД более полно.

2. Лицо, принимающее решение, производит периодический контроль подготовки и реализации проекта модернизации ЭСПД.

Данный функционал становится доступен посредством использования обратных связей между блоками СППР, дающими возможность контролировать процесс классификации и вести мониторинг сети после проведения этапа модернизации в автоматическом режиме, отправляя реализованный проект модернизации для повторного анализа.

Учитывая выше перечисленное, основное время работы СППР затребовано сотрудниками с недостаточным уровнем квалификации, которые будут обмениваться информацией с системой через человеко-машинный интерфейс. Эту группу специалистов отнесём операторам СППР. Высоко квалифицированные специалисты, основных направлений деятельности предприятия связи, выступая в роли экспертов, оценивают существующие проекты модернизации и проводят наполнение баз знаний используемых нечётких моделей.

Лицо, принимающее решение (ЛПР) контролирует работу СППР, в том числе на этапе внедрения и адаптации под конкретную СПД, предоставляя рекомендации для доработки и настройки.

Итоговый список вовлекаемого персонала включает: операторов СППР; экспертов; ЛПР. В качестве дополнительного участника можно указать искусственный интеллект на основе нечеткой логики и искусственных нечетких нейронных сетей, использование которого будет происходить при решении типичных задач на основе базы знаний, содержащих результаты внедрения схожих проектов.

Базы данных системы поддержки принятия решения для оценки состояния элементов систем передачи данных и их состав. СППР для оценки состояния ЭСПД в процессе работы связаны с пятью базами данных.

В первую базу исходных проектов вносятся тип ЭСПД и ретроспективные эксплуатационные данные или данные реального времени.

Вторая база данных с критериями оценки ЭСПД сохраняет пороговые значения факторов, оказывающих наибольшее влияние, в виде входных переменных для каждого из ЭСПД. Необходимо учитывать, что тип оборудования может влиять на число и тип критериев. В зависимости от типа оборудования количество и тип критериев могут различаться.

В третьей базе знаний хранятся данные, получаемые при кластеризации в виде массива, содержащего значения центров кластеров, используемых в качестве целевой функции в процессе классификации ЭСПД. Дополнительно база содержит правила нечётких продукций, используемые при оценке и мониторинге ЭСПД.

В четвёртой базе находится программное обеспечение на основе алгоритмов, используемых при работе СППР для оценки ЭСПД. В том числе, алгоритм расчёта экспертных оценок для определения посредством ранжирования наиболее существенных факторов для последующего наполнения базы критериев.

Дополнительно база данных содержит программное обеспечение на основе алгоритмов принятия решений по развитию сети доступа оператора связи, мониторинга состояния ЭСПД после модернизации, алгоритм нечёткой кластеризации и классификации.

В пятой базе реализованных проектов сохраняются данные по проектам. Присутствует информация об их успешности, текущем состоянии и состоянии узла до модернизации. Эта информация в дальнейшем используется для автоматизации принятия однотипных решений по схожим ЭСПД.

Программные компоненты системы поддержки принятия решения для оценки состояния элементов систем передачи данных и их состав.

На рис. 4 показаны блоки СППР оценки состояния ЭСПД, которые можно условно разделить на подсистемы хранения и обработки данных.

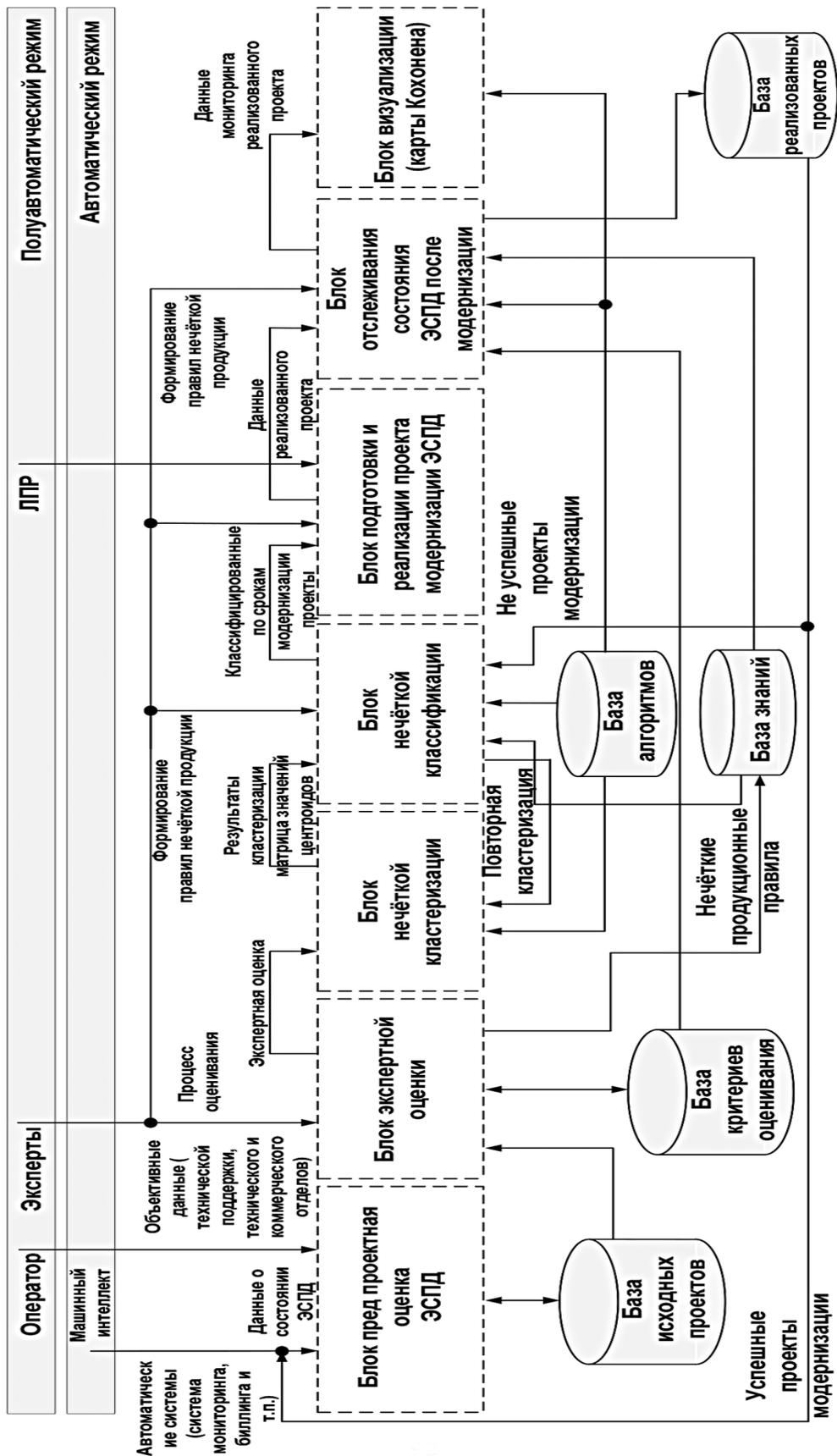


Рис. 4. Структурная схема модуля оценки состояния ЭСПД
 Fig. 4. Blok diagram of the module for assessing the state of EDTS

Блок «Предпроектная оценка ЭСПД» использует интерфейс для взаимодействия оператора и СППР для оценки ЭСПД.

В нем происходит ввод исходных данных о состоянии ЭСПД при первоначальной регистрации или корректировка существующих.

В «Блоке экспертной оценки» с использованием экспертных мнений производится выбор и оценка основных показателей по типу анализируемого ЭСПД.

В «Блоке нечёткой кластеризации» ретроспективные данные кластеризуются алгоритмом алгоритма fuzzyc-means по качественным и количественным параметрам.

Полученные в процессе кластеризации массив центров кластеров передаётся в качестве целевой функции на «Блок нечёткой классификации», который принимает решения, на основе алгоритма Сугено, об отнесении ЭСПД к тому или иному кластеру, описывающему состояние ЭСПД.

«Блок подготовки и реализации проекта модернизации ЭСПД» работает с данными полученными при кластеризации, соотнося их с классами состояний ЭСПД, сформированными с участием экспертов и подготавливает проекты в соответствии с указанными приоритетами по классам (табл. 1).

В «Блоке отслеживания состояния ЭСПД после модернизации», проект модернизации ставится на усиленный мониторинг для определения уровня успешности и внесения в базу данных для последующего использования.

«Блок визуализации» использует карты Кохонена и является вспомогательным, при анализе состояний ЭСПД, специалистами, имеющими недостаточный уровень квалификации.

На начальном этапе взаимодействие с СППР для оценки ЭСПД происходит с привлечением экспертной группы и операторов, наполняющих базы данных актуальной информацией. ЛПР контролирует и согласует этот процесс.

При наполнении баз данных, данными по реализованным проектам, и другой ретроспективной информации, полученной от систем мониторинга состояния ЭСПД, биллинговых и иных систем оператора связи, работа СППР переходит в полуавтоматический режим. В этом режиме, специалисты контролируют исполнение проектов модернизации, анализ поступающих данных и принятие решений по типовым проектам производится модулем в автоматическом режиме.

Работа модуля оценки ЭСПД самостоятельно контролируется за счёт обратных связей между блоками «Нечёткой классификации» и «Нечёткой кластеризации» при невозможности отнести состояние ЭСПД к одному из классов производится повторная кластеризация с использованием данных, получаемых в реальном времени.

Вторая обратная связь, между блоками «Отслеживания состояния ЭСПД после модернизации» и «Нечёткой классификации ЭСПД» позволяет проводить мониторинг состояния узлового оборудования, прошедшего модернизацию, определяя уровень соответствия прогнозируемым параметрам, а при несоответствии критериям эффективности отправлять проект на доработку.

Предоставление персоналу, имеющему недостаточный уровень квалификации в технической области, инструмента, дающего возможность осуществлять оценку и мониторинг текущего состояния элементов сетевой инфраструктуры, позволит сократить число этапов в процессе согласования восстановления работоспособности узлового оборудования, исключив высококвалифицированный персонал, занимающийся анализом состояния ЭСПД, и автоматизировать процесс принятия решения по типовым ситуациям.

Предложенная СППР для оценки состояния ЭСПД на основе нечёткой логики, позволит учитывать пограничные и предаварийные состояния оборудования при прогнозировании сроков проведения работ по модернизации ЭСПД.

Принятие решений по проектам модернизации ЭСПД, в автоматическом режиме, позволит снизить количество некачественных решений, даст возможность планировать уровень за-

полнения ресурсной базы оператора на основе рекомендуемых сроков модернизации. Это позволит снизить сроки хранения материалов и избежать необоснованных затрат.

Вывод. Снижение уровня вовлеченности в процесс оценки эксплуатационных состояний типового оборудования высоко квалифицированного персонала было достигнуто за счет использования СППР, основанной на нечёткой кластеризации и нечеткой классификации.

Формализованные экспертные знания в виде правил нечеткой продукции по оборудованию, имеющему схожие эксплуатационные характеристики, позволили освободить квалифицированный персонал от принятия однотипных решений и снизить число некачественных решений, принимаемых в результате обработки больших объемов информации. Интерпретация результатов оценки ЭСПД производится специалистами, имеющими более низкую квалификацию.

Это позволяет сокращать расходы на обучение и содержание специалистов высокой квалификации и перераспределять существующих специалистов.

Библиографический список:

1. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневецкий. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Гитман М. Б., Столбов В.Ю., Гилязов Р.Л. Управление социально-техническими системами с учетом нечетких предпочтений // М.: Ленанд, 2011. – 272 с.
3. Гольдштейн, Б. С. Кучерявый А. Е. Сети связи пост_NGN /СПб.: БХВ_Петербург, 2014. —160 с.
4. Дмитриев В.Н. Алгоритм выбора места расположения узлов инфокоммуникационной сети, основанный на применении обобщенного показателя качества / В.Н. Дмитриев, А.А. Сорокин, Ю. Ахмат, Г.А.Х. Алавади // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 2. С. 71-78.
5. Киселева О.И, Шубат О.М Прогнозирование выручки предприятия: методические подходы и принципы // Материалы Международной конференции Российские регионы в фокусе перемен. Екатеринбург, 2017. С.597-604.
6. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. - СПб.: БХВ-Петербург. - 2005. 736 с.
7. Люгер Дж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем // Вильямс. 2018. 864с.
8. Морозова Л.А., Хайков К.В. Методы решения управленческих задач в отрасли телекоммуникаций // Научные труды SWORLD. Иваново. 2015. Т.16. № 2 (39). С.22-27.
9. Олейников А.А., Сорокин А.А. Методика поддержки принятия решения в процессе модернизации элементов систем передачи данных// Вестник ТГТУ. 2018. Том 24. № 3. С. 446 - 454.
10. Паклин Н.Б. Бизнес-аналитика от данных к знаниям / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков. - 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Технологии анализа данных, 2013. 704 с.
11. Проталинский О. М., Ажмухамедов И. М. Моделирование плохо формализуемых процессов в социотехнических системах // Прикладная информатика. 2013. № 4 (46). С. 106–113.
12. Райли Д., Кринер М. NGOSS. Построение эффективных систем поддержки и эксплуатации сетей для оператора связи // Альпина Бизнес Букс. 2007. 192 с.
13. Barabanova Elizaveta, Maltseva Natalia, Kvyatkovskaya Irina, Beresnev Ilya. Computer-Aided Design Software for Buffer Management in Routers. / First conference, CIT&DS 2015 Volgograd, Russia, September 15–17, 2015, pp. 160–169.
14. Barabanova E.A., Vytovtov K.A., Maltseva N.S., Kravchenko O.V., Kravchenko V.F. Models and algorithms of optical switching systems with decentralized control//2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2019 ElConRus).2019.pp. 64-68.
15. Oleynikov A.A., Pishin O.N., Sorokin A.A. Block diagrams of means of gathering information about the state of the subsystem access network of a cellular operator // 2018 International conference on actual problems of electron devices engineering APEDE 2018. pp.199-205.
16. Sorokin A. A., Oleynikov A. A., Goryunov A. A. Using fuzzy classification to support decisionmaking during the modernization of the network infrastructure elements // 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies MWENT-2018

References:

1. Vishnevskiy V.M. Teoreticheskiye osnovy proyektirovaniya komp'yuternykh setey / V.M. Vishnevskiy. – М.: Tekhnosfera, 2003. – 512 s. [Vishnevsky V.M. Theoretical foundations for the design of computer networks / V.M. Vishnevsky. - М.: Technosphere, 2003. 512 p. (In Russ)]

2. Gitman M. B., Stolbov V.YU., Gilyazov R.L. Upravleniye sotsial'no-tekhnicheskimi sistemami s uchetom nechetkikh predpochteniy // M.: Lenand, 2011. – 272 s. [Gitman MB, Stolbov V.Yu., Gilyazov R.L. Management of socio-technical systems taking into account fuzzy preferences // M.: Lenand, 2011. 272 p. (In Russ)]
3. Gol'dshteyn, B. S. Kucheryavy A. Ye. Seti svyazi post_NGN /SPb.: BKHV_Peterburg, 2014. —160 s. [Goldstein, B. S. Kucheryavy A. E. Communication networks post_NGN / SPb.: BHV_Petersburg, 2014. 160 p. (In Russ)]
4. Dmitriyev V.N. Algoritm vybora mesta raspolozheniya uzlov infokommunikatsionnoy seti, osno-vanny na primenenii obobshchennogo pokazatelya kachestva / V.N. Dmitriyev, A.A. Sorokin, YU. Akhmat, G.A.KH. Alavadi // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2015. № 2. S. 71-78. [Dmitriyev V.N. Algorithm for choosing the location of the nodes of the infocommunication network, based on the use of a generalized quality indicator / V.N. Dmitriyev, A.A. Sorokin, Yu. Akhmat, G.A.Kh. Alavadi // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer technology and informatics. 2015. No. 2. pp. 71-78. (In Russ)]
5. Kiseleva O.I, Shubat O.M Prognozirovaniye vyruchki predpriyatiya: metodicheskiye podkhody i printsipy // Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii Rossiyskiye regiony v fokuse peremen. Yekateren-burg, 2017. S.597-604. [Kiseleva OI, Shubat OM Forecasting the company's revenue: methodological approaches and principles // Materials of the International conference Russian regions in the focus of change. Ekateren-burg, 2017.pp. 597-604. (In Russ)]
6. Leonenkov, A.V. Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH / A.V. Leonenkov. - SPb.: BKHV-Peterburg. - 2005. 736 s. [Leonenkov, A.V. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH / A.V. Leonenkov. - SPb.: BHV-Petersburg. 2005.736 p. (In Russ)]
7. Lyuger Dzh. Iskusstvennyy intellekt: strategii i metody resheniya slozhnykh problem // Vil'-yams. 2018. 864s. [Luger J. Artificial intelligence: strategies and methods for solving complex problems // Vilyams. 2018.864p. (In Russ)]
8. Morozova L.A., Khaykov K.V. Metody resheniya upravlencheskikh zadach v otrasli telekommunikatsiy // Nauchnyye trudy SWORLD. Ivanovo. 2015. T.16. № 2 (39). S.22-27. [Morozova L.A., Khaikov K.V. Methods for solving managerial problems in the telecommunications industry // Scientific works SWORLD. Ivanovo. 2015.T.16. No. 2 (39). pp.22-27. (In Russ)]
9. Oleynikov A.A., Sorokin A.A. Metodika podderzhki prinyatiya resheniya v protsesse modernizatsii elementov sistem peredachi dannykh// Vestnik TGTU. 2018. Tom 24. № 3. S. 446 - 454. [Oleinikov A.A., Sorokin A.A. Methodology for supporting decision-making in the process of modernizing elements of data transmission systems // Vestnik TSTU. 2018.Vol. 24.No. 3.pp. 446 - 454. (In Russ)]
10. Paklin N.B.Biznes-analitika ot dannykh k znaniyam / N.B. Paklin, V.I. Oreshkov. - 2- ye izd., pe-rerab. i dop. – SPb.: Tekhnologii analiza dannykh, 2013. 704 s. [Paklin NB Business analytics from data to knowledge / NB. Paklin and V.I. Oreshkov. p 2nd ed., Revised. and add. - SPb.: Technologies of data analysis, 2013.704 p. (In Russ)]
11. Protalinskiy O. M., Azhmukhamedov I. M. Modelirovaniye plokh formalizuyemykh protsessov v sotsiotekhnicheskikh sistemakh // Prikladnaya informatika. 2013. № 4 (46). S. 106–113. [Protalinsky OM, Azhmukhamedov IM Modeling of poorly formalized processes in socio-technical systems // Applied Informatics. 2013. No. 4 (46). pp. 106-113. (In Russ)]
12. Rayli D., Kriner M. NGOSS. Postroyeniye effektivnykh sistem podderzhki i ekspluatatsii setey dlya operatora svyazi // Al'pina Biznes Buks. 2007. 192 s. [Riley D., Kriner M. NGOSS. Construction of effective systems for support and operation of networks for a telecom operator // Alpina Business Books. 2007.192 p. (In Russ)]
13. Barabanova Elizaveta, Maltseva Natalia, Kvyatkovskaya Irina, Beresnev Ilya. Somputer-Aided Design Software for Buffer Management in Routers. / First conference, CIT&DS 2015 Volgograd, Russia, September 15–17, 2015, pp. 160–169. [Barabanova Elizaveta, Maltseva Natalia, Kvyatkovskaya Irina, Beresnev Ilya. Computer-Aided Design Software for Buffer Management in Routers. / First conference, CIT & DS 2015 Volgograd, Russia, September 15–17, 2015, pp. 160-169. (In Russ)]
14. Barabanova E.A., Vytovtov K.A., Maltseva N.S., Kravchenko O.V., Kravchenko V.F. Models and algorithms of optical switching systems with decentralized control//2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2019 EIConRus).2019.pp. 64-68. [Barabanova E.A., Vytovtov K.A., Maltseva N.S., Kravchenko O.V., Kravchenko V.F. Models and algorithms of optical switching systems with decentralized control // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2019 EIConRus). 2019.pp. 64-68. (In Russ)]
15. Oleynikov A.A., Pishin O.N., Sorokin A.A.Block diagrams of means of gathering information about the state of the subsystem access network of a cellular operator // 2018 International conference on actual problems of electron devices engineering APEDE 2018. pp.199-205. [Oleynikov A.A., Pishin O.N., Sorokin A.A.Block diagrams of means of gathering information about the state of the subsystem access network of a cellular operator // 2018 International conference on actual problems of electron devices engineering APEDE 2018. pp.199-205. (In Russ)]
16. Sorokin A. A., Oleynikov A. A., Goryunov A. A. Using fuzzy classification to support decisionmaking during the modernization of the network infrastructure elements // 2018 Moscow Workshop on Electronic and Net-working Technologies MWENT-2018. [Sorokin A. A., Oleynikov A. A., Goryunov A. A. Using fuzzy classification to support decisionmaking during the modernization of the network infrastructure elements // 2018 Moscow Workshop on Electronic and Net-working Technologies MWENT-2018(In Russ)]

Сведения об авторах:

Олейников Александр Александрович, аспирант кафедры «Связь» Института информационных технологий и коммуникаций, начальник бюро развития и внедрения ERP систем; e-mail: a.oleynikov.astu@mail.ru

Сорокин Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Связь», Института информационных технологий и коммуникаций; e-mail: alsorokin.astu@mail.ru

Береснев Илья Александрович, магистр, начальник отдела сопровождения информационных систем; e-mail: gold1290@mail.ru

Information about authors:

Alexander A. Oleinikov, Post-graduate Student, Department of Communications of the Institute of Information Technologies and Communications; Head of the Bureau of Development and Implementation of ERP Systems; e-mail: a.oleynikov.astu@mail.ru

Alexander A.Sorokin, Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Communications, Institute of Information Technologies and Communications; e-mail: alsorokin.astu@mail.ru

Ilya A. Beresnev, Master, Head of Information Systems Support Department; e-mail: a.oleynikov.astu@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 23.03.2020.

Принята в печать 19.04.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 23.03.2020.

Accepted for publication 19.04.2020.

Для цитирования: Д.Р. Подрезов. Моделирование показателей функционирования геотехнологических блоков и движения вскрытых запасов рудника подземного скважинного выщелачивания урана. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 98-107. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-98-107

For citation: D.R. Podrezov. Modeling the performance indicators of geotechnological blocks and the movement of the discovered reserves of an underground borehole leaching of uranium. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 98-107. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-98-107

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

УДК 005.53:622.22

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-98-107

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ И ДВИЖЕНИЯ ВСКРЫТЫХ ЗАПАСОВ РУДНИКА ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Д.Р. Подрезов

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, Россия*

Резюме. Цель. Цель исследования - получение достоверных сведений о запасах урана на технологических блоках рудника на основе разработанных методов и моделей переинтерпретации геофизических данных с изменением и коррекцией радиологических параметров морфологических элементов рудной залежи. **Метод.** Произведено моделирование основных параметров функционирования технологического блока и рассчитаны усредненные показатели переоценки запасов на месторождении. **Результат.** Анализ динамики коэффициента обеспеченности вскрытых запасов показал, что по расчетным данным за период исследования его значения были значительно ниже критического уровня готовых запасов, необходимых предприятию для эффективной работы. Осуществлено формирование и оценка исходного множества факторных признаков, определяющих объемы вскрытых запасов месторождения: интервал эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта; группировка технологических скважин блока; площадь технологического блока. На основе сводки и группировки показателей в факторных группах реализована процедура пересчета запасов технологического блока. Результаты пересчета запасов показали, что реальные запасы урана в недрах не соответствуют фактической отработке. Кроме того, было выявлено, что систематическая недооценка вскрытых запасов связана еще и с расчетом содержания урана в рудных интервалах, т.е. с принятым в расчет значением коэффициента радиоактивного равновесия. В этой связи были выявлены значимые корреляционные зависимости коэффициента радиоактивного равновесия от средней массовой доли радия с разделением по морфологическим элементам залежи и от среднего значения мощности рудных интервалов. Произведен расчет запасов технологического блока по сформированной совокупности вариантов с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров и группировок сближенных скважин. Проведенный в рамках разработанной информационной модели анализ геологической и технологической информации, а также оценка эволюции запасов в процессе отработки блоков месторождения показали, что 76% функционирующих технологических блоков на месторождении демонстрируют переизвлечение по фактическим показателям или ожидаемое в ближайшее время по прогнозным оценкам. **Вывод.** Основная проблема переоценки запасов месторождения заключается в обработке и анализе радиологических данных и в интерпретации на их основе значений коэффициента радиоактивного равновесия, а также объемных и качественных показателей запасов урана.

Ключевые слова: вскрытые запасы; факторная система; геофизические данные; эффективность функционирования; задача выбора; подсчет запасов

MODELING THE PERFORMANCE INDICATORS OF GEOTECHNOLOGICAL BLOCKS AND THE MOVEMENT OF THE DISCOVERED RESERVES OF AN UNDERGROUND BOREHOLE LEACHING OF URANIUM

D.R. Podrezov

*National University of Science and Technology MISiS,
4 Leninsky Ave., Moscow 119049, Russia*

Abstract. Aim. This work conducts a comprehensive analysis of system relationships between the main technical and technological indicators of technological blocks functioning at underground uranium leaching mines. **Methods.** An information model describing the operation of technological wells was created. This model was used to determine the relationship between the main volume and quality indicators of reserves development, such as the volume of mining mass, the volume of discovered reserves, metal recovery, the average concentration of uranium, and the value of the ore interval. **Results.** For an adequate assessment of the reserve of technological blocks, the initial set of factors determining the volume of discovered reserves and production volumes at the field was formed: the interval of the effective capacity of the acidified productive horizon; the grouping of technological wells in the block; the area of the technological block. The analysis of geological and technological information carried out using the developed information model, along with an assessment of the resources during field mining, showed that 76% of operating technological blocks demonstrated over-recovery according to the actual results or the results predicted by forecasts. **Conclusion.** The results of reserve re-calculation showed that the real reserves of uranium in the subsurface did not correspond to the actual development. In addition, it was found that systematic underestimation of discovered reserves was also associated with the calculation of uranium content in ore intervals, i.e., taking into account the value of the radioactive equilibrium coefficient.

Keywords: factor grouping; system communication; performance efficiency; task selection; reserves calculation.

Введение. Задачи непрерывного поиска производственных резервов, факторов повышения эффективности, оптимизации расходов на добычу и расширение минерально-сырьевой базы горнодобывающего предприятия становятся, как никогда, актуальными в сложившихся на сегодняшний день негативных тенденциях на мировом рынке уранового сырья [1,4,5,20].

Однако в сложившихся условиях рудник подземного скважинного выщелачивания столкнулся с несколько нестандартной проблемой, заключающейся в наличии на большинстве технологических блоков переизвлечения вскрытых запасов, зафиксированного как в настоящее время, так и ожидаемого по прогнозным экспертным расчетам [8].

Анализ такого состояния свидетельствует о наличии системной тенденции недооценки вскрытых запасов, приводящей к появлению аномально низких коэффициентов обеспеченности и завышению коэффициентов по вскрытию, что в свою очередь, влияет непосредственно на показатели проектного извлечения и уровень производственной себестоимости [7]. Проведенные исследования были направлены на выяснение закономерностей и основных причин несоответствия расчетных объемов вскрытых запасов фактической добыче, а также определение потенциальных возможностей укрепления минерально-сырьевой базы и повышение эффективности функционирования рудника подземного скважинного выщелачивания.

Таким образом, идентификация объемов вскрытых запасов на основе ретроспективного анализа геофизической информации на технологических блоках рудника подземного скважинного выщелачивания урана является актуальной научной и практической задачей [9].

Постановка задачи. Целью работы является повышение эффективности и интенсификация отработки технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания на основе моделирования показателей движения вскрытых и готовых запасов на месторождении.

Методы исследования. Анализ геологической и технологической информации вскрытых на сегодняшний день запасов свидетельствует о том, что 43,8% технологических блоков, находящихся на начальной стадии отработки с объемами ниже среднего значения по месторождению демонстрируют извлечение более 90% (рис. 1) [3].

Для определения основных причин и факторов возникновения системной недооценки запасов рассмотрим основные показатели эволюции запасов технологических блоков (под эволюцией запасов будем понимать процесс структурного изменения (извлечения) запасов от одного состояния к другому). Подсчет эволюции запасов был произведен на основе утвержденного временного технологического регламента на единичный рабочий технологический процесс добычи урана в продуктивных растворах рудника подземного скважинного выщелачивания урана.

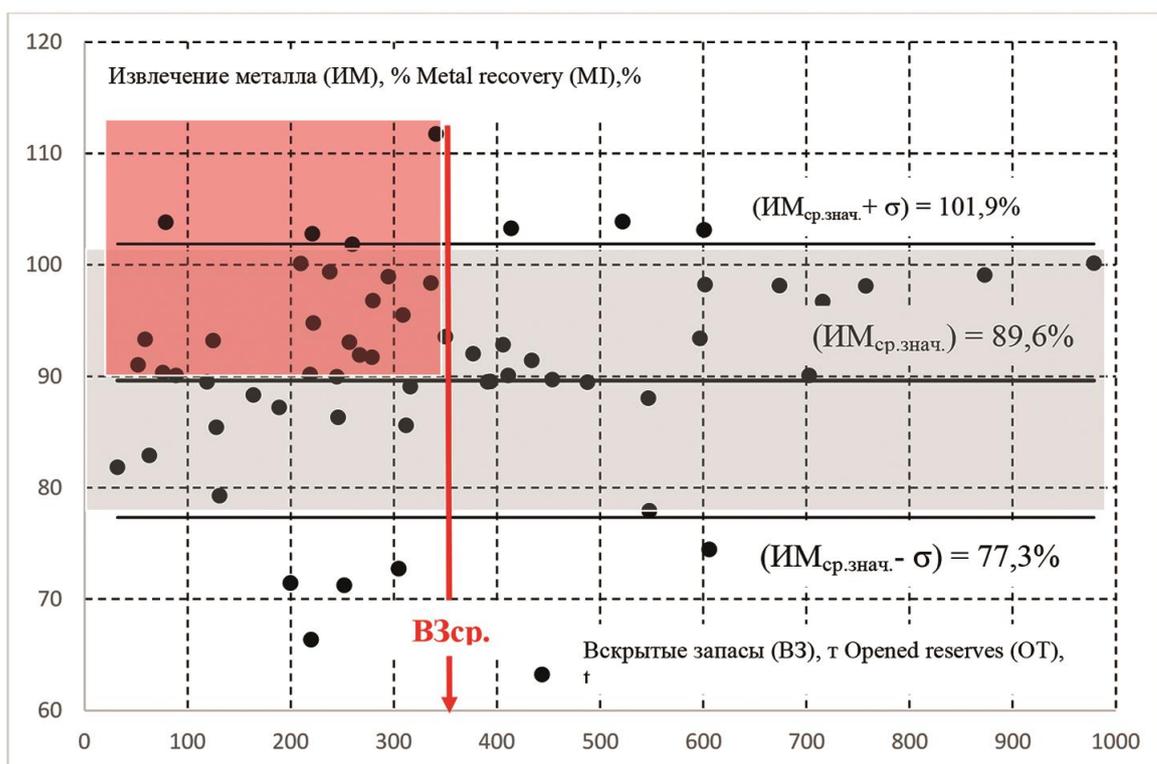


Рис. 1. Извлечение металла (ИМ),% из вскрытых запасов (ВЗ),т месторождения (среднее значение извлечения металла (ИМ_{ср.знач.}=89,6%) для технологических блоков, стандартное отклонение для извлечения металла составляет (σ=12,3%))

Fig. 1. Metal recovery (MI),% of exposed reserves (VZ), t of the deposit (average metal recovery (MI mean = 89.6%) for technological blocks, standard deviation for metal recovery is (σ=12.3%))

Для оценки средних значений выборок показателей эволюции расчетных запасов по годам эксплуатации технологического блока использовался статистический t-критерий Стьюдента, уровень значимости принимался равным 0,05.

Обсуждение результатов. На основе проведенных исследований были выявлены значимые статистические различия между подсчетами запасов в интервалах времени окончания периода разведочных работ на участке и принятием комплекса поправок в каротажи. При этом различия между подсчетами в интервалах времени ($t_1 - t_2$) остаются невыясненными, учитывая одинаковое количество скважин и идентичные площади блока. Из формуляров подсчета запасов видно, что данные изменения берут начало в подсчете содержания металла в рудных интервалах по скважинам технологического блока (табл. 1) [12,13].

Таблица 1. Расчет мощности рудного интервала (РИ) и содержания металла в рудных интервалах технологического блока по годам эксплуатации месторождения (t₁-t₂)
Table 1. Calculation of the thickness of the ore interval (RI) and the metal content in the ore intervals of the technological block by years of operation of the deposit (t₁-t₂)

№ скважины технологического блока wells technological block	Рудный интервал по скважине, м Ore interval along the well, m		Мощность рудного интервала, м Ore interval thickness, m	Среднее содержание урана в руде (сU, %) Average uranium content in ore (CU,%)		Продуктивность в метропроценте mc, м% Productivity in metro percentage mc, m%	
	от	до		t ₁	t ₂	t ₁	t ₂
1	624,45	633,95	6,20	0,056	0,137	0,3472	0,8494
2	624,45	633,95	9,50	0,0410	0,094	0,3895	0,893
3	618,25	629,75	11,5	0,049	0,136	0,5635	1,564
4	617,55	623,55	6,0	0,052	0,137	0,3120	0,822
5	632,25	637,35	5,10	0,068	0,166	0,3468	0,8466

Анализ данных табл. 1 показал, что итоговое превышение продуктивности в метропроценте составило от 2,3 до 2,7 раз в каждом рудном интервале за промежуток времени t₁-t₂. Для выяснения причин такого рода значимых динамических изменений проведены дальнейшие исследования по выявлению значимых факторов подсчета вскрытых запасов на месторождении. Использование данного подхода позволит рассмотреть различные варианты подсчета запасов, а также сформировать и оценить гипотезу о наличии основных (базовых) причин и факторов их недооценки.

Под факторной системой геофизических данных будем понимать совокупность факторных (множество геофизических и технологических данных) и результативных (объем запасов технологического блока) признаков, связанных между собой причинно-следственной связью вида (Q₃ = ξ(F1,F2,F3) [14,15].

Подсчет запасов урана (Q₃, т) проведен по традиционно используемой для этих целей формуле Q₃ = S*K_p*ρ, где S - площадь блока в плане в тыс. м² (факторный признак F3); K_p - площадной коэффициент рудоносности (поправочный коэффициент к запасам руды в недрах, учитывающий наличие в пределах оконтуриваемых объемов месторождения участков пустых пород либо некондиционных руд, при этом, K_p численно равен отношению суммы площадей непосредственно рудных участков к собственно общей площади рудной толщи) (факторный признак F2); ρ - средняя продуктивность по блоку в т/м² (факторный признак F1). При этом ρ определяется следующим образом ρ = m*c*d, где m -средняя рудная мощность по блоку, м; c -среднее содержание урана по блоку в %; d - объёмный вес руды в т/м³.

Учет данных трех факторов позволил реализовать процедуру пересчета запасов технологического блока на базе оценки эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта, площади по проекциям фильтров и среднего содержания урана в технологическом блоке.

Очевидно, что при учете всех указанных выше факторных признаков и ограничений, запасы блоков увеличиваются, считая от последнего по времени учета t₂, на 9,3%. Представленный выше подсчет запасов по предлагаемой факторной модели показал, что реальные запасы урана в недрах не соответствуют фактической отработке. При этом систематическая недооценка вскрытых запасов связана еще и с расчетом содержания урана в рудных интервалах, т.е., с принятым в расчет значением коэффициента радиоактивного равновесия (K_{pp}).

В этой связи на следующем этапе исследования был проведен корреляционный анализ зависимости коэффициента радиоактивного равновесия (K_{pp}) [19] от содержания радия (табл. 2) и от мощности рудного интервала по различным морфологическим элементам залежи. Данный подход необходимо реализовать для теоретико-методологического и практического обоснования систематической недооценки вскрытых запасов месторождения урана.

Таблица 2. Зависимости K_{pp} от средней массовой доли радия для месторождения урана с разделением по морфологическим элементам залежи
Table 2. Dependences of K_{pp} on the average mass fraction of radium for a uranium deposit with division by morphological elements of the deposit

Средние значения содержания Ra, % Average values of Ra content, %	Средние значения K_{pp} , отн. Ед. Average K_{pp} values, rel. units	Среднеквадратическая погрешность sK_{pp} Root mean square error sK_{pp}	Количество определений, n Number of definitions, n	Аппроксимация уравнением Approximation equation
Мешковая часть залежи. Средневзвешенное (по количеству проб) The bag part of the deposit. Weighted average (by number of samples) $K_{pp}=0,565$				
0,011	0,437	0,035	17	$K_{pp} = 0,11\ln(Ra) + 0,93, R^2 = 0,95$
0,021	0,482	0,032	35	
0,039	0,590	0,024	46	
0,053	0,611	0,041	17	
0,085	0,699	0,022	25	
0,158	0,699	0,030	18	
Крыльевая часть залежи. Средневзвешенное (по количеству проб) Wing part of the deposit. Weighted average (by number of samples) $K_{pp}=0,757$				
0,012	0,558	0,039	24	$K_{pp} = 0,099\ln(Ra) + 1,04, R^2 = 0,86$
0,023	0,676	0,027	63	
0,041	0,713	0,020	80	
0,060	0,789	0,032	60	
0,084	0,859	0,036	45	
0,132	0,864	0,037	54	
0,326	0,867	0,064	15	
Глина, алевроит (непроницаемые породы) Clay, silt (impermeable rocks)				
0,020	0,998	0,072	29	$K_{pp} = -0,256 Ra + 0,99, R^2 = 0,94$
0,041	0,962	0,083	21	
0,073	0,981	0,053	54	
0,173	0,946	0,045	72	
0,484	0,868	0,065	21	

Исходя из вышесказанного, подсчитаем запасы технологического блока по сформированной совокупности вариантов расчетов:

Вариант 1. – подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности и группировок сближенных скважин (факторная модель $Q_3 = \xi(F1, F2)$);

Вариант 2. – подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров и группировок сближенных скважин (факторная модель $Q_3 = \xi(F1, F2, F3)$).

Вариант 3. – пересчет рудных интервалов в соответствии с ограничением мощности крыльев и корректировками границ, а также подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров и группировкой сближенных скважин (факторная модель $Q_3 = \xi(F1, F2, F3) +$ пересчет рудных интервалов).

В этой связи, в общем виде задачу выбора варианта учета различных факторных признаков для оценки запасов на месторождении можно сформулировать следующим образом [6,18]. Имеется множество допустимых вариантов расчета запасов технологического блока по руднику подземного скважинного выщелачивания $\Omega_d = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$.

Каждый из вариантов имеет соответствующие числовые показатели $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$. В данном случае, показатели E_i характеризуют признаки вариантов прогнозной оценки, существенные для подсчета запасов. Каждый конкретный вариант ω_i характеризуется в этом случае и конкретными числовыми значениями показателей E_1^i, \dots, E_m^i .

Можно считать, что введенная система показателей отображает варианты ω_i в некоторую точку m -мерного критериального пространства исходов (последствий) с координатами, равными соответствующим значениям показателей E_m^i . Задача принятия решения при этом может рассматриваться как задача выбора такого варианта $\omega_i \in \Omega$, который дает оптимальный результат E_1^i, \dots, E_m^i .

В этих условиях нужна некоторая функция, которая бы сводила систему показателей E_1, \dots, E_m в некоторый скалярный показатель предпочтительности. Это равносильно введению скалярной функции V , определенной в критериальном пространстве и обладающей следующими свойствами: если $V(E_1^i, \dots, E_m^i) > V(E_1^j, \dots, E_m^j)$, то $\omega_i \succ \omega_j$; если $V(E_1^i, \dots, E_m^i) = V(E_1^j, \dots, E_m^j)$, то $\omega_i \sim \omega_j$. В соответствии с приведенными свойствами выбор предпочтительного варианта ω^* из множества Ω_d отвечает максимизация функции V . В данном случае функция $V(E_1, \dots, E_m)$ носит название функции ценности. Процедура, использующая линейную комбинацию критериев, предполагает формирование функции ценности вида $V = \sum_{i=1}^n \lambda_i E_i$, где

$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, $\lambda_i \geq 0$ и $i = 1, \dots, n$. с последующим решением однокритериальной оптимизационной задачи вида $\omega^* = \arg \max \{V[E_i(\omega)]\}$, при $i = 1, \dots, n$. Если полученное решение по какому-либо критерию $E_i(\omega)$ представляется недостаточно подходящим, то можно, увеличив соответствующее значение λ_i (при сохранении условия $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$), повторить задачу поиска. Кроме того, одной из разновидностей решения задачи выбора может выступать расчет соответствующих метрик. Так в метрике R^2 определяется расстояние от центра (идеальной точки, имеющей наилучшие значения по множеству оценочных критериев) до всех остальных векторов. Для вектора x_j

расстояние определяется по формуле: $R_x^{(j)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^{(j)} - x_c)^2}$.

Аналогичный подход позволяет использовать различные варианты определения расстояния, в том числе «манхеттенское» расстояние или «расстояние городских кварталов» (city-block): $R_x^{(j)} = |x_i^{(j)} - x_c|$.

Проведенные расчеты показали, что лучшие значения по оценке запасов, исходя из функции ценности и R^2 -метрики, дает третий вариант, при этом общие изменения параметров незначительны при тех же параметрах, что и в технологическом регламенте. Это еще раз свидетельствует о том, что основная проблема подсчета запасов технологического блока заключается именно в оценке K_{pp} .

В этой связи, учитывая определенность и достоверность интерпретации K_{pp} (в рамках существующей выборки о разведке месторождения), необходимо расширять исследование путем включения данных КНД-М, выполненных при эксплуатационном, разведочном и технологическом бурении.

Таким образом, результаты переинтерпретации морфологии в пользу роста мешковых интервалов (в целом, имело место от 10 до 40% прироста интервалов, проинтерпретированных как мешки, в зависимости от блока), не дает значимых результатов в плане прироста запасов (до 10%).

Следовательно, проблемой переоценки объемов запасов месторождения является обработка и анализ радиологических данных и интерпретация на их основе значений K_{pp} , а также объемных и качественных показателей запасов урана.

На заключительном этапе исследование реализованы процедуры моделирования движения вскрытых и готовых запасов на месторождении. Полученные результаты легли в основу расчета показателей вариации коэффициента обеспеченности запасами на месторождении [10,11].

Исходной точкой для расчета и моделирования послужило состояние (по данным предприятия) вскрытых и готовых запасов на 01.01.2007 г. Данный момент времени был принят первым временным интервалом для модели переоценки запасов. Дальнейший прирост по данным переоценки рассчитан по графику приростов предприятия и согласно значениям переоцененных запасов технологических блоков по разработанной модели. Погашение запасов принималось без учета показателей переизвлечения технологических блоков.

Анализ динамики коэффициента обеспеченности вскрытых запасов показал, что по расчетным данным предприятия за весь рассматриваемый период исследования его значения были значительно ниже критического уровня готовых запасов, необходимых предприятию для эффективной работы (рис.2).

Результаты моделирования позволяют получить диаметрально противоположную картину. Движение вскрытых и готовых запасов, с учетом результатов переоценки, осуществляется с коэффициентами обеспеченности 2,72 по вскрытым и 2,09 по готовым, вместо 1,27 и 0,79 соответственно (по предприятию).

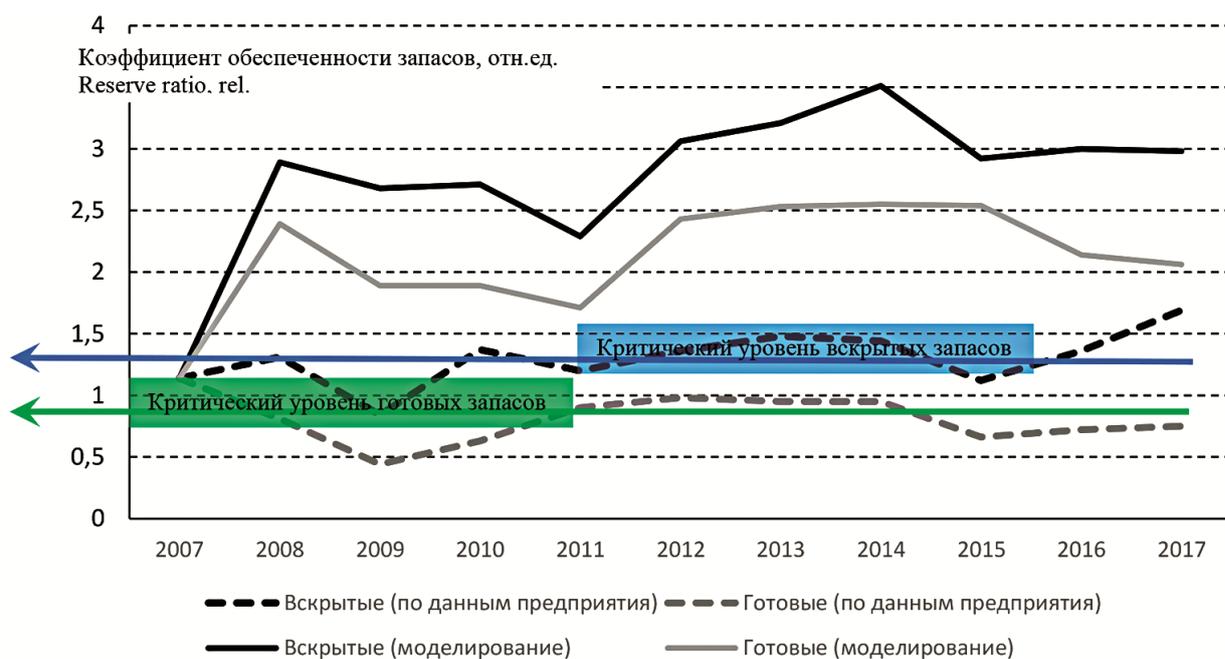


Рис. 2. Динамика соотношения коэффициентов обеспеченности вскрытых и готовых запасов по данным предприятия и по результатам моделирования

Fig. 2. Dynamics of the ratio of the supply ratios of open and finished reserves according to the data of the enterprise and according to the results of modeling

Вывод. Экономическое обоснование эффективности проведенного исследования определяется следующими предпосылками [16]:

- уменьшением затрат на сооружение скважин, в случае обоснования вывода о возможности использовать более редкую сеть вскрытия без существенных потерь темпов извлечения металла;

- возможностью оценить перспективность вовлечения в добычу остаточных рудных интервалов и / или скоплений захороненных растворов, что улучшает состояние ресурсной базы предприятия.
- ожидаемым улучшением состояния МСБ предприятия с соответствующим ростом капитализации компании.

Для достижения данного экономического эффекта на предприятии предлагается разработать программу интенсификации [2,17], состоящую из следующих мероприятий:

- выбор группы блоков с извлечением более 90% для интенсификации добычи урана;
- проведение полной ревизии скважин и блоков в целом на фактическое состояние (аварийность, наличие насосов, причины остановки скважины, наличие коммуникаций, электроснабжения и т.д.);
- разработка по результатам проведенного анализа программы оптимизации работы каждого блока по мере включения их в план интенсификации с учетом возможного изменения направления потоков рабочих растворов и дебитов технологических скважин;
- при проектировании обвязки блоков с рудными телами, не вовлеченных в отработку, учесть возможность повторного использования существующей инфраструктуры;
- вывод из эксплуатации отработанных блоков по мере достижения минимально-промышленных содержаний.

Планируемые мероприятия позволят переоценить ресурсный потенциал технологического блока с одновременным обоснованным прогнозом остаточных запасов урана в эксплуатируемых и вскрываемых блоках, снизить затраты на стадии ГПР, при своевременном выводе из эксплуатации блоков, снизить потребность в электроэнергии, оптимизировать количество серной кислоты и в целом повысить качество прогнозирования и планирования производственных показателей с целью безусловного выполнения программы добычи урана.

Библиографический список:

1. Басов В.С. Выбор оптимальной схемы вскрытия месторождения геотехнологическими скважинами // Горный журнал. 2006. № 1. С. 51-53.
2. Верхотуров А. Г. Интенсификация добычи урана при использовании комплекса обработки прифилтровых зон геотехнологических скважин / А.Г. Верхотуров, А.А. Сабигатулин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 7. С. 13–20.
3. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Габараев О. З. Геофизическое обеспечение технологий выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 7. С. 112–121.
4. Голик В.И. Инновационные технологии добычи урана // Горный журнал. 2009. №2. с. 12-15
5. Голик В.И., Култышев В.И. История и перспективы выщелачивания урана// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011.№7. С. 138– 143.
6. Дементьев А.А. Компьютерная модель расчета технико-экономических показателей (на примере месторождений урана для разработки подземным выщелачиванием) // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ. 1999. №2. С. 169-175.
7. Джакупов Д.А. Повышение эффективности добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания/ Международная научно-техническая конференция «Инновационное развитие горнодобывающей отрасли». Кривой Рог, 2016. С. 130-133
8. Живов В. Л., Бойцов А. В., Шумилин М. В. Уран: геология, добыча, экономика. – М.: Атомредметзолото, 2012. – 301 с.
9. Каримов И. А., Хакимов К. Ж. Разработка сложноструктурного уранового оруденения подземного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 9. С. 67–69.
10. Кочегаров Ю.В. Автоматизация задач проектирования, учета, анализа и планирования на объектах подземного выщелачивания урана /Ю.В. Кочегаров, В.Е. Рыков, Б.Б. Шишкин // Горный журнал. 2003. № 8. С. 84-85.
11. Марченко И.В. Моделирование последовательности и времени отработки блоков гидрогенного месторождения методом подземного выщелачивания / И.В. Марченко, В.Д. Постников // Цветная металлургия. 1988. № 2. С. 45-47.
12. Оракбаев Е. Ж. Исследование и разработка эффективных систем управления процессом подземного выщелачивания: дис. докт. наук. Алматы: КНИТУ им. К.И. Сатпаева 2017.

13. Поезжаев И.П., Полиновский К.Д., Горбатенко О.А. и др. «Геотехнология урана: учебное пособие» / Под общей редакцией Ю.В. Демехова, Б.М. Ибраева. Алматы. 2017. 327 с.
14. Рогов А.Е. К определению оптимального уровня извлечения урана при подземном скважинном выщелачивании // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ. 2003. № 9. С. 119-121.
15. Рогов Е.И. Оптимизация подготовленных и готовых к выемке запасов на рудниках подземного скважинного выщелачивания урана /А.Е. Рогов, В.Г. Языков, В.Л. Забазнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ. 2002. №4. С. 149-150.
16. Сатыбалдиев Б.С., Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М. Оценка эффективности использования фильтрационного выщелачивания для извлечения урана из урановой руды // Вестник КазНУ имени Аль-Фараби. 2015. № 3. С. 23-27.
17. Шаталов В.В. Подземное выщелачивание урана и пути его совершенствования / В.В. Шаталов, М.И. Фазлуллин // Цветные металлы. 2003. № 4. С. 35-39.
18. Шеметов П. А., Глотов Г. Н. Теоретические основы автоматизированных систем геотехнологии подземного выщелачивания урана // Горный журнал. 2011. № 11. С. 35–40.
19. Шурыгин С. В. Влияние коэффициента радиоактивного равновесия на сортируемость руд радиометрическими методами /С.В. Шурыгин, В.А. Овсейчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: №4, 2016г. с.376-381.
20. Экономико-аналитические модели динамики развития ядерной энергетики /под ред. В. В. Харитонов. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. 76 с.

References:

1. Basov B.C. Vybor optimal'noy skhemy vskrytiya mestorozhdeniya geotekhnologicheskimi skvazhinami // Gornyy zhurnal. 2006. - № 1. - S. 51-53. [Basov B.C. Field opening optimal scheme selection by geotechnological wells//Mining log. 2006. No. 1. pp. 51-53. (In Russ)]
2. Verkhotur A. G. Intensifikatsiya dobychi urana pri ispol'zovanii kompleksa obrabotki pri-fil'troykh zon geotekhnologicheskikh skvazhin / A.G. Verkhotur, A.A. Sabigatulin // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. - 2019. - № 7. - S. 13–20. [Verkhotur A. G. Intensification of uranium production using the geotechnological wells filter zones treatment complex/A.G. Verkhotur, A.A. Sabigatulin//Mining information and analytical bulletin. - 2019. No. 7. pp. 13-20. (In Russ)]
3. Golik V. I., Zaalishvili V. B., Gabarayev O. Z. Geofizicheskoye obespecheniye tekhnologiy vyshchelachivaniya urana // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2014. № 7. С. 112–121. [Golik V.I., Zaalishvili V. B., Gabarayev O. Z. Geophysical support uranium leaching technologies//Mining information and analytical bulletin. 2014. No. 7. pp. 112–121. (In Russ)]
4. Golik V.I. Innovatsionnyye tekhnologii dobychi urana // Gornyy zhurnal. 2009. №2. s. 12-15 [Golik V.I. Innovative uranium mining technologies//Mining magazine. 2009. No.2. pp. 12-15. (In Russ)]
5. Golik V.I., Kultyshev V.I. Istoriya i perspektivy vyshchelachivaniya urana// Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2011.№7. S. 138– 143. [Golik V.I., Kultyshev V.I. History and uranium leaching prospects//Mining information and analytical bulletin. 2011. No.7. pp. 138- 143. (In Russ)]
6. Dement'yev A.A. Komp'yuternaya model' rascheta tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley (na primere mestorozhdeniy urana dlya razrabotki podzemnym vyshchelachivaniyem) // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. MGGU. -1999.-№2.-S. 169-175. [Dementyev A.A. Computer model for calculating technical and economic indicators (using the uranium deposits example for development by underground leaching)//Mining information and analytical bulletin. MGGU. 1999. No.2. pp. 169-175. (In Russ)]
7. Dzhakupov D.A. Povysheniye effektivnosti dobychi urana metodom podzemnom skvazhinno vyshchelachivaniya/ Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Innovatsionnoye razvitiye gornodobyvayushchey otrasli»-Krivoy Rog, 2016. S. 130-133 [D.A. Dzhakupov Improving Efficiency Uranium Production by Underground Well Leaching/International Scientific and Technical Conference "The Mining Industry Innovative Development" -Krivoy Rog, 2016. Pp. 130-133(In Russ)]
8. Zhivov V. L., Boytsov A. V., Shumilin M. V. Uran: geologiya, dobycha, ekonomika. – М.: Atomredmet-zoloto, 2012. – 301 s. [Zhivov V.L., Boytsov A.V., Shumilin M.V. Uran: geology, mining, economics. - М.: Atomredmet-zoloto, 2012. 301 p. (In Russ)]
9. Karimov I. A., Khakimov K. Zh. Razrabotka slozhnostrukturnogo uranovogo orudneniya podzemno vyshchelachivaniya // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2015. № 9. С. 67–69. [Karimov I. A., Khakimov K. Zh. Complex structural uranium tools development for underground leaching//Mining information and analytical bulletin. 2015. No.9. pp. 67–69. (In Russ)]
10. Kochegarov YU.V. Avtomatizatsiya zadach proyektirovaniya, ucheta, analiza i planirovaniya na ob'yektakh podzemno vyshchelachivaniya urana /YU.V. Kochegarov, V.Ye. Rykov, B.B. Shishkin // Gornyy zhurnal. 2003. - № 8. - S. 84-85. [Kochegarov Yu.V. Automation design, accounting, analysis and planning tasks at underground uranium leaching facilities/Yu.V. Kochegarov, V.E. Rykov, B.B. Shishkin//Mining magazine. 2003. No. 8. pp. 84-85. (In Russ)]

11. Marchenko I.V. Modelirovaniye posledovatel'nosti i vremeni otrabotki blokov gidrogenogo me-storozhdeniya metodom podzemnogo vyshchelachivaniya / I.V. Marchenko, V.D. Postnikov // Tsvetnaya metallurgiya. 1988. - № 2. - S. 45-47. [Marchenko I.V. The sequence modeling and hydrogenic deposit blocks development time by underground leaching/I.V. Marchenko, V.D. Postnikov//Non-ferrous metallurgy. 1988. No. 2. pp. 45-47. (In Russ)]
12. Orakbaev E. Zh. Research and development effective systems for controlling the underground leaching process of: dis. PhD. sciences. - Almaty: KNITU named after K.I. Satpaeva 2017.
13. Podzhadaev I.P., Polinovsky K.D., Gorbatenko O.A. and others. " Uranium Geotechnology: a textbook "/Edited by Yu.V. Demekhov, B.M. Ibraeva. Almaty. 2017. 327 p.
14. Rogov A.Ye. K opredeleniyu optimal'nogo urovnya izvlecheniya urana pri podzemnom skvazhinom vyshchelachivanii // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. MGGU. - 2003. - № 9. - S. 119-121. [Rogov A.E. To determine the uranium recovery optimal level in underground well leaching//Mining information and analytical bulletin. MGSU. 2003. No. 9. pp. 119-121. (In Russ)]
15. Rogov Ye.I. Optimizatsiya podgotovlennykh i gotovykh k vyyemke zapasov na rudnikakh podzemnogo skvazhinogo vyshchelachivaniya urana /A.Ye. Rogov, V.G. YAzikov, V.L. Zabaznov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. MGGU. -2002.-№4.-S. 149-150. [Rogov E.I. Optimization prepared and ready for excavation reserves at underground well uranium leaching mines/A.E. Rogov, V.G. Yazikov, V.L. Zabaznov//Mining Information and Analytical Bulletin. MGGU.-2002. No.4. pp. 149-150. (In Russ)]
16. Satybaldiyev B.S., Uralbekov B.M., Burkitbayev M.M. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya fil'-tratsionnogo vyshchelachivaniya dlya izvlecheniya urana iz uranovoy rudy // Vestnik KazNU imeni Al'-Farabi. — 2015. — № 3. — S. 23—27. [Satybaldiev B.S., Uralbekov B.M., Burkitbaev M.M. Evaluation the using filtration leaching efficiency to extract uranium from uranium ore//Bulletin of the Al-Farabi KazNU. 2015. No. 3. pp. 23 - 27. (In Russ)]
17. Shatalov V.V. Podzemnoye vyshchelachivaniye urana i puti yego sovershenstvovaniya / V.V. Shatalov, M.I. Fazlullin // Tsvetnyye metally. 2003. - № 4. -S. 35-39. [Shatalov V.V. Underground uranium leaching and ways to improve it/V.V. Shatalov, M.I. Fazlullin//Non-ferrous metals. 2003. No. 4. pp. 35-39. (In Russ)]
18. Shemetov P. A., Glotov G. N. Teoreticheskiye osnovy avtomatizirovannykh sistem geotekhnologii podzemnogo vyshchelachivaniya urana // Gornyy zhurnal. 2011. № 11. S. 35–40. [Shemetov P. A., Glotov G. N. Theoretical foundations underground uranium leaching geotechnology automated systems//Mining journal. 2011. No. 11. pp 35-40. (In Russ)]
19. Shurygin S. V. Vliyaniye koeffitsiyenta radioaktivnogo ravnovesiya na sortiruyemost' rud radiomet-richeskimi metodami /S.V. Shurygin, V.A. Ovseychuk // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. M.: №4, 2016g. – s.376-381. [Shurygin S.V. Influence radioactive equilibrium coefficient on ore sortability by radiometric methods/S.V. Shurygin, V.A. Ovseychuk//Mining Information and Analytical Bulletin. M.: No. 4, 2016. pp.376-381. (In Russ)]
20. Ekonomiko-analiticheskiye modeli dinamiki razvitiya yadernoy energetiki /pod red. V. V. Kharito-nova — M.: NIYAU MIFI, 2012. 76 s. [Economic and analytical the nuclear energy development dynamics models/edited by V.V. Kharitonov - M.: NIAU MEFhI, 2012. 76 p. (In Russ)]

Сведения об авторе:

Подрезов Денис Рустамович, соискатель; e-mail: gs16@mail.ru

Information about the author:

Denis R. Podrezov, applicant; e-mail: gs16@mail.ru

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 04.05.2020.

Принята в печать 14.06.2020.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 04.05.2020.

Accepted for publication 14.06.2020.

Для цитирования: М.В. Тумбинская, В.В. Волков, Б.Г. Загидуллин. Применение статистических методов для прогнозирования UDP-FLOOD атак. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 108-122. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-108-122

For citation: M.V. Tumbinskaya, V.V. Volkov, B.G. Zagidullin. Application of statistical methods for predicting udp-flood attacks. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 108-122. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-108-122

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

УДК 519.71

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-108-122

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ UDP-FLOOD АТАК

М.В. Тумбинская, В.В. Волков, Б.Г. Загидуллин

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10, Россия

Резюме. Цель. Web-ресурсы являются неотъемлемой частью жизни современного человека, которые в настоящее время все чаще подвергаются хакерским атакам, такими как внедрение операторов SQL, межсайтовое выполнение сценариев и др. DDoS-атаки продолжают входить в топ-10 сетевых атак и приводят к серьезным сбоям и отказам работы web-ресурсов, наиболее распространенным типом DDoS-атак является UDP-flood атаки, основанные на бесконечной посылке UDP-пакетов на порты различных UDP-сервисов. Основанием для проведения эмпирического исследования являются факторы: отсутствие эффективных средств защиты от DDoS-атак, специфика UDP-flood атак, отсутствие моделей прогнозирования, адекватно описывающих исследуемый процесс. Целью исследования является повышение уровня защищенности web-ресурсов, за счет своевременного обнаружения аномалий в их работе, обнаружении информационных угроз безопасности на основе методов анализа и прогнозирования. В качестве объекта исследования был выбран тип атак UDP-flood из семейства DDoS атак. **Метод.** Методами корреляционного анализа и моделирования были рассчитаны индекс сезонности UDP-flood атак, автокорреляция временного ряда данного типа атак, на основе моделей простого экспоненциального сглаживания и нейросетевого прогнозирования построен прогноз UDP-flood атак. **Результат.** В работе предложена классификация DDoS-атак, описаны способы защиты. На основе корреляционного анализа рассчитаны прогнозные значения воздействия UDP-flood атак на web-ресурсы, выявлен фактор – сезонность. Анализ результатов прогнозирования показал, что разброс прогнозных значений незначительный, наибольшее количество атак ожидается в IV квартале 2020 года. Для DDoS-атак длительностью до 20 минут также выявлена сезонность в I квартале календарного года, а значит, в I квартале 2020 года следует ожидать наибольшее количество атак данной длительности. **Вывод.** Перспективы дальнейшего исследования проблемы защиты от DDoS атак представляются в дальнейшей проработке методики противодействия UDP-flood атак, алгоритмов информационной безопасности web-ресурсов, что позволит сократить количество инцидентов UDP-flood атак, планировать мероприятия по повышению уровня защищенности web-ресурсов, повысить уровень их защищенности.

Ключевые слова: DDoS-атака, UDP-flood, корреляционный анализ, прогнозирование, метод простого экспоненциального сглаживания, коэффициент сглаживания, моделирование, аддитивная модель временных рядов, автокорреляционная функция, защита информации

APPLICATION OF STATISTICAL METHODS FOR PREDICTING UDP-FLOOD ATTACKS

M.V. Tumbinskaya, V.V. Volkov, B.G. Zagidullin

*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,
10 Karl Marx St., Kazan 420111, Russia*

Abstract. Aim. Web resources are an integral part of modern human life. Today, these resources are increasingly exposed to hacker attacks, such as the introduction of SQL operators, cross-site scripting, etc. DDoS attacks continue to be included in the top 10 network attacks that lead to serious failures of web resources. The most common type of DDoS attack is UDP-flood attacks based on the endless sending of UDP packets to the ports of various UDP services. Our empirical study was based on the following factors: the lack of effective means of protection against DDoS attacks, the specificity of UDP-flood attacks, and the lack of prediction models that adequately describe the process under study. The aim of this study was to increase the level of security of web resources by means of timely detection of anomalies in their work, detection of information security threats based on analysis and forecasting methods. The research object was UDP-flood attacks. **Methods.** Correlation analysis and modelling methods were used to calculate the seasonal index of UDP-flood attacks and the autocorrelation of the time series of this type of attack. The forecast of UDP-flood attacks was built based on simple exponential smoothing and neural network forecasting models. **Results.** A classification of DDoS attacks was proposed, along with possible protection approaches. Using a correlation analysis, the forecast values of the impact of UDP-flood attacks against web resources were calculated, and the seasonal factor was identified. The analysis of the forecast results showed that the spread of forecast values was not significant; the largest number of attacks is expected in the fourth quarter of 2020. For DDoS attacks lasting up to 20 minutes, seasonality was also detected in the first quarter of the calendar year, which means that the largest number of attacks of this duration should be expected in the first quarter of 2020. **Conclusion.** In order to improve the level of protection against DDoS attacks, further research should be aimed at developing methods for combating UDP-flood attacks and algorithms increasing the information security of web resources, as well as implementing measures to improve the security of web-based resources.

Keywords: DDoS attack, UDP-flood, correlation analysis, forecasting, simple exponential smoothing method, smoothing coefficient, modeling, additive time series model, autocorrelation function, information protection

Введение. DDoS (Distributed Denial of Service) – это распределенная атака типа «отказ в обслуживании», которая представляет собой одновременную, массовую отправку информационных запросов на веб-сервер, при которых пользователи не смогут получить доступ к веб-серверу из-за его перегрузки [1].

На практике скорость поступления новых запросов на web-сервер превышает скорость обработки, очередь запросов становится длинной, и новые запросы не обрабатываются. Это главный принцип DDoS-атаки. Подобного рода атаки выполняются одновременно с большого количества устройств. Злоумышленники для этих целей используют персональные компьютеры, различные IoT устройства, к которым они смогли получить доступ, например, видеокамеры и роутеры с устаревшей версией программного обеспечения, устройства контроля, компьютеры пользователей с вредоносным программным обеспечением. Одним из видов [2] DDoS-атак является UDP-flood, сценарий которой заключается в одновременной отправке веб-серверу большого количества UDP-пакетов с широкого диапазона IP-адресов. Вследствие атаки, сетевые интерфейсы перегружены поддельными UDP-пакетами на всей полосе пропускания трафика.

Для проведения эффективной защиты от угроз UDP-flood атак методы анализа и прогнозирования должны быть эффективными. Решению общих проблем прогнозирования и выявления UDP-flood атак посвящены работы зарубежных авторов Cabrera J. B. D. и др. [3], Raza M. A. и др. [4], K. S. Sahoo и др. [5], российских авторов В.И. Городецкого, И.В. Котенко, А.В. Лу-

кацкого, С.М. Климова, С.С. Корта и др. [6 – 11]. Однако проанализированные работы не могут полностью решить задачу своевременного обнаружения угроз информационной безопасности из-за отсутствия точных и адекватных прогнозов неблагоприятного сетевого трафика.

Постановка задачи. Для повышения качества средств защиты web-ресурсов, методами корреляционного анализа, на основе анализа результатов прогнозирования методами простого экспоненциального сглаживания, на основе аддитивной модели временных рядов и нейросетевого прогнозирования предлагается построить среднесрочный прогноз кибератак типа UDP-flood с учетом факторов сезонности и длительности по времени, который позволит обеспечить необходимый уровень безопасности web-ресурсов, предотвратить инциденты UDP-flood атак на web-ресурсы.

Целью исследования является повышение уровня защищённости web-ресурсов, за счет своевременного обнаружения аномалий в их работе, обнаружении информационных угроз безопасности на основе методов анализа и прогнозирования.

В результате анализа научной литературы и интернет ресурсов [12 – 17] было выявлено, что сценариев исполнения UDP-flood атак много, но суть атаки заключается в насыщении полосы пропускания UDP-пакетами.

Цели данной атаки заключаются в следующем: сгенерировать такое количество bps (бит в секунду), чтобы исчерпать канал связи атакуемого; сгенерировать такое количество rps (пакетов в секунду), которое оборудование не сможет обработать; нагрузить оборудование атакуемого, отправляя UDP-пакеты на разные порты, тем самым заставляя сервер обрабатывать данные пакеты.

Классификация DDoS – атак

На рис. 1 представлена схема классификации DDoS-атак. Рассмотрим подробнее предложенную классификацию.



Рис. 1. Схема классификации DDoS-атак

Fig. 1. Classification of DDoS attacks

1. Классификация DDoS-атак по протоколам [9, 10]:

- UDP (User Datagram Protocol),
- TCP (Transmission Control Protocol)
- прочие атаки (атаки на протоколы ICMP, GRE, IP, ESP, AH, SCTP, OSPF, SWIPE, TLS, Compaq_PEE и т.д.).

2. Классификация DDoS-атак по механизму воздействия [9, 10, 14]:

- атаки, направленные на переполнение канала связи, к данной категории относятся типы атак flood, которые эксплуатируются путем создания большого количества запросов (например, DNS-амплификация, фрагментированный UDP-flood, ICMP-flood, NTP-амплификация, NTP-flood);

- атаки, воздействующие на сетевой и транспортный уровни модели OSI, подобные атаки фальсифицируют пакеты, которыми «засоряют» ресурсы оборудования, в следствие чего возникает перегрузка ресурсов системы и отсутствие возможности обработки полезного трафика (например, SYN-flood, IP-null атака, атака с поддельными TCP-сессиями, TCP-null атака, атаки с модификациями поля TOS и др.);

3. Классификация DDoS-атак, ориентированных на прикладной уровень модели OSI [9, 10]:

- атаки, воздействующие на прикладной уровень модели OSI, к данной категории относятся типы атак, которые эксплуатируют уязвимости программного обеспечения и приводят к сбою в системе (например, HTTP-flood атака с целью отказа приложения, HTTP-flood атака одиночными запросами, атака фрагментированными HTTP-пакетами, HTTP-flood одиночными сессиями и др.);

Методы защиты от DDoS-атак

1. DDoS-защищенный хостинг

Одним из методов защиты от DDoS-атак является DDoS-защищенный хостинг. Основным недостатком этого метода заключается в том, что он неэффективно отражает DDoS-атаки, использующие недостаток ресурсов и атаки на уровне приложения. Более эффективными в борьбе с такого рода атаками является усиленная идентификация пользователей web-ресурса.

2. Защита от DDoS с помощью IPTables

Суть метода заключается в определении и блокировании атакующих IP-адресов, например, всех адресов с превышением лимита UDP-запросов в секунду. Лимит может варьироваться и быть, при необходимости, изменен. Как правило, все блокируемые IP-адреса добавляются в «черный список», на основании которого строится цепочка правил IPTables.

Однако, данный метод имеет существенный недостаток: в конечном итоге блокирование подозрительных IP-адресов также заблокирует и весь входящий трафик от них, включая клиентов и других легитимных посетителей. Поскольку в настоящее время существует проблема исчерпания адресного пространства IP, тысячи людей могут использовать любой конкретный IP-адрес в текущий момент времени, и среди них могут быть как легитимные пользователи, так и нелегитимные.

3. Защита от DDoS с помощью Интернет-провайдера

Как правило, Интернет-провайдеры обеспечивают защиту только на сетевом уровне, поэтому такую защиту нельзя назвать полноценной.

По данным компании Imperva Incapsula [18], с начала 2015 года до начала 2016 года количество DDoS атак на клиентов сервиса выросло на 94% на прикладном уровне и на 141% на сетевом. Стоит отметить, что любая on-premise система защиты становится бесполезна, когда огромный объем входящего трафика превышает производительность активного оборудования Интернет-провайдера или полностью заполняет полосу пропускания канала связи.

Несомненно, можно запросить увеличение пропускной способности, но часто ресурсы провайдера ограничены, либо это вообще невозможно из-за ограничений, накладываемых физическим каналом связи. Более того, когда один клиент Интернет-провайдера находится под DDoS атакой из-за перегрузки канала и сбоев оборудования могут пострадать и другие клиенты.

4. Защита от DDoS с помощью конфигурирования web-сервера

Метод защиты путем предварительной настройки параметров или плагинов web-сервера. Метод эффективен в борьбе с некоторыми атаками прикладного уровня, но против распределенных атак или атак на сетевом уровне он малоэффективен.

UDP-flood атака: характеристика и реализация

UDP-flood – сетевая атака типа «отказ в обслуживании», в которой используется безсессионный режим протокола UDP. Заключается в отправке большого числа UDP-пакетов на определённые или случайные номера портов удаленного хоста, который для каждого получен-

ного пакета должен определить соответствующее приложение, убедиться в отсутствии его активности и отправить ответное ICMP-сообщение «адресат недоступен».

Механизм UDP-flood атак заключается в следующем. Атакующий хост запускает DDoS-атаку, выполняя команду атаки, имеющую адрес «жертвы», продолжительность атаки, методы атаки и другие параметры для управляющих программ (программы для реализации DDoS-атак), которые служат обработчиками атак.

Управляющие программы передают команду шпионам, которые являются скомпрометированными системами (могут быть «взломанными системами»). Шпионы – это «зомби», используемые для атаки на «жертву». Получив команду атаки от управляющих программ, скомпрометированные системы начинают рассылку UDP-пакетов «жертве» с поддельным IP-адресом в качестве источника. «Жертва» при получении данных пакетов отправляет подтверждение на IP-адрес источника, но не получает никакого ответа и продолжает его ждать. После использования всех ресурсов системы «жертвы» происходит сбой или отключение системы. Шпионов может быть несколько и все они управляемы программами для реализации DDoS-атак, что приводит к отправке большого количества UDP пакетов в систему «жертвы». Система заполняется запросами вследствие использования всей полосы пропускания.

Защита от подобного рода атак осуществляется следующим образом: закрытием неиспользуемых портов; блокированием UDP-трафика на TCP-порты; использованием систем защиты от DDoS атак; настройкой фильтров на оборудовании оператора связи на случай атаки. Для организации атак используются такие программы, как LOIC и UDP Unicorn [19]. Обобщённая схема реализации UDP-flood атаки представлена на рис. 2.

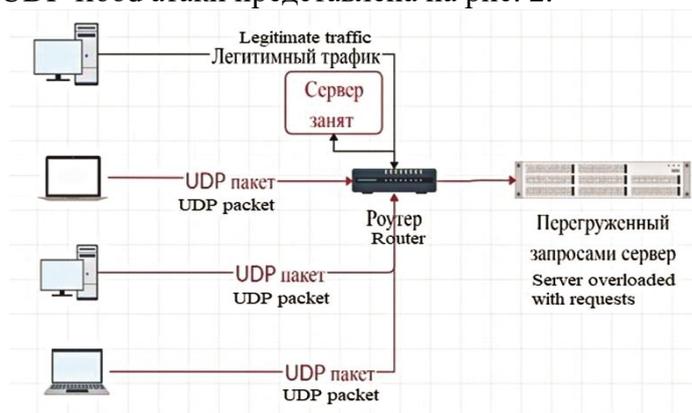


Рис. 2. Схема реализации UDP-flood атак
Fig. 2. Implementing of UDP-flood attacks

В настоящее время существует множество моделей прогнозирования временных рядов: регрессионные и авторегрессионные, нейросетевые, модели экспоненциального сглаживания, модели на базе цепей Маркова, нечеткие и др., условно которые делятся на группы:

- первая группа моделей предполагает зависимость между прогнозными и реальными значениями временного ряда, которая задана аналитически (регрессионные, авто регрессионные модели, а также модели экспоненциального сглаживания);

- вторая группа моделей предполагает зависимость между прогнозными и реальными значениями временного ряда, которая задана структурно (нейронные сети, цепи Маркова, деревья решений и др.) [34].

Достоинствами 1 группы моделей являются: простая, гибкая для пользователя в процессе моделирования, формализованная при анализе и проектировании, обладает широким применением. Недостатками 1 группы моделей являются: наличие трудностей при выявлении зависимостей в анализируемых данных, сложность при анализе и моделировании нелинейных зависимостей, высокая трудоёмкость построения модели, не высокая адаптивность к анализируемым данным, прикладной характер.

Достоинствами 2 группы моделей являются: нелинейность, масштабируемость, адаптивность, четко формализованная при анализе и проектировании, обладает большим количеством

применений, простота при моделировании, позволяют учитывать качественные признаки. Недостатками 2 группы моделей являются: неоднозначность использования алгоритма при построении дерева решений, требуют большого количества ресурсов при обучении, неоднозначность использования алгоритма обучения, высокие требования к качеству данных для обучения, трудности при выборе архитектуры нейронной сети [35, 36].

Анализ показал, что ни одна из указанных групп моделей не обладает существенными достоинствами относительно других моделей. Поэтому для решения задач анализа и прогнозирования выбраны модели 1 и 2 группы – модель экспоненциального сглаживания и нейросетевая модель.

Методы исследования. 1. Корреляционный анализ UDP-flood атак

1.1 Анализ временных рядов UDP-flood атак и DDoS-атак длительностью до 4 часов. Для повышения уровня защищенности web-ресурсов, методами корреляционного анализа спрогнозируем воздействия кибератак типа UDP-flood на web-ресурсы учетом факторов сезонности и длительности по времени, который позволит обеспечить необходимый уровень безопасности web-ресурсов. В качестве объекта исследования был выбран тип атак UDP-flood из семейства DDoS атак. Статистические данные [20–31] о количестве UDP-flood атак и DDoS-атак длительностью до 20 минут представлены в табл. 1.

Таблица 1. Данные о количестве UDP-flood атак и DDoS-атак длительностью до 4 часов
Table 1. The number of UDP-flood attacks and DDoS attacks lasting up to 4 hours

Год Year	Квартал Quarter	UDP-flood атаки, % UDP-flood attacks,%	DDoS-атаки длительностью до 4 часов, % DDOS attacks lasting up to 4 hours,%
2017	I	8,71	82,21
	II	11,91	85,93
	III	10,15	76,09
	IV	15,24	76,76
2018	I	13,2	80,73
	II	10,6	69,49
	III	11,9	86,94
	IV	31,1	83,34
2019	I	8,9	78,66
	II	10,94	82,69
	III	9,4	84,69
	IV	8,73	81,86

Выполним анализ временного ряда DDoS-атак типа UDP-flood [9, 10], где в качестве исходных параметров выберем данные таблицы 1, $n = 12$ – общее число периодов в исследовании. Динамика автокорреляции для временного ряда UDP-flood атак представлена на гистограмме (рис. 3).

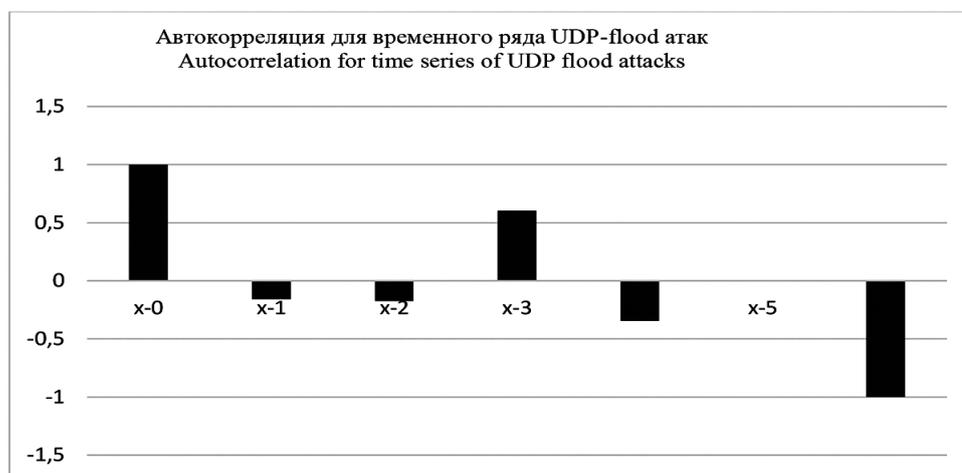


Рис. 3. Динамика автокорреляции для временного ряда UDP-flood атак с учетом лага
Fig. 3. Autocorrelation dynamics for the time series of UDP-flood attacks taking into account the lag

Гистограмма демонстрирует, что тренд отсутствует, корреляция между исходным рядом и сдвинутым на 4 позиций заметная – 0,829, что говорит о сезонности, период которой равен 5 кварталам. Данные расчетов по определению индекса сезонности (I_n) для DDoS-атак типа UDP представлен в табл. 2.

Таблица 2. Индексы сезонности для UDP-flood атак
Table 2. Seasonal indices for UDP-flood attacks

Год наблюдений Year Квартал Quarter	2017	2018	2019	I_n
I	8,71	13,2	8,90	0,922
II	11,91	10,6	10,94	1,056
III	10,15	11,90	9,40	0,96
IV	15,24	31,10	8,73	1,062

На основе работ [9, 10] проанализируем временной ряд DDoS-атак длительностью до 4 часов, результаты автокорреляции приведены в таблице 3.

Таблица 3. Автокорреляция для временного ряда DDoS-атак длительностью до 4 часов
Table 3. Autocorrelation for a time series of DDoS attacks lasting up to 4 hours

Лag Lag	Автокорреляция Autocorrelation
x-0	1
x-1	-0,158
x-2	-0,1736
x-3	0,6019
x-4	-0,3448
x-5	-0,00287
x-6	-1

1.2. Прогнозирование UDP-flood атак по методу простого экспоненциального сглаживания. Определив оптимальный коэффициент сглаживания α , значения коэффициента α разобьем в сетку с шагом 0,1 и проведем расчет средней абсолютной ошибки (M) между сглаженными прогнозными значениями (S_t) и реальными наблюдениями (Y_{t+1}) при $\alpha = 0,1, 0,9$, при этом выбрав значение коэффициента, при котором ошибка минимальная. Результаты расчета ошибок представлены в табл. 4, 5.

Таблица 4. Расчет ошибок при коэффициенте сглаживания $\alpha = 0,1$
Table 4. Calculation of errors with a smoothing coefficient $\alpha = 0,1$

Период, t Period, t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Количество атак, %, Y_{t+1} Number of attacks, %, Y_{t+1}	8,71	11,71	10,15	15,24	13,2	10,6	11,90	31,10	8,9	10,94	9,4	8,73
Прогноз, %, S_t Forecast, %, S_t	8,71	9,01	9,12	9,73	10,08	10,13	10,31	12,38	12,04	11,93	11,67	11,82
$ Y_{t+1} - S_t $	0	2,7	1,03	6	3,12	0,47	1,59	18,72	3,14	0,99	2,27	3,09
$ Y_{t+1} - S_t / Y_{t+1}$	0	0,23	0,1	0,39	0,23	0,04	0,13	0,6	0,35	0,09	0,24	0,35

Таблица 5. Динамика средней абсолютной ошибки (М) при выборе разных значений коэффициента сглаживания α

Table 5. Dynamics of the average absolute error (M) with different values of the smoothing coefficient α

Значение α Value α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
М (%)	9,23	1,27	2,89	4,78	5,28	4,94	4,07	2,88	1,5

Результаты расчетов показали, что наименьшая ошибка получается при $\alpha = 0,2$, таким образом, данное значение коэффициента позволит прогнозировать эффективнее по сравнению с другими значениями диапазона $[0,1;0,9]$ с шагом 0.1.

На основе результатов работ [9, 10] рассчитаны сглаженные значения количества DDoS-атак на I, II, III, IV кварталы 2020 года и I квартал 2021 года, при $\alpha = 0,2$.

$$S_{13} = \alpha Y_{13} + (1 - \alpha)S_{12} \approx 0,2 * 8,9 + 0,8 * 12,2241 \approx 11,5593 \text{ (2020 год, I квартал)} \quad (1)$$

$$S_{14} = \alpha Y_{14} + (1 - \alpha)S_{13} \approx 0,2 * 12,06 + 0,8 * 11,5593 \approx 11,6593 \text{ (2020 год, II квартал)} \quad (2)$$

$$S_{15} = \alpha Y_{15} + (1 - \alpha)S_{14} \approx 0,2 * 13,76 + 0,8 * 11,6593 \approx 12,0794 \text{ (2020 год, III квартал)} \quad (3)$$

$$S_{16} = \alpha Y_{16} + (1 - \alpha)S_{15} \approx 0,2 * 15,2 + 0,8 * 12,0794 \approx 12,7035 \text{ (2020 год, IV квартал)} \quad (4)$$

$$S_{17} = \alpha Y_{17} + (1 - \alpha)S_{16} \approx 0,2 * 7,3 + 0,8 * 12,7035 \approx 11,6228 \text{ (2021 год, I квартал)} \quad (5)$$

2. Нейросетевое прогнозирование временных рядов на основе аналитической платформы Deductor. В настоящее время используются различные пакеты прикладных программ, позволяющие анализировать временные ряды (например, MS Excel, Matlab, Statistica, Deductor и др.). Для решения задачи анализа и прогнозирования в работе выбран пакет Deductor Studio Academic, так как обладает широким набором функционала для конкретной задачи (анализ данных, прогнозирование, поиск закономерностей, формирование аналитической отчетности). Для анализа временных рядов и построения прогноза были выбраны квартальные статистические данные о количестве UDP-flood атак длительностью до 4 часов за период 2017 - 2019 гг. Исходные данные были импортированы в Deductor Studio Academic (рис. 4).

Количество атак, %	Квартал
8,71	1 (2017)
11,91	2 (2017)
10,15	3 (2017)
15,24	4 (2017)
13,2	1 (2018)
10,6	2 (2018)
11,9	3 (2018)
31,1	4 (2018)
8,9	1 (2019)
10,94	2 (2019)
9,4	3 (2019)
8,73	4 (2019)

Рис. 4. Импортированные в Deductor Studio Academic статистические данные о количестве UDP-flood атак за 2017-2019 гг.

Fig. 4. Statistics on the number of UDP-flood attacks for 2017-2019 imported into the Deductor Studio Academic

Следующим этапом было устранение содержащихся в данных аномальных отклонений и шумов путем применения спектрального Фурье-преобразования [32].

Далее следовал этап трансформации, на котором решалась задача представления данных в таком виде, чтобы они могли быть обработаны наиболее эффективно. На данном этапе использовался метод скользящего окна [33], трансформированные данные представлены на (рис.5).

	Количество атак, %-4	Количество атак, %-3	Количество атак, %-2	Количество атак, %-1	Количество атак, %	Квартал
▶	8,71	11,91	10,15	15,24	13,2	1 (2018)
	11,91	10,15	15,24	13,2	10,6	2 (2018)
	10,15	15,24	13,2	10,6	11,9	3 (2018)
	15,24	13,2	10,6	11,9	31,1	4 (2018)
	13,2	10,6	11,9	31,1	8,9	1 (2019)
	10,6	11,9	31,1	8,9	10,94	2 (2019)
	11,9	31,1	8,9	10,94	9,4	3 (2019)
	31,1	8,9	10,94	9,4	8,73	4 (2019)

Рис.5. Трансформированные данные по методу скользящего окна
Fig. 5. Transformed data using the sliding window method

Процесс создания нейронной сети в пакете Deductor Studio Academic:

1. Вызов меню «Мастера обработки» и выбор метода «Нейросеть»;
2. В мастере «Нейросеть» выбор входных и выходных переменных и указание типов данных;
3. Разбиение исходного множества данных: обучающее и тестовое;
4. Структуризация нейронной сети: указание количества слоев, числа нейронов в скрытых слоях и крутизны функции активации;
5. Настройка параметров обучения нейронной сети: выбор алгоритмов обучения и параметры;
6. Обучение нейронной сети с заданными параметрами.

Визуализация проекта в Deductor Studio Academic для построения нейросетевых моделей представлена на рис. 6.

После преобразования данных по методу скользящего окна, экспериментальным путем выбраны следующие параметры трансформации: глубина погружения – 4, горизонт прогнозирования – 5. Глубина погружения – количество кварталов в прошлом, горизонт прогнозирования в данном случае представляет количество кварталов для прогнозирования. В результате трансформации данных получены обучающие нейросетевые модели. Для оценки построенных моделей представим данные в виде диаграммы рассеяния, которая более наглядно отображает качество обучения нейронной сети.

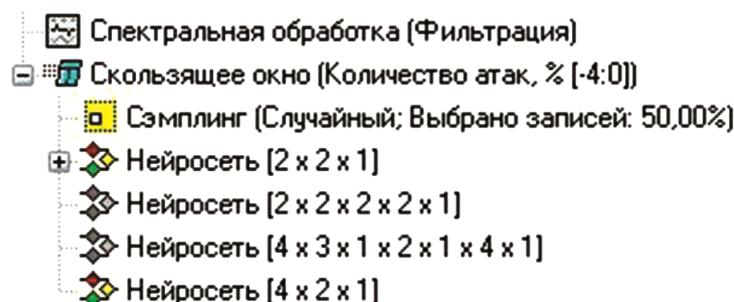


Рис.6. Визуализация проекта в Deductor Studio для построения нейросетевых моделей
Fig. 6. Visualization of the project in Deductor Studio for building neural network models

Она отображает отклонение прогнозной величины от истинного значения: большое отклонение говорит о необходимости увеличения обучающей выборки, точное совпадение прогнозных значений с эталонными, говорит о переобучении модели, т.е. модель использовала все примеры при обучении. Пример диаграммы рассеяния для оценки аппроксимирующей способности построенной нейросетевой модели представлен на (рис.7).

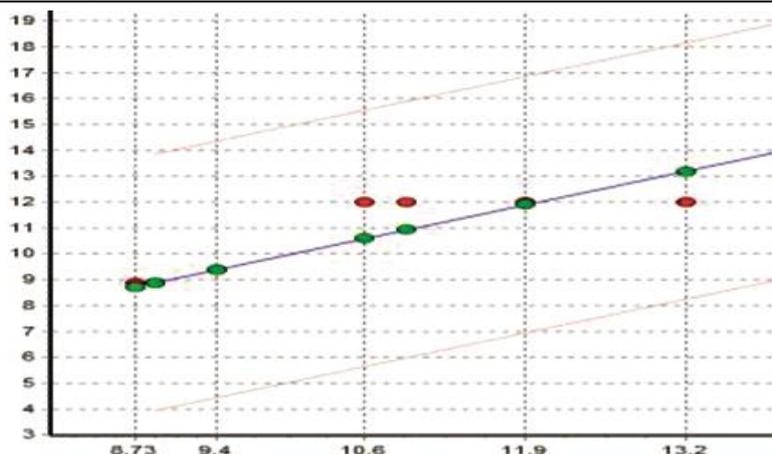


Рис.7. Диаграмма рассеяния для оценки аппроксимирующей способности построенной нейросетевой модели

Fig. 7. Scatter chart for evaluation approximating ability of the constructed neural network model

Анализ показал, что модель хорошо аппроксимирует тестовые данные. Приведенным способом проведена оценка аппроксимирующей способности всех построенных нейросетевых моделей на одних и тех же тестовых данных. Среди всех моделей наибольшая точность наблюдалась у модели с 2 нейронами в скрытом слое. В связи с этим имеется возможность эффективного практического использования данной модели для анализа и прогнозирования временного ряда.

Обсуждение результатов. Используя методы корреляционного анализа рассчитаны индекс сезонности UDP-flood атак, автокорреляцию временных рядов атак этого типа. Используя простой метод экспоненциального сглаживания построен прогноз UDP-flood атак. Результаты исследования показали, что UDP-flood атакам свойственна сезонность, количество UDP-flood атак составит 11,66%, 12,08%, 12,7% на II, III, IV кварталы 2020 года и 11,62% на I квартал 2021 года соответственно.

Рассчитанные прогнозные значения DP-flood атак на 2020 – начало 2021 года представлены на рис. 8.

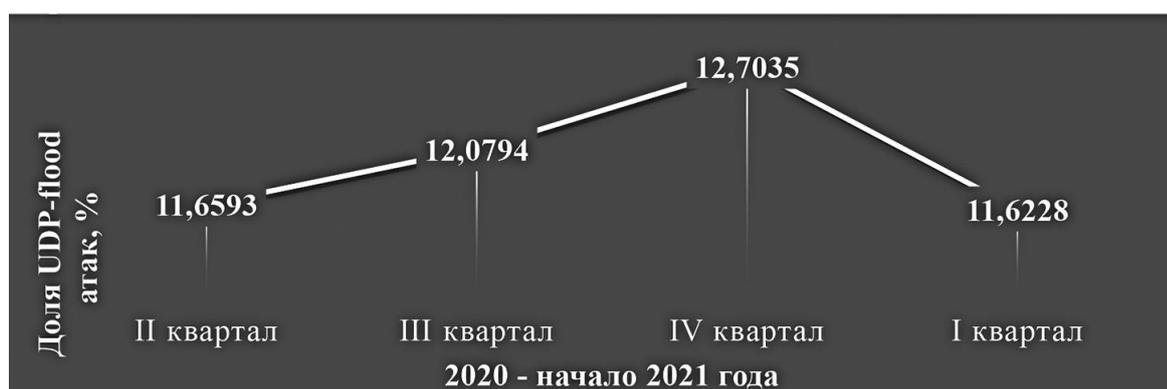


Рис. 8. Прогноз величины UDP-flood атак в 2020 – начале 2021 года

Fig. 8. The forecast of UDP-flood attacks in 2020 - early 2021

На базе аналитической платформы Deductor Studio построен прогноз на основе модели с 2 нейронами в скрытом слое (рис.9).

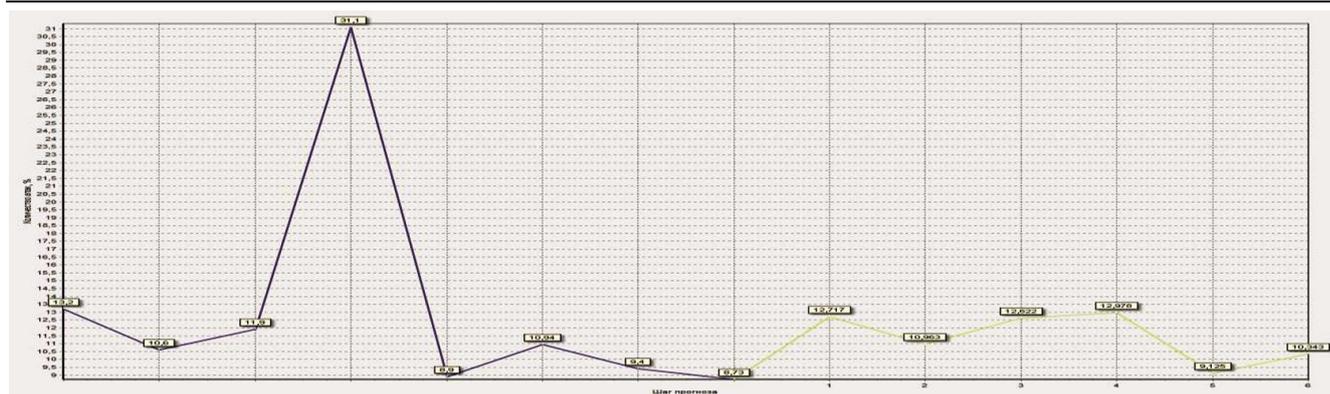


Рис. 9. Прогноз на основе модели с 2 нейронами в скрытом слое
Fig. 9. Prediction based on a model with 2 neurons in a hidden layer

Далее, сравним рассчитанные прогнозные значения, представленные в табл. 6.

Таблица 6. Сравнение прогнозных значений рассмотренных методов
Table 6. Comparison of the predicted values of the considered methods

Прогнозные значения UDP-фlood атак Predicted UDP flood attacks		
Квартал / год Quarter / year	Метод корреляционного анализа временных рядов Time series correlation analysis method	Метод нейросети Neural network method
II / 2020	11,659	10,963
III / 2020	12,079	12,622
IV / 2020	12,704	12,978
I / 2021	11,623	9,125

Сравнительная характеристика рассчитанных прогнозных значений методами корреляционного анализа и нейронных сетей представлена на графике (рис. 10).



Рис. 10. График сравнения прогнозных значений, полученных методом экспоненциального сглаживания и нейросетевым методом

Fig. 10. Graph for comparing the predicted values obtained by the exponential smoothing method and the neural network method

Анализ показал, что полученные прогнозные значения методом экспоненциального сглаживания и нейросетевым методом существенно не отличаются. В среднем отклонение значений не превышает 1%, следовательно, можно считать оба метода эффективными для анализа и прогнозирования UDP-flood атак, однако для долгосрочного и более точного прогноза необходим большой объем исходной выборки.

В среднем, количество UDP-flood атак составит 11%, 12%, 13% на II, III, IV кварталы 2020 года и 10 на I квартал 2021 года соответственно.

Вывод. В работе предложена классификация DDoS-атак, описаны способы защиты. Представлен сравнительный анализ моделей прогнозирования, выявлены преимущества и недостатки. Корреляционный анализ UDP-flood атак позволил выявить фактор – сезонность. Для DDoS-атак длительностью до 20 минут выявлена сезонность в I квартале календарного года, а значит, в I квартале 2021 года следует ожидать наибольшее количество атак данной длительности. Построен прогноз на основе модели простого экспоненциального сглаживания и нейросетевой модели. Наибольшее количество UDP-flood атак следует ожидать в IV квартала 2020 года.

В среднем отклонение значений прогнозов, на основе данных моделей, не превышает 1%, следовательно, можно считать оба метода эффективными для анализа и прогнозирования UDP-flood атак, однако для долгосрочного и более точного прогноза необходим большой объем исходной выборки. В среднем, количество UDP-flood атак составит 11%, 12%, 13% на II, III, IV кварталы 2020 года и 10% на I квартал 2021 года соответственно.

Стоит отметить, что в работе имеются ограничения - недостаточно длительный период исследования и трудность получения статистических данных в связи с тем, что IT-компании неохотно раскрывают сведения о реализации на информационные ресурсы различного рода атак. Результаты работы могут быть использованы как самостоятельно при анализе атак, так и для формирования адаптивной системы защиты информации web-ресурсов, для построения системы обеспечения информационной безопасности.

Библиографический список:

1. Харитонов В. С., Черяпкин Д. П. DDoS-атака: классификация и особенности // Постулат, 2016. № 12 (14). С. 45.
2. Фролов С. Г., Демин А. Ю. Типы DDoS-атак, методы профилактики и защиты от них // III Международная научная конференция «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». Издательство: Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), 2016. С. 76–78.
3. Cabrera J., Lewis L., Qin X., Lee W., Mehra R. Proactive intrusion detection and distributed denial of service attacks-a case study in security management // Journal of network and systems management. 2002. vol. 2. P. 225–254.
4. Raza M. A., Khan A., Raza M. A restrictive model (RM) for detection and prevention of INVITE flooding attack // 3rd IEEE International Conference on Computer, Control and Communication (IC4). September 2013, Pakistan, DOI: 10.1109/IC4.2013.6653766.
5. K. S. Sahoo, Iqbal A., Maiti P., Sahoo B. A Machine Learning Approach for Predicting DDoS Traffic in Software Defined Networks // 2018 International Conference on Information Technology (ICIT). December 2018, India, DOI: 10.1109/ICIT.2018.00049.
6. Фаткиева Р.Р. Разработка метрик для обнаружения атак на основе анализа сетевого трафика // Вестник Бурятского государственного университета, 2013. № 9. С. 81–86.
7. Лаптев В.Н., Сидельников О.В., Шарай В.А. Применение метода индуктивного прогнозирования состояний для обнаружения компьютерных атак в информационно-телекоммуникационных системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2011. № 72. С. 76–85.
8. Мухаматханов Р.М., Михайлов А.А., Баянов Б.И., Тумбинская М.В. Классификация DDOS-атак на основе нейросетевой модели // Прикладная информатика, 2019. Т. 14. № 1 (79). С. 96–103.
9. Бармина С.С., Тажибоева Ф.М., Тумбинская М.В. Корреляционный анализ и прогнозирование SYN-флуд атак // Прикладная информатика, 2018. Т. 13. № 4 (76). С. 93–102.
10. Тумбинская М.В. Анализ и прогнозирование сетевых атак типа SYN-flood на web-ресурсы // Информатизация образования и науки, 2018. № 4 (40). С. 61–68.
11. Тумбинская М.В., Баянов Б.И., Рахимов Р.Ж., Кормильцев Н.В., Уваров А.Д. Анализ и прогнозирование вредоносного сетевого трафика в облачных сервисах // Бизнес-информатика, 2019. Т. 13. № 1. С. 71-81.
12. Бизнес без опасности. [Электронный ресурс]. – URL: <https://lukatsky.blogspot.com/> (дата обращения 06.11.2019).
13. Xu Z., Li X. Protecting hosts against attacks in IMAGO system Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004 (IEEE Cat. No.04CH37513), May 2004, Canada, DOI: 10.1109/CCCE.2004.1345030.
14. Краснов К. Ф., Коринов И.П., Хороший А.А., Бельнская М. Н. Анализ атак типа «Отказ в обслуживании» при использовании протоколов ICMP, UDP, TCP // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, 2018. №2 (65). С. 116–118.
15. Netwild. UDP-flood атаки. [Электронный ресурс]. – URL:<http://netwild.ru/udp-flood/> (дата обращения: 17.09.2019).
16. Ежегодный отчет Cisco по кибербезопасности за 2018 г. [Электронный ресурс]. – URL:https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2018/03-12.html (дата обращения 05.11.2019).
17. Glushenko S.A. An adaptive neuro-fuzzy inference system for assessment of risks to an organization's information security // Business Informatics, 2017. No. 1 (39). pp. 68–77.

18. Imperva раскрыла технические подробности взлома Cloud WAF [Электронный ресурс]. – URL:<https://habr.com/ru/company/itsumma/blog/472708/> (дата обращения: 26.11.2019).
19. Защита от DDoS. Обзор методов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://prothesecurity.ru/novosti/zaschita-ot-ddos/> (дата обращения: 17.09.2019)
20. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в первом квартале 2017 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q1-2017/30631/> (дата обращения: 26.03.2019).
21. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки во втором квартале 2017 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (дата обращения: 26.03.2019).
22. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в третьем квартале 2017 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (дата обращения: 26.03.2019).
23. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в четвертом квартале 2017 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q4-2017/88505/> (дата обращения: 26.03.2019).
24. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в первом квартале 2018 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q1-2018/89700/> (дата обращения: 26.03.2019).
25. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки во втором квартале 2018 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (дата обращения: 26.03.2019).
26. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в третьем квартале 2018 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (дата обращения: 26.03.2019).
27. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в четвертом квартале 2018 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (дата обращения: 26.03.2019).
28. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в первом квартале 2019 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-q1-2019/93890/> (дата обращения: 19.10.2019).
29. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки во втором квартале 2019 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-q2-2019/94452/> (дата обращения: 04.11.2019).
30. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в третьем квартале 2019 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-q3-2019/94981/> (дата обращения: 05.11.2019).
31. Лаборатория Касперского. DDoS-атаки в четвертом квартале 2019 года. [Электронный ресурс]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-q4-2019/95568/> (дата обращения: 14.02.2020).
32. Муцалова С.Ш., Магомедбеков У.Г., Убаева Р.Ш. Фурье – преобразование временного ряда при жидкофазном окислении 1,4нафтодиола // Качество науки - качество жизни, 2010. №2. С. 66–67.
33. Клячек П.М., Полупан К.Л., Либерман И.В. Цифровизация экономики на основе системно-целевой технологии управления знаниями // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки, 2019. Т. 12. №3. С. 9–19.
34. Панченко А.Д. Обзор методов и моделей прогнозирования развития социально-экономических систем // В сборнике: Бизнес-инжиниринг сложных систем: модели, технологии, инновации сборник материалов IV международной научно-практической конференции, 2019. С. 86–89.
35. Селиверстова А.В. Сравнительный анализ моделей и методов прогнозирования // Современные научные исследования и инновации, 2016. №11(67). С. 241–248.
36. Катасёва Д.В., Катасев А.С., Кирпичников А.П., Абьянов Б.Э. Нейронечеткая модель анализа и прогнозирования временных рядов // Вестник технологического университета, 2016. Т. 19. №13. С. 127-131.

References:

1. Kharitonov V. S., Cheryapkin D. P. DDoS-ataka: klassifikatsiya i osobennosti // Postulat, 2016. № 12 (14). S. 45. [Kharitonov V.S., Cheryapkin D.P. DDoS attack: classification and features. Postulat. 2016. No. 12 (14), p. 45. (In Russ.)]
2. Frolov S. G., Demin A. YU. Tipy DDoS-atak, metody profilaktiki i zashchity ot nikh // III Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Informatsionnyye tekhnologii v nauke, upravlenii, sotsial'noy sfere i meditsine». Izdatel'stvo: Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy politekhnicheskii universitet (Tomsk), 2016. S. 76-78. [Frolov S.G., Demin A.Yu. Types of DDoS-attacks, methods of prevention and protection from them. Proc. 3rd Sci. Conf. "Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine", Tomsk. 2016. pp. 76–78. (In Russ.)]
3. Cabrera J., Lewis L., Qin X., Lee W., Mehra R. Proactive intrusion detection and distributed denial of service attacks-a case study in security management. Journal of network and systems management. 2002. no. 2, pp. 225–254.
4. Raza M. A., Khan A., Raza M. A restrictive model (RM) for detection and prevention of INVITE flooding attack. Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Computer, Control and Communication (IC4). Pakistan, September 2013. DOI: 10.1109/IC4.2013.6653766.
5. K. S. Sahoo, Iqbal A., Maiti P., Sahoo B. A Machine Learning Approach for Predicting DDoS Traffic in Software Defined Networks. Proceedings of the International Conference on Information Technology (ICIT). India, December 2018. DOI: 10.1109/ICIT.2018.00049.
6. Fatkiyeva R.R. Razrabotka metrik dlya obnaruzheniya atak na osnove analiza setevogo trafika // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013. № 9. S. 81–86. [Fatkieva R.R. Development of metrics for detecting attacks based on network traffic analysis. Bulletin of the Buryat State University. 2013. no 9, pp. 81–86 (In Russ.)]
7. Laptev V.N., Sidel'nikov O.V., Sharay V.A. Primeneniye metoda induktivnogo prognozirovaniya sostoyaniy dlya obnaruzheniya komp'yuternykh atak v informatsionno-telekommunikatsionnykh sistemakh // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2011. № 72. S. 76–85. [Laptev V.N., Sidelnikov O.V., Sharay V.A. The use of the method of inductive state prediction for the detection of computer attacks in

- information and telecommunication systems. Political Mathematical Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2011. No 72, pp. 76–85 (In Russ.)
8. Mukhamatkhanov R.M., Mikhaylov A.A., Bayanov B.I., Tumbinskaya M.V. Klassifikatsiya DDOS-atak na osnove neyrosetvoy modeli // Prikladnaya informatika, 2019. T. 14. № 1 (79). S. 96–103. [Mukhamathanov R.M., Mikhailov A.A., Bayanov B.I., Tumbinskaya M.V. Classification of DDOS attacks based on a neural network model. Applied Informatics. 2019. Vol. 14, No 1(79), pp. 96–103 (In Russ.)]
 9. Barmina S.S., Tadzhibayeva F.M., Tumbinskaya M.V. Korrelyatsionnyy analiz i prognozirovaniye SYN-flud atak // Prikladnaya informatika, 2018. T. 13. № 4 (76). S. 93–102. [Barmina S.S., Tadjibaeva F.M., Tumbinskaya M.V. Correlation analysis and forecasting of SYN flood attacks. Applied Informatics. 2018. Vol. 1, No 4(76), pp. 93–102 (In Russ.)]
 10. Tumbinskaya M.V. Analiz i prognozirovaniye setevykh atak tipa SYN-flood na web-resursy // Informatizatsiya obrazovaniya i nauki, 2018. № 4 (40). S. 61–68. [Tumbinskaya M.V. Analysis and forecasting of network attacks like SYN-flood on web-resources. Informatization of Education and Science. 2018. No. 4(40), pp. 61–68 (In Russ.)]
 11. Tumbinskaya M.V., Bayanov B.I., Rakhimov R.Zh., Kormil'tsev N.V., Uvarov A.D. Analiz i prognozirovaniye vredonosnogo setevogo trafika v oblachnykh servisakh // Biznes-informatika, 2019. T. 13. № 1. S. 71–81. [Tumbinskaya M.V., Bayanov B.I., Rakhimov R.Zh., Kormiltsev N.V., Uvarov A.D. Analysis and forecasting of malicious network traffic in cloud services. Business Informatics. 2019. vol. 13, no 1, pp. 71–81 (In Russ.)]
 12. Biznes bez opasnosti. [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://lukatsky.blogspot.com/> (data obrashcheniya 06.11.2019). [Business without danger. [Electronic resource]. – URL: <https://lukatsky.blogspot.com/> (accessed: 06.11.2019) (In Russ.)]
 13. Xu Z., Li X. Protecting hosts against attacks in IMAGO system. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Canada, May 2004, DOI: 10.1109/CCECE.2004.1345030.
 14. Krasnov K. F., Korinov I.P., Khoroshiy A.A., Belen'kaya M. N. Analiz atak tipa «Otkaz v obsluzhivanii» pri ispol'zovanii protokolov ICMP, UDP, TCP // Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazi i informatiki, 2018. №2 (65). S. 116–118. [Krasnov K. F., Korinov I. P., Khoroshiy A. A., Belenkaya M. N. Analysis of denial of service attacks using ICMP, UDP, TCP protocols. Transactions of the North Caucasian branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics. 2018. no 2(65), pp. 116–118 (in Russ.)]
 15. Netwild. UDP-flood attack. [Elektronnyy resurs]. – URL : <http://netwild.ru/udp-flood/> (accessed: 17.09.2019)
 16. Cisco Annual Cybersecurity Report 2018. [Elektronnyy resurs]. – URL: https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2018/03-12.html (accessed: 05.11.2019).
 17. Glushenko S.A. An adaptive neuro-fuzzy inference system for assessment of risks to an organization's information security // Business Informatics, 2017. No. 1 (39). pp. 68–77. [Glushenko S.A. An adaptive neuro-fuzzy inference system for assessment of risks to an organization's information security. Business Informatics. 2017. no 1(39), pp. 68–77. (In Russ.)]
 18. Imperva raskryla tekhnicheskiye podrobnosti vzloma Cloud WAF [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://habr.com/ru/company/itsumma/blog/472708/> (data obrashcheniya: 26.11.2019). [Imperva revealed the technical details of hacking Cloud WAF. [Electronic resource]. – URL: <https://habr.com/ru/company/itsumma/blog/472708/> (accessed: 26.11.2019) (In Russ.)]
 19. Zashchita ot DDoS. Obzor metodov. [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://protosecurity.ru/novosti/zaschita-ot-ddos/> (data obrashcheniya: 17.09.2019) [DDoS protection. Method Overview. [Electronic resource]. – URL: <https://protosecurity.ru/novosti/zaschita-ot-ddos/> (accessed: 17.09.2019) (in Russ.)]
 20. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v pervom kvartale 2017 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q1-2017/30631/> (data obrashcheniya: 26.03.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the first quarter of 2017. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q1-2017/30631/> (accessed 26.03.2019) (in Russ.)]
 21. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki vo vtorom kvartale 2017 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (data obrashcheniya: 26.03.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the second quarter of 2017. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (accessed 26.03.2019) (in Russ.)]
 22. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v tret'yem kvartale 2017 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (data obrashcheniya: 26.03.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the third quarter of 2017. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (accessed 26.03.2019) (in Russ.)]
 23. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v chetvertom kvartale 2017 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q4-2017/88505/> (data obrashcheniya: 26.03.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the fourth quarter of 2017. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-attacks-in-q4-2017/88505/> (accessed 26.03.2019) (in Russ.)]
 24. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v pervom kvartale 2018 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q1-2018/89700/> (data obrashcheniya: 26.03.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the first quarter of 2018. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q1-2018/89700/> (accessed 26.03.2019) (in Russ.)]
 25. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki vo vtorom kvartale 2018 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (data obrashcheniya: 26.03.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the second quarter of 2018. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q2-2018/90436/> (accessed 26.03.2019) (in Russ.)]
 26. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v tret'yem kvartale 2018 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (data obrashcheniya: 26.03.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the third quarter of 2018. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q3-2018/92512/> (accessed 26.03.2019) (in Russ.)]
 27. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v chetvertom kvartale 2018 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-in-q4-2018/93384/> (data obrashcheniya: 26.03.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the fourth quarter of 2018. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-in-q4-2018/93384/> (accessed 26.03.2019) (in Russ.)]

28. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v pervom kvartale 2019 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-q1-2019/93890/> (data obrashcheniya: 19.10.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the first quarter of 2019. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q1-2019/93890/> (accessed 19.10.2019) (in Russ.)]
29. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki vo vtorom kvartale 2019 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-q2-2019/94452/> (data obrashcheniya: 04.11.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the second quarter of 2019. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q2-2019/94452/> (accessed 04.11.2019) (in Russ.)]
30. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v tret'yem kvartale 2019 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-q3-2019/94981/> (data obrashcheniya: 05.11.2019). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the third quarter of 2019. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q3-2019/94981/> (accessed 05.11.2019) (in Russ.)]
31. Laboratoriya Kasperskogo. DDoS-ataki v chetvertom kvartale 2019 goda. [Elektronnyy resurs]. – URL:<https://securelist.ru/ddos-report-q4-2019/95568/> (data obrashcheniya: 14.02.2020). [Kaspersky Lab. DDoS-attacks in the fourth quarter of 2019. [Electronic resource]. – URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q4-2019/95568/> (accessed 14.02.2020) (in Russ.)]
32. Mutsalova S.SH., Magomedbekov U.G., Ubayeva R.SH. Fur'ye – preobrazovaniye vremennogo ryada pri zhidkofaznom okislenii 1,4naftodiola // Kachestvo nauki - kachestvo zhizni, 2010. №2. S. 66–67. [Mutsalova S.SH., Magomedbekov U.G., Ubayeva R.Sh. Fourier - time series conversion during liquid phase oxidation of 1,4 naphthodiol. The quality of science is the quality of Life. 2010. No 2, pp. 66–67 (in Russ.)]
33. Klachek P.M., Polupan K.L., Liberman I.V. Tsifrovizatsiya ekonomiki na osnove sistemno-tselevoy tekhnologii upravleniya znaniyami // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskkiye nauki, 2019. T. 12. №3. S. 9–19. [Klachek P.M., Polupan K.L., Liberman I.V. Digitalizaion of economy based on systemic target technology of knowledge management. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. 2019. vol. 12, No. 3, pp. 9-19 (in Russ.)]
34. Panchenko A.D. Obzor metodov i modeley prognozirovaniya razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem // V sbornike: Biznes-inzhiniring slozhnykh sistem: modeli, tekhnologii, innovatsii sbornik materialov IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 2019. S. 86–89. [Panchenko A.D. Review of methods and models for forecasting the development of socio-economic systems. In the collection: Business engineering of complex systems: models, technologies, innovations, collection of materials of the IV international scientific and practical conference. 2019. pp. 86–89 (in Russ.)]
35. Seliverstova A.V. Sravnitel'nyy analiz modeley i metodov prognozirovaniya // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii, 2016. №11(67). S. 241–248. [Seliverstova A.V. Comparative analysis of models and forecasting methods. Modern scientific research and innovation. 2016. vol. 11, no 67, pp.241–248 (in Russ.)]
36. Katasova D.V., Katasev A.S., Kirpichnikov A.P., Abyanov B.E. Neyronechetkaya model' analiza i prognozirovaniya vremennykh ryadov // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta, 2016. T. 19. №13. S. 127-131. [Katasova D.V., Katasev A.S., Kirpichnikov A.P., Abyanov B.E. Neuro-fuzzy model of analysis and forecasting of time series. Bulletin of the Technological University. 2016. Vol. 19, No 13. pp. 127-131 (in Russ.)]

Сведения об авторах:

Тумбинская Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, кафедра систем информационно-безопасности; e-mail: tumbinskaya@inbox.ru

Волков Василий Витальевич, студент, кафедра систем информационной безопасности; e-mail: waskis298@gmail.com

Загидуллин Булат Гаптельнурович, студент, кафедра систем информационной безопасности; e-mail: zagidullinbg@gmail.com

Information about the authors:

Marina V. Tumbinskaya, Cand. Sci. (Technical.), Assoc. Prof., Department of Information Protection Systems; e-mail: tumbinskaya@inbox.ru

Vasily V. Volkov, Student, Department of Information Protection Systems; e-mail: waskis298@gmail.com

Bulat G. Zagidullin, Student, Department of Information Protection Systems; e-mail: zagidullinbg@gmail.com

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.05.2020.

Принята в печать 22.06.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 19.05.2020.

Accepted for publication 22. 06.2020.

Для цитирования: А.Д. Абакаров, Р.Г. Гасанов. Расчет надежности рамных систем при сейсмическом воздействии с оценкой живучести в процессе образования пластических шарниров в узлах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (2):123-130. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-123-130

For citation: A.D. Abakarov, R. G. Gasanov. Calculation of the reliability of frame systems under seismic impact and survivability assessment during the formation of plastic hinges in the nodes. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(2):123-130. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-123-130

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 699.841

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-123-130

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РАМНЫХ СИСТЕМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ С ОЦЕНКОЙ ЖИВУЧЕСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ШАРНИРОВ В УЗЛАХ

А.Д. Абакаров, Р.Г. Гасанов

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

Резюме: *Цель.* Целью исследования является разработка математических моделей оценки надежности двухэтажных рамных систем при сейсмическом воздействии с охватом всех возможных путей перехода в состояние механизма из-за образования пластических шарниров в узлах рам. **Метод.** Исследование основано на применении теории марковских случайных процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями для описания процессов перехода системы в разные состояния, в том числе и отказовые, в процессе образования пластических шарниров в узлах рам. **Результат.** Описаны возможные схемы образования пластических шарниров в двух типах статически неопределимых рам при горизонтальном сейсмическом воздействии: в раме 2-х этажного промышленного здания с большепролетным верхним этажом и с опиранием фермы покрытия на оголовки колонн и двухэтажной двухпролетной рамы простой регулярной структуры с жесткими узлами. Отмечены возможные состояния и составлены графы переходов, характерные для рассматриваемых рам при жестких дисках перекрытий в процессе сейсмического воздействия, представленного в виде стационарного случайного процесса. Представив переходы систем в рассматриваемые состояния, вызванные образованием пластических шарниров в той или иной последовательности при сейсмическом воздействии в виде марковского случайного процесса с непрерывным временем и дискретными состояниями, получены системы дифференциальных уравнений первого порядка, описывающие данные переходы. Решив их путем применения преобразования Лапласа, получены аналитические выражения для оценки вероятностей нахождения рамных систем в рассматриваемых состояниях и выражения для оценки вероятностей безотказности этих систем. **Вывод.** Построив графы переходов, охватывающие все возможные состояния рамных систем в процессе образования пластических шарниров в узлах при сейсмическом воздействии и описав процесс переходов рам из одних состояний в другие марковским случайным процессом с непрерывным временем и дискретными состояниями, можно получить аналитические выражения для оценки вероятностей состояний этих систем, а также их надежности и живучести при сейсмическом воздействии.

Ключевые слова: *рамная система, сейсмическое воздействие, пластический шарнир, граф переходов, марковский случайный процесс, дифференциальные уравнения, вероятности состояний, живучесть, надежность*

CALCULATION OF THE RELIABILITY OF FRAME SYSTEMS UNDER SEISMIC IMPACT AND SURVIVABILITY ASSESSMENT DURING THE FORMATION OF PLASTIC HINGES IN THE NODES

A.D. Abakarov, R.G. Gasanov

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

Abstract: Aim. The research aims to develop mathematical models for evaluating the reliability of two-story frame systems under the seismic impact, covering all possible ways of transition to the mechanism state due to the formation of plastic hinges in the frame nodes. **Methods.** The study is based on the application of the theory of Markov random processes in continuous time and their discrete states to describe the transition of a system into a different state. Such states include faults resulting from the formation of plastic hinges in the frame nodes. **Results.** Possible schemes of forming plastic hinges in two types of statically indeterminate frames under horizontal seismic impact are described: in the frame of a 2-story industrial building with a large-span upper floor and with the support of the roof truss on the heads of columns and a two-story two-span frame of a simple regular structure with rigid nodes. Possible states are noted and transition graphs are compiled, which are typical for the frames under consideration in the case of rigid disks of floor slabs during seismic impact, represented as a stationary random process. By representing the transition of systems to the states under consideration caused by the formation of plastic hinges in one or another sequence under seismic action in the form of a Markov random process in continuous time and discrete states, systems of first-order differential equations describing these transitions are obtained. Having solved them by applying the Laplace transform, analytical expressions for estimating the probabilities of finding frame systems in the states under consideration and expressions for estimating the probabilities of failure-free operation of these systems are obtained. **Conclusion.** By constructing transition graphs covering all possible states of frame systems during the formation of plastic hinges in nodes under seismic action and describing the process of frame transitions from one state to another by a Markov random process in continuous time and discrete states, analytical expressions for evaluating the probabilities of these system states, as well as their reliability and survivability under seismic action, can be obtained.

Keywords: frame system, seismic impact, plastic hinge, transition graph, Markov process, differential equations, state probabilities, durability, reliability

Введение. Метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям имеет один существенный недостаток - он не учитывает в полной мере случайный характер распределения действующих нагрузок, параметров конструкций и их прочностных характеристик, что не позволяет получить количественные оценки надежности, т.е. вероятности ненаступления предельных состояний, как в конструкциях, так и в целом зданиях и сооружениях [1-5]. Показатель «надежность» или «вероятность отказа» дает более полную информацию о безопасности или опасности принимаемого проектного решения объекта, а также о преимуществе одного варианта конструктивного решения над другим.

Кроме того, включая вероятность отказа в минимизируемую функцию риска можно получить её оптимальную величину и, соответственно, оптимальные параметры конструкций, соответствующие уровню ответственности сооружения [5-14].

Теория надежности конструкций, зданий и сооружений, которая в 70-х и 80-х годах двадцатого века развивалась интенсивно, в настоящее время не получает особого внимания у ученых. Причиной тому, скорее всего, является отсутствие достаточной статистики некоторых характеристик воздействий и потерь при отказах конструкций, методики оценки обоснованных предельно допустимых уровней вероятностей безотказности зданий и сооружений или опти-

мальных уровней надежности с учетом возможных как экономических, так и социальных потерь. Тем не менее, наука в данной области развивается, эти задачи в конечном итоге будут решены. Важно, чтобы, пока определяются с предельными значениями, иметь полноценную методику расчета надежности зданий и сооружений при заданных распределениях нагрузок, воздействий, характеристик материалов и параметров конструкций.

Здания и сооружения в целом являются многоэлементными сложными системами. Их сложность, прежде всего, заключается в том, что частичный или полный отказ какого-либо несущего элемента, как правило, приводит к перераспределению нагрузок и усилий между другими структурными элементами, после чего, система в целом может отказать или переходить в другое безотказное состояние, хотя может быть с потерей определенного резерва несущей способности.

Если сооружения могут подвергаться еще и сейсмическому воздействию, то задача расчета надежности сильно усложняется, так как все это должно быть оценено во временной области [15-17].

Постановка задачи. Для расчета надежности строительных конструктивных систем применяются разного типа модели в зависимости от того, речь идет о безотказности элемента или в целом системы [5,6,7,8,11]. Если в целом системы, то применяются параметрические модели, основанные на оценке вероятности невыхода параметров системы, определяющих её качество, за пределы границы пространства качества [6,8,18].

В случае многоэлементных (многосвязевых) систем, подверженных сейсмическому воздействию, отказ элемента или элементов которых не приводит к отказу системы или потери её живучести, а переводит её в новое безотказное состояние (состояния).

Более применимыми для разработки методики оценки надежности являются модели, основанные на теории марковских случайных процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями [7,17,19].

При разработке этих моделей для каждой конкретной системы составляется граф переходов с указанием всех возможных состояний и интенсивностей переходов в эти состояния. При этом, состояние системы в момент начала воздействия называется начальным, состояние при котором система отказывает – отказовым, а остальные – промежуточными.

Для каждого графа переходов составляется система дифференциальных уравнений 1-го порядка, решая которую находим вероятности попадания системы в рассматриваемые состояния. Надежность системы определяем в виде суммы вероятностей безотказовых состояний системы.

В настоящей работе рассматриваются задачи разработки моделей расчета надежности 2-х этажных рамных систем регулярной и нерегулярной структуры с учетом последовательности образования в узлах шарниров пластичности и перехода их в состояние механизма при сейсмическом воздействии, представленного в виде стационарного случайного процесса.

Методы исследования. Рама 1. На рис. 1.а показана поперечная рама двухэтажного промышленного здания с жесткими узлами соединения колонн и ригелей в уровне верха первого этажа и опиранием фермы на оголовки колонн, узлы соединения которой с колоннами можно считать шарнирными.

На рис. 1.б показана расчетная схема рамы. Конструкции перекрытий в горизонтальной плоскости запроектированы как жесткие диски. При горизонтальном сейсмическом воздействии максимальные усилия в колоннах будут у опор, где при превышении определенных их предельных величин образуются пластические шарниры. При наличии шарниров в верхнем и нижнем сечениях колонн хотя бы одного этажа, система переходит в механизм, т.е. в состояние отказа.

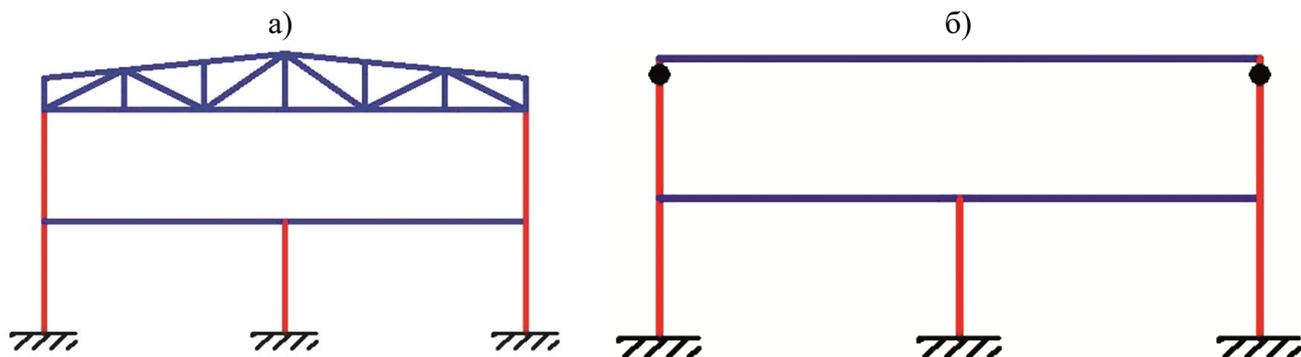


Рис.1. Поперечная рама промышленного здания (а) и её расчетная схема (б)
 Fig. 1. The transverse frame of an industrial building (a) and its design scheme (b)

На рис. 2 показан граф переходов системы в возможные состояния, где через H_0 обозначено начальное состояние, H_1 – состояние с пластическими шарнирами у верха колонн 1 этажа и конструктивными шарнирами у верха колонн 2 этажа, H_2 – состояние с пластическими и конструктивными шарнирами в колоннах верхнего этажа, H_3 – состояние с пластическими шарнирами в колоннах первого этажа, H_4 – состояние с пластическими шарнирами у верха колонн 1 этажа и низа колонн 2 этажа и конструктивными шарнирами в уровне верха колонн 2 этажа.

Состояния H_0 и H_1 является неотказовыми, а H_2 , H_3 и H_4 – отказовыми. Интенсивности переходов в соответствующие состояния обозначены через λ_{01} , λ_{02} , λ_{13} , λ_{14} . Данные состояния и переходы соответствуют требованиям ординарности и отсутствия последействия, которые предъявляются марковским случайным процессам с непрерывным временем и дискретными состояниями [19].

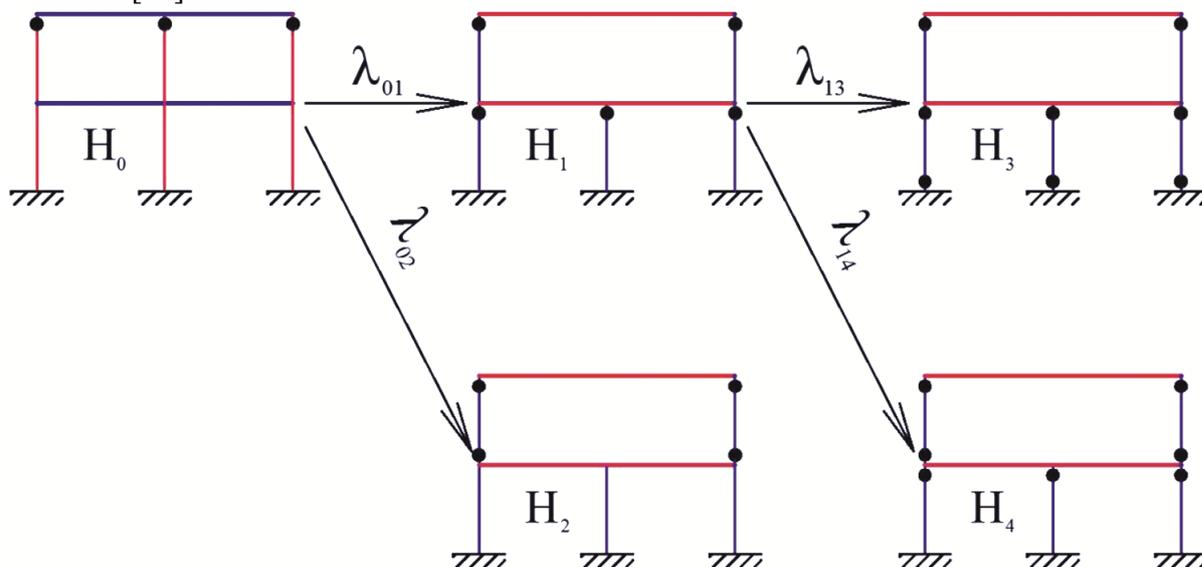


Рис.2. Граф переходов рамы в состояния механизмов (отказа) при сейсмическом воздействии
 Fig. 2. Graph of transitions of the frame to the state of the mechanism (failure) under seismic action

Система дифференциальных уравнений соответствующая рис. 2, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 P'_0(t) + (\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0(t) &= 0; \\
 P'_1(t) - \lambda_{01}P_0(t) + (\lambda_{13} + \lambda_{14})P_1(t) &= 0; \\
 P'_2(t) - \lambda_{02}P_2(t) &= 0; \\
 P'_3(t) - \lambda_{13}P_3(t) &= 0; \\
 P'_4(t) - \lambda_{14}P_4(t) &= 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$ - вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях за период времени t , соответствующего продолжительности сейсмического воздействия.

Решая систему уравнений (1) путем преобразований Лапласа [20] при начальных условиях $P_0(t) = 1$, $P_i(0) = 0$, $i=1,2,3,4$ получим:

$$\begin{aligned}
 P_0(t) &= \exp[-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t]; \\
 P_1(t) &= \frac{\lambda_{01}}{(\lambda_{13} + \lambda_{14}) - (\lambda_{01} + \lambda_{02})} [e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t} - e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{14})t}]; \\
 P_2(t) &= -\frac{\lambda_{02}}{\lambda_{01} + \lambda_{02}} [1 - e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t}]; \\
 P_3(t) &= \lambda_{01} \lambda_{13} \left[\frac{e^{-\bar{\lambda}_1 t}}{(\bar{\lambda}_1 - \bar{\lambda}_2) \bar{\lambda}_1} + \frac{e^{-\bar{\lambda}_2 t}}{(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1) \bar{\lambda}_2} + \frac{1}{\bar{\lambda}_1 \bar{\lambda}_2} \right]; \\
 P_4(t) &= P_3(t) \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{13}}.
 \end{aligned}$$

Здесь: $\bar{\lambda}_1 = -(\lambda_{01} + \lambda_{02})$; $\bar{\lambda}_2 = -(\lambda_{13} + \lambda_{14})$.

Вероятность нахождения системы в безотказовых состояниях

$$P(t) = P_0(t) + P_1(t).$$

Вероятность попадания в отказовые состояния

$$Q(t) = P_2(t) + P_3(t) + P_4(t).$$

Вероятностная оценка живучести системы будет соответствовать вероятности нахождения системы в состоянии H_1 , то есть $P_1(t)$.

Рама 2. На рис. 3 показаны возможные дискретные состояния и переходы двухпролетной двухэтажной рамы с жесткими дисками перекрытий и жесткими узлами соединения колонн с ригелями из-за образования пластических шарниров в узлах при горизонтальном сейсмическом воздействии.

По рис.3 видно, какой порядок образования пластических шарниров соответствует указанным состояниям. Здесь состояния H_0 , H_1 , H_2 и H_3 являются безотказовыми, а H_4 и H_5 – отказовыми. Данные состояния и последовательности переходов также можно описать марковским случайным процессом с непрерывным временем и дискретными состояниями.

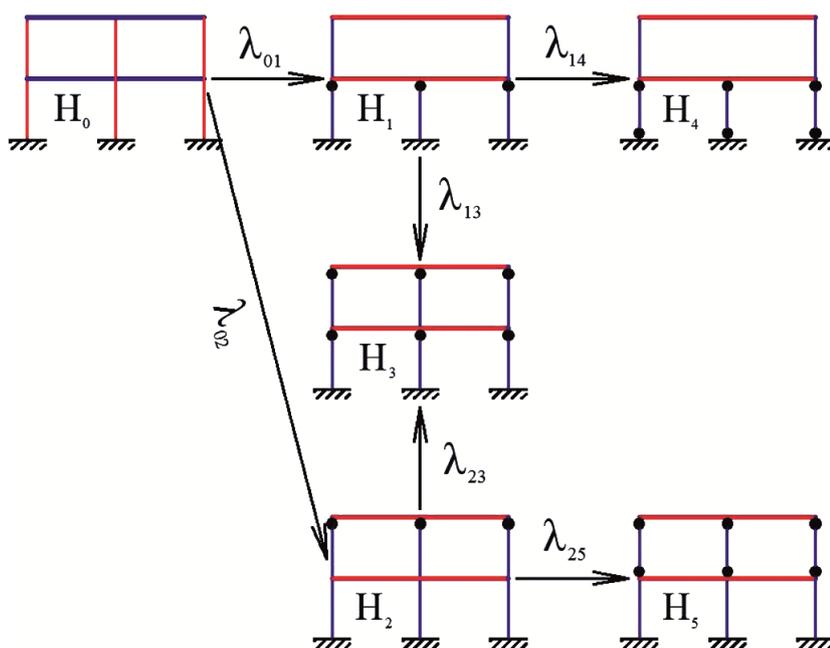


Рис.3. Граф переходов рамы в состояния механизмов (отказа) при сейсмическом воздействии
 Fig. 3. Graph of transitions of the frame to the state of the mechanism (failure) during seismic impact

Система дифференциальных уравнений в данном случае имеет вид:

$$\begin{aligned} P_0'(t) + (\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0(t) &= 0; \\ P_1'(t) - \lambda_{01}P_0(t) + (\lambda_{13} + \lambda_{14})P_1(t) &= 0; \\ P_2'(t) - \lambda_{02}P_0(t) + (\lambda_{23} + \lambda_{25})P_2(t) &= 0; \\ P_4'(t) - \lambda_{14}P_1(t) &= 0; \\ P_5'(t) - \lambda_{25}P_2(t) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Состояние H_3 в систему (2) не включено для упрощения задачи, но ниже вероятность $P_3(t)$ будет определена.

Решаю систему (2) при начальных условиях $P_0(0) = 1, P_i(0) = 0, i=1,2,3,4,5$, находим:

$$\begin{aligned} P_0(t) &= \exp[-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t]; \\ P_1(t) &= \frac{\lambda_{01}}{(\lambda_{13} + \lambda_{14}) - (\lambda_{01} + \lambda_{02})} [e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t} - e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{14})t}]; \\ P_2(t) &= \frac{\lambda_{02}}{(\lambda_{23} + \lambda_{25}) - (\lambda_{01} + \lambda_{02})} [e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t} - e^{-(\lambda_{23} + \lambda_{25})t}]; \\ P_4(t) &= \lambda_{01}\lambda_{14} \left[\frac{e^{\bar{\lambda}_1 t}}{(\bar{\lambda}_1 - \bar{\lambda}_2)\bar{\lambda}_1} + \frac{e^{\bar{\lambda}_2 t}}{(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1)\bar{\lambda}_2} + \frac{1}{\bar{\lambda}_1\bar{\lambda}_2} \right]; \\ P_5 &= \lambda_{02}\lambda_{25} \left[\frac{e^{\bar{\lambda}_1 t}}{(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1)\bar{\lambda}_1} + \frac{e^{\bar{\lambda}_2 t}}{(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1)\bar{\lambda}_2} + \frac{1}{\bar{\lambda}_1\bar{\lambda}_2} \right]. \end{aligned}$$

Здесь: $\bar{\lambda}_1 = -(\lambda_{01} + \lambda_{02}); \bar{\lambda}_2 = -(\lambda_{13} + \lambda_{14}); \bar{\lambda}_2^* = -(\lambda_{23} + \lambda_{25})$.

Вероятность нахождения системы в безотказовом состоянии H_3 определяем в виде

$$P_3(t) = 1 - [P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_4(t) + P_5(t)],$$

а надежность системы

$$P(t) = P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t).$$

Вероятность перехода системы в отказовые состояния

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Живучесть системы определяем в виде суммы вероятностей нахождения системы в безотказовых состояниях за исключением $P_0(t)$

$$P_g(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t).$$

Обсуждение результатов. Существуют разные схемы, описывающие соединения элементов в системах с учетом их взаимного влияния в процессе работы. В большинстве случаев они представляют собой схемы с последовательным, параллельным или смешанным соединением элементов. Они служат основанием для разработки моделей оценки надежности систем.

При динамических воздействиях важно чтобы эти схемы учитывали структурные изменения, происходящие в системах во времени. Для этого, как показано в работе, успешно могут быть применены графы переходов, охватывающие все возможные во времени состояния системы, связанные с перестройкой внутренней структуры системы и условиями переходов в эти состояния. В большинстве случаев здания и сооружения являются статически неопределимыми системами, где количество лишних связей напрямую влияет на их надежность. Потеря этих связей, в конечном итоге, приводит систему в статически неопределимую, а после, и в механизм.

Общепринятые схемы параллельного и смешанного соединения элементов в данном случае не позволяют получить математическую модель оценки надежности системы, так как необходимо охватить весь процесс деградации системы во времени. Это можно учесть, как показано в работе, применением к решению задачи теории марковских случайных процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями.

При этом к каждой конструктивной системе требуется индивидуальный подход. Соответственно отличаются и получаемые в конечном итоге математические выражения оценки вероятностей состояний и безотказности системы. В данной работе возможность реализации предлагаемой методики показана на примере двух двухэтажных поперечных рам с разным количеством элементов и лишних связей.

Вывод. Эволюцию во времени статически неопределимой конструктивной системы при сейсмическом воздействии необходимо описать составлением графа переходов во все возможные дискретные состояния. Для разработки моделей оценки надежности этих систем эффективно может быть применена математическая теория марковских случайных процессов, которая позволяет определить не только финальные вероятности состояний систем, но и промежуточные.

Библиографический список:

1. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений. –М.: Гостройиздат, 1947. 92с.
2. Балдин В.А., Гольдентблат И.И., Коченев В.И., Пильдиш М.Я., Таль К.Э. Расчет строительных конструкций по предельным состояниям. М.: Стройиздат, 1951. 272с.
3. Развитие методики расчета по предельным состояниям. Сборник статей под руководством Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1971. 175с.
4. Стрелецкий Н.Н. Первоочередные вопросы развития методики предельных состояний// Развитие методики расчета по предельным состояниям. М.: Стройиздат, 1971. с.87-91.
5. Ржаницын, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239с.
6. Болотин, В.В. Методы теорий вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1982. 351с.
7. Капур, К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем –М.: Мир, 1980. 604с.
8. Аугусти, Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании./ Пер. с англ. Ю.Д. Сухова. –М.: Стройиздат, 1988. 584с.
9. Складнев Н.Н. Оптимальное проектирование железобетонных конструкций с учетом требования экономичности, технологичности, надежности, долговечности. Дис. на соискание учен. ст. доктора технических наук. –МИСИ им. Куйбышева, 1979. 350с.
10. Абакаров А.Д. Надежность и сейсмостойкость сооружений с резервированием. Дис. на соискание учен. ст. доктора технических наук. – ЦНИИСК им. Кучеренко, 1993. 426с.
11. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. –М.: Изд-во АСВ, 1998. -302с.
12. Райзер В.Д. Вероятностные методы в анализе надежности и живучести сооружений. М.: АСВ, 2018. 394с.
13. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций. М.: АСВ, 2016. 908с.
14. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций/ Научное издание.– М.: Изд-во АСВ, 2007. 256с.
15. Болотин В.В. Применение статистических методов для оценки прочности конструкций при сейсмических воздействиях// Инженерный сборник. –М.: Изд. АН СССР, 1960. Т.27. с.58-69.
16. Николаенко Н.А., Назаров Ю.П. Динамика и сейсмостойкость сооружений. М.: Стройиздат, 1987.
17. Айзенберг Я.М., Нейман А.И., Абакаров А.Д., Деглина М.М., Чачуа Т.Л. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. М.: Наука, 1978. 246с.
18. Kameda H. Probability Distribution of the Maximum Response of Structures Subjected to Nonstationary Random Earthquake Motion// Mem. Fac. Enghg., Kyoto Univ., 1971. Vol. XXXIII. Part 4. pp. 243-280.
19. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские случайные процессы. –М.: Совет. радио., 1977. -485с.
20. Бейтаман Г., Эрдейн А. Таблица интегральных преобразований/ Том 1. Преобразование Фурье, Лапласа, Меллина. М.: Наука, 1960. 260с.

References:

1. Streletskiy N.S. Osnovy statisticheskogo ucheta koeffitsiyenta zapasa prochnosti sooruzheniy. –М.: Gostroyizdat, 1947. – 92s. [Streletsky N.S. Fundamentals of statistical accounting of the safety factor of structures. –М.: Gostroyizdat, 1947. 92p. (In Russ)]
2. Baldin V.A., Gol'dentblat I.I., Kochenev V.I., Pil'dish M.YA., Tal' K.E. Raschet stroitel'nykh kon-struktsiy po predel'ny'm sostoyaniyam. –М.: Stroyizdat, 1951. -272s. [Baldin V.A., Goldentblat I.I., Kochenev V.I., Pildish M.Ya., Tal K.E. Calculation of building structures by limiting conditions. М.: Stroyizdat, 1951. 272p. (In Russ)]
3. Razvitiye metodiki rascheta po predel'ny'm sostoyaniyam. Sbornik statey pod rukovodstvom Ye.I. Be-lenya. – М.: Stroyizdat, 1971. – 175s. [Development of calculation methods for limiting states. Collection of articles led by E.I. Bleached. М.: Stroyizdat, 1971. 175p. (In Russ)]
4. Streletskiy N.N. Pervoочerednyye voprosy razvitiya metodiki predel'nykh sostoyaniy// Razvitiye metodiki rascheta po predel'ny'm sostoyaniyam. –М.: Stroyizdat, 1971. – s.87-91 [Streletsky N.N. Priority issues of the development of the limit state methodology // Development of the calculation method for limit states. –М.: Stroyizdat, 1971. pp. 87-91. (In Russ)]
5. Rzhanitsyn, A.R. Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktsiy na nadezhnost'. –М.: Stroyizdat, -1978. -239s. [Rzhanitsyn, A.R. The theory of calculating building structures for reliability. М.: Stroyizdat, 1978. 239p.(In Russ)]

6. Bolotin, V.V. Metody teorii veroyatnostey i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzheniy –M. :Stroyizdat, -1982. - 351s. [Bolotin, V.V. Methods of probability theories and reliability theory in the calculations of structures. M.: Stroyizdat, 1982. 351p(In Russ)]
7. Kapur, K., Lamberson L. Nadezhnost' i proyektirovaniye sistem –M.: Mir, -1980. – 604s. [Kapoor, K., Lumberson L. Reliability and design of systems M.: Mir, 1980. 604p. (In Russ)]
8. Augusti, G., Baratta A., Kashiati F. Veroyatnostnyye metody v stroitel'nom proyektirovanii./ Per. s angl. YU.D. Sukhova. –M. : Stroyizdat, 1988. -584s. [Augusti, G., Baratta A., Kashiati F. Probabilistic methods in building design. / Per. from English Yu.D. Sukhova. M. : Stroyizdat, 1988. 584p. (In Russ)]
9. Skladnev N.N.Optimal'noye proyektirovaniye zhelezobetonnykh konstruksiy s uchetom trebovaniya ekonomichnosti, tekhnologichnosti, nadezhnosti, dolgovechnosti. Dis. na soiskaniye uchen. st. doktora tekhnicheskikh nauk. – MISI im. Kuybysheva, 1979. -350s. [Skladnev NN Optimal design of reinforced concrete structures, taking into account the requirements of efficiency, manufacturability, reliability, durability. Dis. scientist. Art. Doctors of technical sciences. –MISI them. Kuibyshev, 1979. 350p. (In Russ)]
10. Abakarov A.D. Nadezhnost' i seymostoykost' sooruzheniy s rezervirovaniyem. Dis. na soiskaniye uchen. st. doktora tekhnicheskikh nauk. – TSNIISK im. Kucherenko, 1993. -426s. [Abakarov A.D. Reliability and earthquake resistance of redundant structures. Dis. scientist. Art. Doctors of technical sciences. TSNIISK them. Kucherenko, 1993.426 p. (In Russ)]
11. Rayzer, V.D. Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proyektirovanii. –M. : Izd-vo ASV, 1998. -302s. [Riser, V.D. Reliability theory in building design. M. : Publishing house of the DIA, 1998.302p. (In Russ)]
12. Rayzer V.D. Veroyatnostnyye metody v analize nadezhnosti i zhivuchesti sooruzheniy. –M.: ASV, 2018. -394s. [Riser V.D. Probabilistic methods in the analysis of the reliability and survivability of structures. –M. : DIA, 2018. 394p. (In Russ)]
13. Mkrtychev O.V., Rayzer V.D. Teoriya nadezhnosti v proyektirovanii stroitel'nykh konstruksiy. –M.: ASV, 2016. - 908s. [Mkrtychev O.V., Raizer V.D. Reliability theory in the design of building structures. M. : DIA, 2016. 908p. (In Russ)]
14. Perel'muter, A.V. Izbrannyye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitel'nykh konstruksiy/ Nauchnoye izdaniye.– M. : Izd-vo ASV, 2007. -256s. [Perel'muter, A.V. Selected Problems of Reliability and Safety of Building Structures / Scientific publication. - M.: DIA Publishing House, 2007. 256p. (In Russ)]
15. Bolotin V.V. Primeneniye statisticheskikh metodov dlya otsenki prochnosti konstruksiy pri seysmi-cheskikh vozdeystviyakh// Inzhenernyy sbornik. –M.: Izd. AN SSSR, 1960. T.27. – s.58-69. [Bolotin V.V. The use of statistical methods to assess the strength of structures under seismic effects // Engineering Digest. M. : Ed. USSR Academy of Sciences, 1960.V.27. pp. 58-69. (In Russ)]
16. Nikolayenko N.A., Nazarov YU.P. Dinamika i seymostoykost' sooruzheniy. –M.: Stroyizdat, 1987. [Nikolaenko N.A., Nazarov Yu.P. Dynamics and earthquake resistance of structures. M. : Stroyizdat, 1987. (In Russ)]
17. Ayzenberg YA.M., Neyman A.I., Abakarov A.D., Deglina M.M., Chachua T.L. Adaptivnyye sistemy seymicheskoy zashchity sooruzheniy. –M.: Nauka, 1978. – 246s. [Eisenberg Y.M., Neumann A.I., Abakarov A.D., Deglina M.M., Chachua T.L. Adaptive systems of seismic protection of structures. M. : Nauka, 1978. 246p. (In Russ)]
18. Kameda H. Probability Distribution of the Maximum Response of Structures Subjected to Nonstationary Random Earthquake Motion // Mem. Fac. Enghg., Kyoto Univ., 1971. Vol. Xxxiii. Part 4. pp. 243-280.
19. Tikhonov V.I., Mironov M.A. Markovskiye sluchaynyye protsessy. –M.: Sovet. radio., 1977. -485s. [Tikhonov V.I., Mironov M.A. Markov random processes. M. : Council. radio., 1977. 485p. (In Russ)]
20. Beytaman G., Erdeyn A. Tablitsa integral'nykh preobrazovaniy/ Tom 1. Preobrazovaniye Fur'ye, Laplasya, Mellina. -M.: Nauka, 1960. -260s. [Beitaman G., Erdein A. Table of integral transforms / Volume 1. Fourier, Laplace, Mellin transform. M. : Nauka, 1960.260p. (In Russ)]

Сведения об авторах:

Абакаров Абакар Джансулаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры; e-mail: a.abakarov@bk.ru

Гасанов Руслан Гасанович, старший преподаватель кафедры архитектуры; e-mail: ruslan.gasanovich@mail.ru

Information about authors:

Abakar D. Abakarov, Dr. Sci. (Technical), Prof., Head of the Department of Architecture; e-mail: a.abakarov@bk.ru

Ruslan G. Gasanov, Senior Lecturer, Department of Architecture; e-mail: ruslan.gasanovich@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 20.05.2020.

Received 20.05.2020.

Принята в печать 18.06.2020.

Accepted for publication 18.06.2020.

Для цитирования: С.А. Иванов. Перспективы применения битума модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (2):131-143. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-131-143

For citation: S.A. Ivanov. Prospects for the use of bitumen modified with rubber granulate in a Two-Stage technological process. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(2):131-143. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-131-143

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.162

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-131-143

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИТУМА МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

С.А. Иванов

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28 г., Россия*

Резюме. Цель. Цель исследования состоит в поиске методов повышения качества битумных вяжущих путем их модификации. **Метод.** Применен метод регулирования процесса деградации резиновой крошки в промышленных масштабах при чувствительном ее физико-химическом взаимодействии с пластифицированным битумом при температуре технологического процесса 230°C. **Результат.** В статье приведены данные о состоянии вопроса исследований по модифицированию битума нефтяного дорожного вязкого различными полимерами, а в частности, резиновой крошкой, полученной из отходов переработки резинотехнической промышленности. Представлен процесс получения битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе. Произведена оценка зависимостей физико-химических параметров вяжущего от технологических режимов. Приведены результаты исследований по оценке структуры модифицированного вяжущего, а также резиновой крошки до и после термомеханической обработки. Представлены сравнения физико-химических свойств битумов, модифицированных различной резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, с аналогами. **Вывод.** Двухстадийный технологический процесс модификации битумов резиновой крошкой способствует повышению гомогенности системы и формированию дисперсного каркаса, армирующего вяжущее, что в целом обуславливает получение вяжущего, обладающего улучшенными физико-химическими характеристиками. Частицы резиновой крошки придают повышенную температурную устойчивость и эластичность модифицированным битумам посредством мельчайших выпуклостей на поверхности частиц.

Ключевые слова: битум, резиновая крошка, модификация, структура, свойства, анализ

PROSPECTS FOR THE USE OF BITUMEN MODIFIED WITH RUBBER GRANULATE IN A TWO-STAGE TECHNOLOGICAL PROCESS

S.A. Ivanov

*T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
28 g Vesennyaya St., Kemerovo 650000, Russia*

Abstract. Aim. This study was aimed at developing methods for improving the quality of bituminous binders by means of their modification. **Methods.** A method for regulating the process of destructing rubber granulate on an industrial scale, under which rubber granulate undergoes physical and chemical interactions with plasticized bitumen at a temperature of 230°C, was applied. **Results.** The article reviews existing publications devoted to the modification of petroleum road viscous bitumen with various polymers, in particular with rubber granulate obtained by processing waste of the

*rubber industry. The process of obtaining bitumen modified with rubber granulate through a two-stage technological process is described. The dependence of the physical and chemical parameters of the binder on the technological modes is estimated. The results of evaluating the structure of a modified binder, as well as the rubber granulate before and after thermomechanical processing, are presented. A comparison of the physical and chemical properties of bitumen modified with various rubber-granulate forms in a two-stage technological process with analogue products is presented. **Conclusion.** The proposed two-stage technological process of modifying bitumen with rubber granulate increases the homogeneity of the system and facilitates the formation of a dispersed framework reinforcing the binder, which leads to the production of a binder with improved physical and chemical characteristics. Rubber granulates impart an increased temperature stability and elasticity to the modified bitumen by means of forming tiny bumps on the surface of the particles.*

Keywords: bitumen, rubber granulate, modification, structure, properties, analysis

Введение. Для устройства автомобильных дорог капитального и усовершенствованного типов в мировой практике наибольшее распространение получили асфальтобетонные смеси. Совершенствованию асфальтобетонных покрытий посвящены работы авторов многочисленных исследований [1-18]. Объясняется это отсутствием необходимости в устройстве технологического перерыва для набора прочности и формирования структуры материала, высокой скоростью укладки, легкостью ремонта, коррозионной стойкостью, износостойкостью и атмосферостойкостью. Кроме того, отсутствие в покрытиях из таких материалов деформационных швов, а также их макрошероховатая текстура поверхности благоприятно сказываются на комфорте и безопасности движения.

Между тем асфальтобетонные покрытия имеют ряд недостатков, свойственных для нежестких дорожных одежд, в том числе зависимость их физико-механических и деформационных свойств от температуры наружного воздуха, что заставляет вводить сезонные ограничения для движения автотранспортных средств с повышенной осевой нагрузкой, снижение до 10 раз несущей способности при статической нагрузке по сравнению с динамической, что вызывает пластические деформации материала в городских условиях, особенно на участках перед перекрестками, а также повышенное трещинообразование в условиях резкоконтинентального климата, характеризующегося значительным суточным перепадом температур воздуха.

Постановка задачи. Цементобетонные покрытия могли бы устранить указанные выше недостатки, однако их массовое применение сдерживается группой факторов, основными из которых являются обязательность устройства деформационных швов, микрошероховатая текстура поверхности, снижающая коэффициент сцепления колеса с покрытием, сложность ремонта, обязательность технологического перерыва для набора прочности, создающего трудности для пропуска транзитного транспорта при ремонте и реконструкции. Несмотря на то, что расчетный срок службы дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием составляет от 10 до 20 лет, фактический срок службы зачастую не превышает 3-9 лет [19,20]. Это свидетельствует о необходимости проведения дополнительных исследований и разработок, направленных на повышение срока службы.

Федеральное дорожное агентство для совершенствования асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог утвердило план внедрения в России системы проектирования асфальтобетонной смеси Supergravel, который предусматривает, в том числе, выбор битумного вяжущего для заданных условий эксплуатации [21]. В соответствии с ним для Кузбасса, например, интервал пластичности вяжущего должен составлять 110-115°C [22], в то время как интервал пластичности большинства битумов марки БНД 90/130, выпускаемых в Российской Федерации,

составляет 65-70°C. Эти данные свидетельствуют о том, что без модификации битумов внедрять систему Supergravel в России будет невозможным.

Анализ состава полимерасфальтобетонов, регламентированных в диссертации канд., тех., наук Андриади Ю.Г. [23], показывает, что основной акцент сделан не на минеральную часть, а на вяжущее и требования, предъявляемые к нему. Действительно, еще в середине 80-х годов прошлого столетия отмечали, что именно качество и долговечность нефтяных битумов определяет большинство физико-механических, технологических и эксплуатационных характеристик битумо-минеральных смесей и может служить основой для повышения срока службы асфальтобетонов [24].

Таким образом, для внедрения в практику полимерасфальтобетонов и системы проектирования состава асфальтобетонной смеси Supergravel необходимо совершенствование асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог, а, следовательно, повышения качества битумных вяжущих путем их модификации.

Методы исследования.

1. Влияние температуры и числа стадий на эффективность процесса модификации битумов резиновой крошкой и их рабочую температуру. Для оценки влияния температуры на эффективность процесса модификации битумов резиновой крошкой на основе анализа данных библиографических источников, а также собственных предварительных экспериментов, было принято решение назначить равной 200°C, 230°C и 260°C.

Технологический процесс получения битума модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, состоял из следующих этапов:

1. В дисперсионную среду, нагретую до температуры 200±5, 230±5 и 260±5°C и состоящую из 50 % битума и 12,5 % нефтяного масла, при постоянном перемешивании добавляли резиновую крошку в количестве 37,5 %, имеющую комнатную температуру.

2. Смесь при постоянном перемешивании выдерживали при заданной температуре от 0,25 до 5,75 часа с интервалом 0,50 часа с получением концентрированной суспензии резино-битумного композита.

3. Отключали нагревательные элементы и в концентрированную суспензию резинобитумного композита в количестве 52,5 % при постоянном перемешивании добавляли битум, имеющий температуру 100-110°C, в количестве 47,5 % и смесь выдерживали в течение 0,25-0,50 часа с получением модифицированного вяжущего.

Результаты определения физико-химических свойств битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, представлены в табл. 1.

В ходе проведенного эксперимента было выявлено, что при температуре 200°C процесс пластификации резиновой крошки протекает настолько медленно, что назначать такую температуру экономически не целесообразно. Даже при времени технологического воздействия более 5 часов наблюдается слабое взаимодействие резиновой крошки с пластифицированным битумом, и она, лишь немного набухая, выступает, в основном, в качестве наполнителя.

Этим обусловлено резкое снижение пенетрации и повышение температуры размягчения по кольцу и шару, то есть изменение физико-химических свойств битума, модифицированного резиновой крошкой, при данной температуре технологического процесса обусловлено не столько физико-химическим взаимодействием резиновой крошки с элементами группового состава пластифицированного битума, сколько наличием твердых включений, изменяющих условия проведения лабораторных испытаний.

При температуре 260°C пластификатор начинает выгорать, а пластификация резиновой крошки происходит настолько быстро, что регулировать такой процесс на производстве в реальных условиях практически не возможно. Резиновая крошка при данной температуре начинает очень быстро распадаться на отдельные компоненты, в том числе с образованием низкомолекулярных углеводородов, значительно разжижающих конечный продукт. Это подтверждается, в том числе, значительным снижением температуры размягчения по кольцу и шару и увеличением пенетрации битума, модифицированного резиновой крошкой.

Таблица 1. Физико-химические свойства исходного битума и битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном процессе
Table 1. Physical and chemical properties of the original bitumen and bitumen modified with crumb rubber in a two-stage process

Время приготовления, ч Cooking time, h	Наименование показателя Indicator name									
	П25	П0	Д25	Д0	Э25	Э0	КиШ	Хр	ΔКиШ	ΔМ
Исходный битум марки БНД 60/90 Initial bitumen grade BND 60/90										
-	61	26	71	4,0	-	-	53	-19,0	2	0,11
Битум, модифицированный резиновой крошкой, при температуре технологического процесса 200°C Bitumen modified with crumb rubber, at a process temperature of 200 ° C										
5,25	25	10	13,2	9,1	80	64	69	-19,0	0	0,13
5,75	24	13	14,7	9,8	85	62	68	-20,5	1	0,15
Битум, модифицированный резиновой крошкой, при температуре технологического процесса 230°C Bitumen modified with crumb rubber at a process temperature of 230 ° C										
0,25	30	18	9,1	7,0	90	93	64	-18,0	4	0,49
0,75	33	21	12,9	7,1	88	87	58	-18,0	4	0,47
1,25	40	24	11,9	9,2	90	73	63	-19,5	5	0,42
1,75	45	26	13,5	7,2	87	65	61	-20,0	4	0,35
2,25	52	31	11,4	6,5	89	55	67	-23,0	-2	0,68
2,75	57	25	10,3	8,0	85	58	68	-25,0	-1	0,79
3,25	61	27	13,4	7,5	89	65	67	-25,0	1	0,75
3,75	63	25	12,8	8,5	84	53	65	-25,5	1	0,74
4,25	58	33	14,4	8,0	85	48	61	-25,5	1	0,66
4,75	55	33	12,0	6,7	86	48	60	-25,5	1	0,60
5,25	62	34	14,0	7,5	82	48	58	-26,0	2	0,56
5,75	65	38	14,8	5,9	85	29	56	-26,5	2	0,55
Битум, модифицированный резиновой крошкой, при температуре технологического процесса 260°C Bitumen modified with crumb rubber at a technological process temperature of 260 ° C										
0,25	100	32	25,6	4,6	88	85	49	-19,0	-2	0,51
0,75	118	38	35,1	7,0	75	68	35	-21,0	2	0,80
1,25	111	56	30,3	9,0	83	54	38	-22,5	1	0,96
1,75	166	51	21,3	10,6	86	51	41	-21,5	0,5	0,78

Примечание: Note:

П25 – глубина проникания иглы при температуре 25°C, доли мм; P25 - penetration depth of the needle at a temperature of 25 ° C, fraction of mm;

П0 – глубина проникания иглы при температуре 0°C, доли мм; P0 is the depth of penetration of the needle at a temperature of 0 ° C, fraction of mm;

Д25 – растяжимость при температуре 25°C, см; D25 - extensibility at a temperature of 25 ° C, cm;

Д0 – растяжимость при температуре 0°C, см; D0 - extensibility at a temperature of 0 ° C, cm;

Э25 – эластичность при температуре 25°C, %; E25 - elasticity at a temperature of 25 ° C, %;

Э0 – эластичность при температуре 0°C, %; E0 - elasticity at a temperature of 0 ° C, %;

КиШ – температура размягчения по кольцу и шару, °C; КиШ - softening temperature along the ring and ball, °C;

ΔКиШ – изменение температуры размягчения по кольцу и шару после прогрева, °C; ΔKiSh - change in the softening temperature along the ring and ball after heating, °C;

ΔМ – изменение массы после прогрева, %; ΔM is the change in mass after heating, %;

Хр – температура хрупкости по Фраасу, °C. Хр - temperature of brittleness according to Fraas, °C.

Значения полученных экспериментов взяты как среднеарифметическое значение повторяющихся измерений в количестве не менее трех раз для получения заданного уровня надежности. The values of the obtained experiments are taken as the arithmetic mean of repeated measurements at least three times to obtain a given level of reliability.

Обсуждение результатов. Регулирование процесса деструкции резиновой крошки в промышленных масштабах при чувствительном ее физико-химическом взаимодействии с пластифицированным битумом возможно при температуре технологического процесса 230°C. При данной температуре с постепенным увеличением времени воздействия пенетрация битума, модифицированного резиновой крошкой, постоянно растет, что свидетельствует о пластификации и частичном растворении резиновой крошки.

Анализ данных показывает, что при температуре 230°C и времени технологического процесса 15 минут резиновая крошка пластифицируется и растворяется сильнее, чем при температуре 200°C и времени воздействия более 5 часов. Зависимости физико-химических свойств битума, модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре

230°C приведены на рис. 1-4 (условные обозначения аналогичны тем, которые приведены в табл. 1).

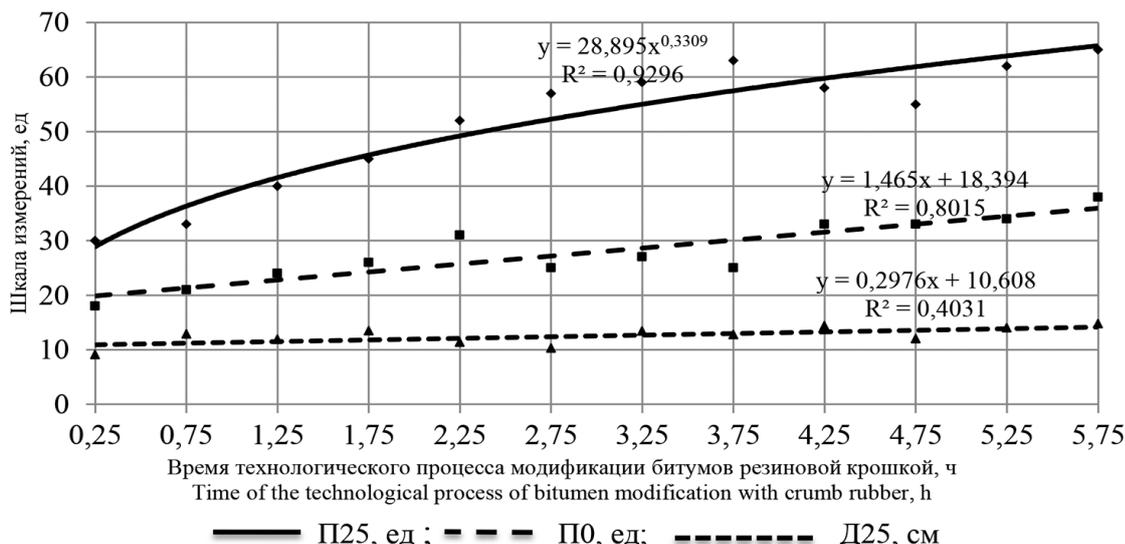


Рис. 1. Зависимости глубины проникания иглы при температурах 25°C и 0°C, а также растяжимости при температуре 25°C битума, модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 1. Dependences of the penetration depth of the needle at temperatures of 25°C and 0°C, as well as the extensibility at a temperature of 25°C of bitumen modified with crumb rubber, on the time of the technological process at a temperature of 230°C

Анализ данных, представленных на рис. 1, показывает, что с увеличением времени технологического процесса происходит постепенное замедление скорости роста глубины проникания иглы при 25°C, а также стабильный рост глубины проникания иглы при температуре 0°C и, хотя и не значительный, но все же рост растяжимости при 25°C. Обусловлено это, скорее всего, постепенной деструкцией резиновой крошки с течением времени с соответствующим уменьшением размера самих частиц. Данные преобразования в структуре битума, модифицированного резиновой крошкой, ведут к снижению влияния крупных включений резиновых частиц на условия проведения лабораторных испытаний в связи с уменьшением их размеров с высвобождением каучука и прочих составляющих компонентов.

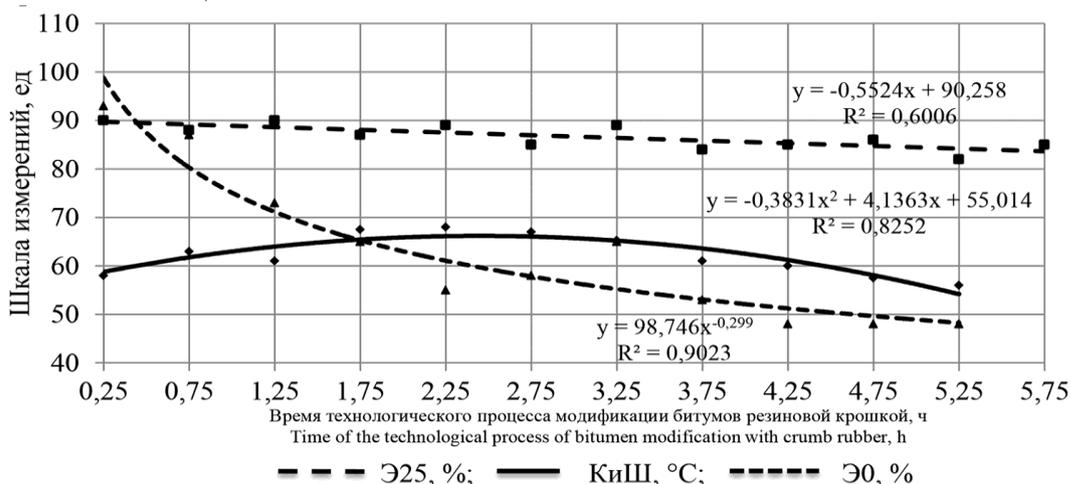


Рис. 2. Зависимости эластичности при температурах 25°C и 0°C, а также температуры размягчения по кольцу и шару битума, модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 2. Dependences of elasticity at temperatures of 25°C and 0°C, as well as the softening temperature along the ring and ball of bitumen modified with crumb rubber, on the time of the technological process at a temperature of 230°C

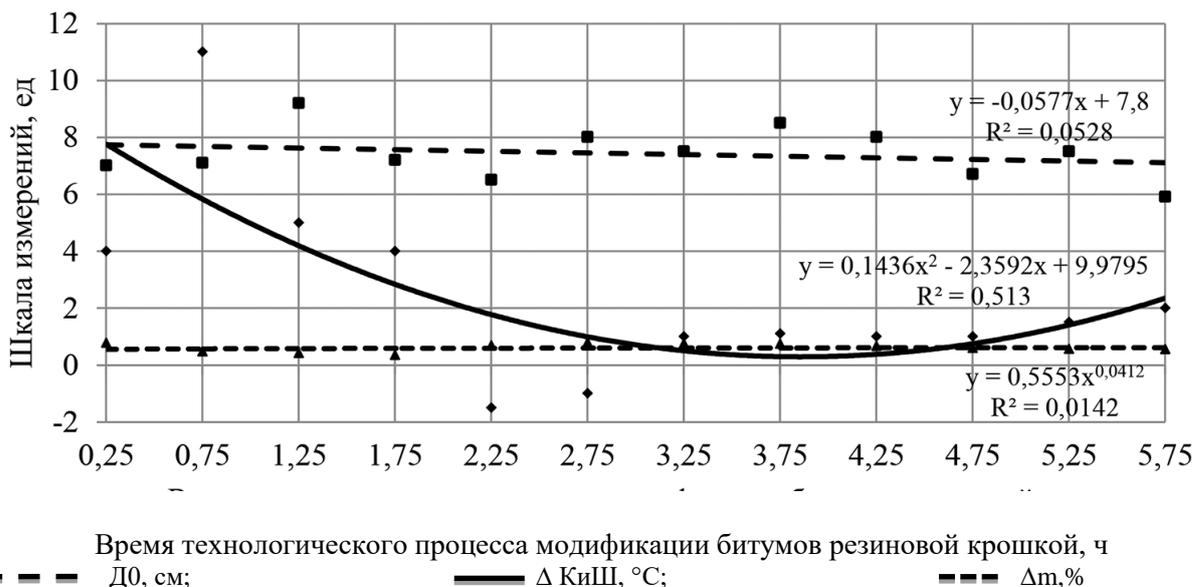


Рис. 3. Зависимости растяжимости при температуре 0°C, изменения температуры размягчения по кольцу и шару после прогрева и изменения массы после прогрева битума, модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 3. Dependences of extensibility at a temperature of 0°C, changes in softening temperature along the ring and ball after heating and changes in weight after heating bitumen modified with crumb rubber, from time technological process at a temperature of 230°C

Так как коэффициент детерминации зависимостей растяжимости при температуре 0°C и изменения массы после прогрева битума, модифицированного резиновой крошкой, в зависимости от времени технологического процесса достаточно мал, то характеризовать данные зависимости не имеет смысла. Здесь важнее численные значения данных параметров, которые составляют 7-8 см для растяжимости при температуре 0°C и 0,30-0,80 % для изменения массы после прогрева.

Если для первого показателя рост численного значения относительно исходного битума косвенно свидетельствует о снижении температуры хрупкости битума модифицированного резиновой крошкой (снижение их жесткости и вязкости при пониженных температурах), то увеличение показателя изменения массы после прогрева характеризует получение более нестабильной по сравнению с исходным битумом системы, в которой достаточно быстро протекают процессы окисления. Конечно, это минус для битума, модифицированного резиновой крошкой, но если дополнительно проанализировать зависимость изменения температуры размягчения по кольцу и шару после прогрева от времени технологического процесса, то можно утверждать, что при времени до 3,0-3,5 часов скорость протекания процесса деструкции резиновой крошки превосходит скорость процесса окисления пластифицированного битума, а, значит, изменение массы после прогрева, в этом случае, не имеет первостепенного значения.

Несмотря на достаточно большое значение изменения массы после прогрева, битум, модифицированный резиновой крошкой, в течение нескольких лет не перейдет в твердое состояние и не потрескается, так как продолжающийся процесс растворения резиновой крошки (постепенное высвобождение оставшегося в резиновой крошке каучука) будет пластифицировать вяжущее.

С увеличением времени технологического процесса происходит постепенное замедление скорости падения эластичности при 0°C, а также стабильное падение эластичности при 25°C. Данный факт обусловлен, скорее всего, тем, что вначале резиновые частицы имеют достаточно большой размер и в ходе проведения испытания выстраиваются в нить чередующихся сегментов резиновой крошки и битумного вяжущего (это объясняет значительно меньшую растяжимость битума модифицированного резиновой крошкой при 25 °C относительно исходных битумов в связи с образованием концентраторов напряжений), при обрыве которой растянутые

резиновые частицы, возвращаясь к исходной форме, «подтягивают» за собой и сегменты пластифицированного битумного вяжущего.

С уменьшением размера частиц уменьшаются и объемы упругих деформаций, что вызывает снижение эластичности битума, модифицированного резиновой крошкой. В то же время высвобождаемые отдельные фрагменты (нити) полимера, образованные из молекул каучука при их разрыве, при проведении испытания растягивается подобно пружинам, вызывая повышенную эластичность, что подтверждается наличием эластичности у битума, модифицированного резиновой крошкой, при температуре технологического процесса 260°C, так как резиновые частицы в этом случае практически полностью растворяются. Таким образом, эластичность битума модифицированного резиновой крошкой обуславливается упругими деформациями резиновых частиц и фрагментами обрывками молекул полимера, высвободившегося из них. С увеличением времени технологического процесса размеры резиновых частиц уменьшаются, а высвободившийся каучук начинает распадаться, что вызывает снижение эластичности.



Рис.4. Зависимость температуры хрупкости битума модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 4. Dependence of the brittleness temperature of bitumen modified with crumb rubber, from the time of the technological process at a temperature of 230°C

Температура хрупкости по Фраасу снижается с увеличением времени технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой и стабилизируется по истечении 5-6 часов, что объясняется увеличением объема фрагментов полимера с течением времени, а также ростом количества образующихся низкомолекулярных, в том числе летучих, углеводородов. Если время технологического процесса будет более 6 часов, то, скорее всего, температура хрупкости начнет повышаться, так как легколетучие углеводороды испарятся, а оставшиеся легкие фракции путем присоединения молекул кислорода (окисления) будут переходить в более тяжелые компоненты, как известно, ведущие к повышению температуры размягчения по Фраасу.

Произведя анализ зависимостей необходимо определить, какие физико-химические показатели необходимо принять в качестве факторов, определяющих рациональное время технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой. При максимальном содержании каучука битум, модифицированный резиновой крошкой должен иметь максимальный интервал пластичности.

Действительно, из представленных выше зависимостей только три имеют (в случае экстраполяции должны иметь) экстремум: зависимости температуры размягчения по «Кольцу и шару», температуры размягчения по «Кольцу и шару» после прогрева и температуры хрупкости по Фраасу от времени технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой. Две из них, а именно зависимости температуры размягчения по «Кольцу и шару» и температуры хрупкости по Фраасу от времени технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой, определяют интервал пластичности вяжущего, а, значит, по зависимости интервала пластичности можно определить оптимальное время процесса совмещения резиновой крошки с пластифицируемым битумом. Данная зависимость представлена на рис. 5.

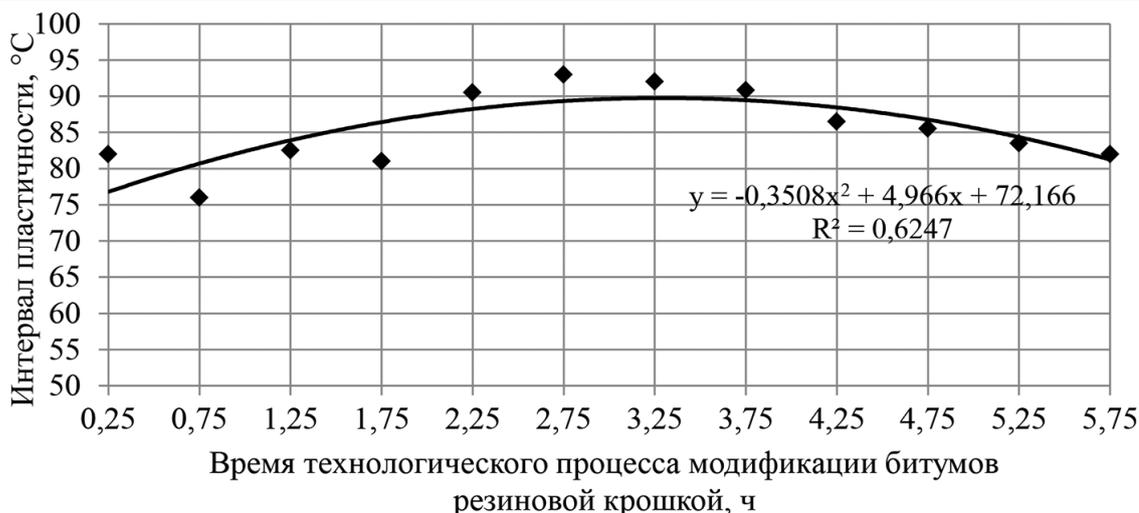


Рис. 5. Зависимость интервала пластичности битума модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 5. Dependence of the plasticity interval of bitumen modified with crumb rubber, on the time of the technological process at a temperature of 230°C

Анализ зависимости, представленной на рис.5, показывает, что при заданных факторах эксперимента оптимальное время технологического процесса модификации битума резиновой крошкой, составляет 3,25 часа. Изменение времени в большую или меньшую стороны ведет к снижению интервала пластичности модифицированного битума, однако это изменение незначительно. Если принять, что допустимое снижение интервала пластичности битума, модифицированного резиновой крошкой, по сравнению с экстремумом может составлять 5% (в соответствии с результатами представленного эксперимента это 4,5°C), то можно получить допустимый интервал времени технологического процесса совмещения резиновой крошки с пластифицированным битумом. В представленном случае это 3,25±1,5 часа.

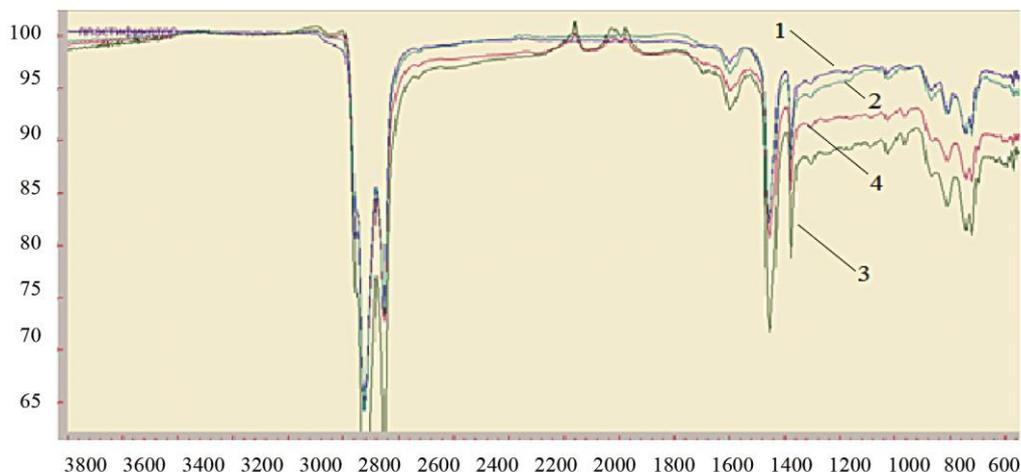
Таким образом, эффективность технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой достигает наибольшего значения при температуре 230±5°C, при этом рекомендуемая длительность должна составлять 3,25±1,5 часа.

2. Оценка структуры битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе.

Битумы представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов нефтяного происхождения, в том числе нафтеновых (C_nH_{2n}), ароматических (C_nH_{2n-6}) и метановых (C_nH_{2n+2}) рядов, а также их производных, содержащих кислород, серу, азот и комплексные соединения металлов. Оценка структурно-группового состава битумов производилась методом инфракрасной спектроскопии (ИК) на сканирующем электронном микроскопе JSM 6480 LV. Сравнение ИК-спектров битума, модифицированного резиновой крошкой, при двухстадийном технологическом процессе и одностадийном технологическом процессе, относительно исходного битума и масла-пластификатора, показал идентичность расположения пиков, за исключением пиков, входящих в интервал от 1950 до 2300 см⁻¹ (рис. 6).

В результате проведенных исследований все образцы показали наличие пиков, характерных для битумных вяжущих в области от 2750 до 2900 см⁻¹. Указанные полосы всегда присутствуют в спектрах предельных углеводородов, парафинов, масел.

Также стоит отметить наличие характерной группы пиков в области от 790 до 910 см⁻¹ – признак наличия ароматических структур. Полоса 1600 см⁻¹ характеризует валентные колебания непредельных С=С связей, как правило, циклического строения.



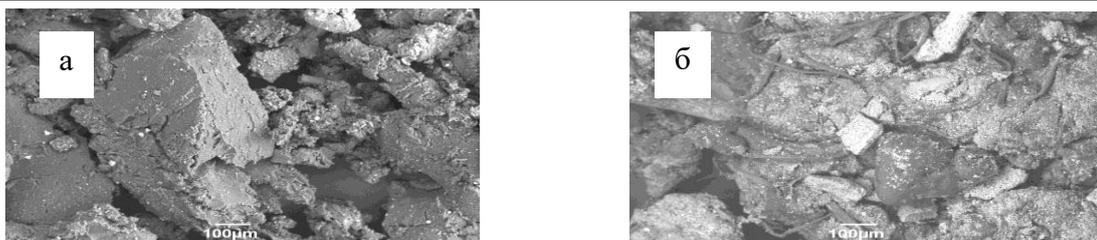
- 1 – ИК-спектр масла-пластификатора ПН-6Ш;
 - 2 – ИК-спектр исходного битума марки БНД 60/90;
 - 3 – ИК-спектр битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе;
 - 4 – ИК-спектр битума, модифицированного резиновой крошкой при одностадийном технологическом процессе.
- 1 - IR spectrum of PN-6Sh oil-plasticizer;
 - 2 - IR spectrum of the original bitumen grade BND 60/90;
 - 3 - IR spectrum of bitumen modified with crumb rubber in a two-stage technological process;
 - 4 - IR spectrum of bitumen modified with crumb rubber in a one-stage technological process.

Рис. 6. ИК-спектры битумов, модифицированных резиновой крошкой при одностадийном и двухстадийном технологическом процессе, исходного битума марки БНД 60/90 и масла-пластификатора ПН-6Ш

Fig. 6. IR spectra of bitumen modified with crumb rubber in a one-stage and two-stage technological process, initial bitumen grade BND 60/90 and plasticizer oil PN-6Sh

Анализ приведенных спектров указывает на повышенное содержание в модифицированном битуме высокомолекулярных асфальтенов с некоторым увеличением структурирующих смол, так как наблюдается усиление полос поглощения карбонильной группы при 1590 см^{-1} . Очевидная особенность отличительных характеристик пиков наблюдается в интервале от 1950 до 2190 см^{-1} для битума, модифицированного резиновой крошкой при одно- и двухстадийном технологическом процессе, которое соответствует наличию в модифицированном битуме каучуковых соединений.

Таким образом, изменение физико-химических свойств битумов, модифицированных резиновой крошкой обусловлено, вероятнее всего, формированием в них дисперсного каркаса из-за частичной деструкции резиновой крошки. Принципиальных отличий между битумами, модифицированными резиновой крошкой, при одностадийном и двухстадийном технологическом процессе, при помощи ИК-спектроскопии не выявлено, следовательно, для обоснования изменения физико-химических и технологических свойств необходимы дополнительные методы исследования. Поскольку битум, модифицированный резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе является гетерогенной системой, необходимо было выяснить каким образом резиновая крошка контактирует с дисперсионной средой (битумом и маслом-пластификатором). Для этого с помощью электронного сканирующего микроскопа фирмы Jeol JSM-6390 LA были получены снимки поверхности резиновой крошки (рис. 7, 8). На рис. 7 можно отчетливо наблюдать, что резиновая крошка после термомеханической обработки претерпела значительные изменения в плане реорганизации своего внешнего состояния. Ожидается она под воздействием высокой температуры оплавилась по краям, разрозненные частицы частично слиплись между собой. При максимальном увеличении (рис.8) можно отчетливо наблюдать, что поверхность резиновых частиц имеет мельчайшие выпуклости, которые обуславливают их развитую удельную поверхность, а, следовательно, и более тесное контактирование поверхности резиновой крошки с компонентами битума.

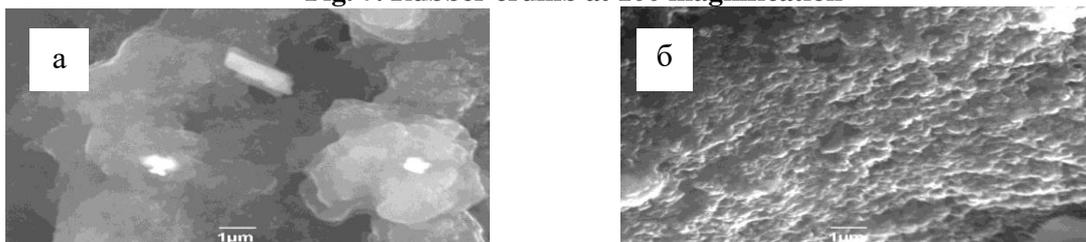


а – до термомеханической обработки, б – после термомеханической обработки

Рис.7. Резиновая крошка при 100 кратном увеличении

a - before thermomechanical treatment, b - after thermomechanical treatment

Fig. 7. Rubber crumb at 100 magnification



а – до термомеханической обработки, б – после термомеханической обработки

Рис. 8. Резиновая крошка при 10000 кратном увеличении

a - before thermomechanical treatment, b - after thermomechanical treatment

Fig. 8. Rubber crumb at 10000 magnification

В соответствии с физико-химическими представлениями, положенные П.А. Ребиндером [25], развитая удельная поверхность обеспечивает повышенную температурную устойчивость и эластичность битумов, модифицированных резиновой крошкой, что справедливо даже в тех случаях, когда факторы технологического процесса не оптимальны.

3. Сравнение физико-химических свойств битумов, модифицированных различной резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, с аналогами. Для оценки степени изменения физико-химических свойств битумов, модифицированных резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, произведено сравнение их показателей с существующими аналогами. Результаты выполненной оценки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение свойств битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, с аналогами

Table 2. Comparison of the properties of bitumen modified with crumb rubber in a two-stage technological process with analogs

Вязущее Astringent	Физико-химические свойства Physicochemical characteristics									
	П25	П0	Д25	Д0	Э25	Э0	КиШ	Хр	ΔКиШ	ΔМ
РБВ на РК ЛА	57	25	10,3	8,0	85	78	68	-25,0	-1	0,59
РБВ на РК ГМ	62	27	12	7,1	82	52	67	-23,0	-1	0,75
БРК-ИГУ	-	-	-	-	-	-	62	-23,0	-	-
БИТРЭК 70	70	-	-	5	-	50	60	-20,0	-	-

Примечание:

- РБВ на РК ЛА – битум, модифицированный резиновой крошкой (полученной при переработки шин от легковых автомобилей) при двухстадийном технологическом процессе при двухстадийной технологии ее введения;
- РБВ на РК ГМ – битум, модифицированный резиновой крошкой (полученной при переработки шин от горнодобывающих машин) при двухстадийном технологическом процессе при двухстадийной технологии ее введения;
- БРК-ИГУ – битумно-резиновая композиция Иркутского государственного университета;
- БИТРЭК – битумнорезиновый экологически чистый композиционный материал.

Note:

- RBV on RK LA - bitumen modified with rubber crumb (obtained by processing tires from passenger cars) in a two-stage technological process with a two-stage technology of its introduction;
- RBV at RK GM - bitumen modified with crumb rubber (obtained by processing tires from mining machines) in a two-stage technological process with a two-stage technology of its introduction;
- BRK-IGU - bitumen-rubber composition of Irkutsk State University;
- BITREK is an environmentally friendly bitumen-rubber composite material.

Несмотря на то, что в открытых источниках [26,27] физико-химические свойства образцов представлены не в полном объеме, заметна разница в улучшении показателей у битума, модифицированном резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, относительно известных аналогов, что проявляется в повышении на 8-14 % интервала пластичности. В свою очередь, стоит отметить, что резиновая крошка, полученная из различных резинотехнических изделий, не оказывает существенного влияния на изменение свойств битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе.

Вывод. Таким образом, исходя из вышеупомянутого можно сделать следующие выводы:

Эффективность модификации битумов резиновой крошкой достигает наибольшего значения (повышение температуры размягчения по методу «Кольцо и шар до 68°C, понижение температуры хрупкости до минус 25°C, рост эластичности до 85 %) при двухстадийном технологическом процессе, заключающемся в получении на первой стадии при температуре 230±5°C и продолжительности процесса 3,25±1,5 часа концентрированной суспензии резинобитумного композита, а на второй – модифицированного вяжущего, при этом увеличение числа стадий введения резиновой крошки дополнительного положительного эффекта не дает.

Битум, модифицированный резиновой крошкой при двухстадийном процессе, имеет качество сцепления в среднем на 1 балл выше по сравнению с исходным битумом не зависимо от происхождения горной породы, что обусловлено повышенной механической и адсорбционной адгезией.

Двухстадийный технологический процесс модификации битумов резиновой крошкой способствует повышению гомогенности системы и формированию дисперсного каркаса, армирующего вяжущее, что в целом обуславливает получение вяжущего, обладающего улучшенными физико-химическими характеристиками.

Частицы резиновой крошки придают повышенную температурную устойчивость и эластичность модифицированным битумам посредством мельчайших выпуклостей на поверхности частиц.

Библиографический список:

1. Вольфсон С. И. Использование модифицированного дорожного битума в асфальтобетонах и щебеночно-мастичных асфальтобетонах / С. И. Вольфсон // Вестник технологического университета. – 2016. – № 17. – С. 37-40.
2. Вольфсон С. И. Модификация битумов, как способ повышения их эксплуатационных свойств / С. И. Вольфсон. и др. // Вестник технологического университета. – 2016. – № 17. – С. 29-33.
3. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Макаров Д.Б., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Наномодифицированные битумные вяжущие для асфальтобетона // Жилищное строительство. 2010. № 10. С. 34-35
4. Минхаирова А.И., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хозин В.Г., Хакимуллин Ю.Н. Модификация дорожных битумов смесевыми термоэластопластами // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 17. С. 120-122.
5. Мурафа А.В. Битумно-резиновые вяжущие строительного назначения. Учебное пособие / А. В. Мурафа, Д. А. Аюпов, В. Г. Хозин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Казанский гос. архитектурно-строит. ун-т. Казань, 2012.
6. Пузакова Е.В., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Хакимуллин Ю.Н., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хозин В.Г. Влияние состава термоэластопластов на свойства модифицированных битумов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 1. С. 120-121.
7. Makarov D., Ayupov D., Murafa A., Khozin V. Compatibility studies of mixed thermoplastic rubber with road bitumen // Open Civil Engineering Journal. 2014. Т. 8. № 1. С. 124-129.
8. Ayupov D., Makarov D., Murafa A., Khozin V., Khakimullin Y., Sundukov V., Khakimov A., Gizatullin B. Modular mobility investigation of polymer binder bitumen // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Advanced Materials in Construction and Engineering. Сер. "International Scientific Conference of Young Scientists: Advanced Materials in Construction and Engineering, TSUAB 2014" 2015. С. 012003.
9. Ярцев В. П. Эксплуатационные свойства и долговечность битумно-полимерных композитов / В. П. Ярцев, А. В. Ерофеев. – Тамбов : ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2014. – 80 с.
10. Ерофеев В. Т. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность) / В. Т. Ерофеев, Ю. М. Баженов, Ю. И. Калгин. – Саранск : ФГБОУ ВПО "МГСУ", 2009. – 276 с.
11. Ликомаскин А. И. Модифицированные битумы / А. И. Ликомаскин, Л. С. Яушева, В. Т. Ерофеев. // III Республиканская научно-практическая конференция «Наука и инновации в республике Мордовия». – 2004. – С. 168-174.
12. Ерофеев В. Т. Исследование реологических свойств модифицированного битума / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова. // Вестник МГСУ. – 2016. – № 8. – С. 48-63.
13. Калгин Ю. И. Разработка и исследование литого асфальтобетона на битумно-каучуковом вяжущем / Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев. // Строительные материалы. – 2007. – № 1. – С. 60-63.
14. Аюпов Д. А. Модифицированные битумные вяжущие строительного назначения / Д. А. Аюпов. и др. // Строительные материалы. – 2009. – № 8. – С. 50-52.

15. Шестаков Н.И. Модифицированные асфальтобетон с углеродными нанодобавками: Дис. канд. техн. наук: 05.23.05. – Улан-Удэ, 2015. – 132 с.
16. Буренина О. Н. Разработка модифицированных асфальтобетонных смесей для строительства автомобильных дорог в условиях севера / О. Н. Буренина, Л. А. Николаева, В. Е. Копылов. // Дороги и мосты. – 2013. – № 29. – С. 205-211.
17. Битуев А. В. Получение вяжущих для дорожного строительства на основе нефтяных остатков и ископаемых углей / А. В. Битуев, Ю. Ю. Пономарева. // Вестник ВСГУТУ. – 2012. – № 3. – С. 76-81.
18. Абдуллин А. И. Битумные вяжущие / А. И. Абдуллин. и др. – Казань : КНИТУ, 2012. – 100 с.
19. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия [Текст] / Госстандарт СССР. М., 1996.
20. Вяжущие и резиноасфальтобетоны БИТРЕК. Опыт применения / ООО НПГ «ИНФОТЕХ». М. 2014. 20 с.
21. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2013. — 55с.
22. Новые материалы в дорожном строительстве: Учеб. пособие / В.А. Веренко. Мн.: УП «Технопринт», 2004. 170 с.
23. Андриади Ю.Г. Комплексно модифицированное полимерно-битумное вяжущее для верхних слоев асфальтобетонных покрытий: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Ростов-на-Дону, 1999. – 156 с.
24. Бегункова Н.И. Исследование применения отходов производства полимеров в качестве улучшающих добавок в асфальтобетоне//Тр./Гос. всесоюз. дор. НИИ. - 1977. – Вып. 99. – С.102-109.
25. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика / П. А. Ребиндер. – М. : Знание, 1958. – 63 с.
26. Никольский, В. Г. "Унирем" и другие модификаторы / В. Г. Никольский. и др. // Автомобильные дороги. – 2010. – № 3. – С. 28-29.
27. Битумнорезиновые экологически чистые композиционные материалы битрэк [Электронный ресурс] // bitrack.ru – Режим доступа: <http://www.bitrack.ru>. – Загл. с экрана.

References:

1. Volfson S. I. Ispol'zovaniye modifitsirovannogo dorozhnogo bituma v asfal'tobetonakh i shchebenochno-mastichnykh asfal'tobetonakh / S. I. Volfson // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2016. – № 17. – S. 37-40. [Wolfson SI The use of modified road bitumen in asphalt concrete and crushed stone-mastic asphalt concrete / SI Wolfson // Bulletin of the Technological University. 2016. No. 17. pp. 37-40. (In Russ)]
2. Volfson S. I. Modifikatsiya bitumov, kak sposob povysheniya ikh ekspluatatsionnykh svoystv / S. I. Volfson. i dr. // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2016. – № 17. – S. 29-33. [Wolfson SI Modification of bitumen as a way of increasing their operational properties / SI Wolfson. et al. // Bulletin of the Technological University. 2016. No. 17. pp 29-33. (In Russ)]
3. Ayupov D.A., Murafa A.V., Makarov D.B., Khakimullin YU.N., Khozin V.G. Nanomodifitsirovannyye bitumnyye vyazhushchiye dlya asfal'tobetona // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2010. № 10. S. 34-35 [Ayupov D.A., Murafa A.V., Makarov D.B., Khakimullin Yu.N., Khozin V.G. Nanomodified bituminous binders for asphalt concrete // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2010. No. 10. pp. 34-35. (In Russ)]
4. Minkhairova A.I., Zakirova L.YU., Volfson I.S., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G., Khaki-mullin YU.N. Modifikatsiya dorozhnykh bitumov smesevymi termoelastoplastami // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012. T. 15. № 17. S. 120-122. [Minkhairova A.I., Zakirova L. Yu., Wolfson I.S., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G., Khaki-mullin Yu.N. Modification of road bitumen with mixed thermoplastic elastomers // Bulletin of Kazan Technological University. 2012. T. 15.No. 17. pp. 120-122. (In Russ)]
5. Murafa A.V. Bitumno-rezinovyye vyazhushchiye stroitel'nogo naznacheniya. Uchebnoye posobiye / A. V. Murafa, D. A. Ayupov, V. G. Khozin ; M-vo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Kazanskiy gos. arkhitekturno-stroitel'nyy un-t. Kazan', 2012. [Murafa A.V. Bitumen-rubber binders for construction purposes. Textbook / A. V. Murafa, D. A. Ayupov, V. G. Khozin; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Kazan State architectural and building. un-t. Kazan, 2012. (In Russ)]
6. Puzakova Ye.V., Zakirova L.YU., Volfson I.S., Khakimullin YU.N., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G. Vliyaniye sostava termoelastoplastov na svoystva modifitsirovannykh bitumov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. T. 16. № 1. S. 120-121. [Puzakova E.V., Zakirova L. Yu., Wolfson I.S., Khakimullin Yu.N., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G. Influence of the composition of thermoplastic elastomers on the properties of modified bitumen // Bulletin of Kazan Technological University. 2013. T. 16.No. 1. pp. 120-121. (In Russ)]
7. Makarov D., Ayupov D., Murafa A., Khozin V. Compatibility studies of mixed thermoplastic rubber with road bitumen // Open Civil Engineering Journal. 2014. T. 8.No. 1. pp. 124-129.
8. Ayupov D., Makarov D., Murafa A., Khozin V., Khakimullin Y., Sundukov V., Khakimov A., Gizatullin B. Modular mobility investigation of polymer binder bitumen // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Advanced Materials in Construction and Engineering, Ser. "International Scientific Conference of Young Scientists: Advanced Materials in Construction and Engineering, TSUAB 2014" 2015.S. 012003.
9. Yartsev V. P. Ekspluatatsionnyye svoystva i dolgovechnost' bitumno-polimernykh kompozitov / V. P. Yartsev, A. V. Yerofeyev. – Tambov : FGBOU VPO "TGTU", 2014. – 80 с. [Yartsev VP Operational properties and durability of bitumen-polymer composites / VP Yartsev, AV Erofeev. - Tambov: FGBOU VPO "TSTU", 2014. 80 p. (In Russ)]
10. Yerofeyev V. T. Dorozhnyye bitumomineral'nyye materialy na osnove modifitsirovannykh bitumov (tekhnologiya, svoystva, dolgovechnost') / V. T. Yerofeyev, YU. M. Bazhenov, YU. I. Kalgin. – Saransk : FGBOU VPO "MGCU", 2009. – 276 с. [Erofeev VT Road bitumen-mineral materials based on modified bitumen (technology, properties, durability) / VT Erofeev, Yu. M. Bazhenov, Yu. I. Kalgin. - Saransk: FSBEI HPE "MGSU", 2009. 276 p. (In Russ)]
11. . Likomaskin A. I. Modifitsirovannyye bitумы / A. I. Likomaskin, L. S. Yausheva, V. T. Yerofeyev. // III Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauka i innovatsii v respublike Mordoviya». – 2004. – S. 168-174. [Likomaskin A. I. Modified bitumens / A. I. Likomaskin, L. S. Yausheva, V. T. Erofeev. // III Republican scientific-practical conference "Science and innovation in the Republic of Mordovia." 2004 pp. 168-174. (In Russ)]

12. Yerofeyev V. T. Issledovaniye reologicheskikh svoystv modifitsirovannogo bituma / V. T. Yerofeyev, A. I. Sal'nikova. // Vestnik MGSU. – 2016. – № 8. – S. 48-63. [Erofeev VT Research of rheological properties of modified bitumen / VT Erofeev, AI Salnikova. // Bulletin of MGSU. 2016. No. 8. pp. 48-63. (In Russ)]
13. Kalgin YU. I. Razrabotka i issledovaniye litogo asfal'tobetona na bitumno-kauchukovom vyazhu-shchem / YU. I. Kalgin, V. T. Yerofeyev. // Stroitel'nyye materialy. – 2007. – № 1. – S. 60-63. [Kalgin Yu. I. Development and research of cast asphalt concrete based on bitumen-rubber binding / Yu. I. Kalgin, VT Erofeev. // Construction Materials. 2007. No. 1. pp. 60-63. p (In Russ)]
14. Ayupov D. A. Modifitsirovannyye bitumnyye vyazhushchiye stroitel'nogo naznacheniya / D. A. Ayupov. i dr. // Stroitel'nyye materialy. – 2009. – № 8. – S. 50-52. [Ayupov DA Modified bituminous binders for construction purposes / DA Ayupov. etc. // Building materials. - 2009. No. 8. pp. 50-52. (In Russ)]
15. Shestakov N.I. Modifitsirovannyye asfal'tobeton s uglerodnymi nanodobavkami: Dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.05. – Ulan-Ude, 2015. – 132 s [Shestakov N.I. Modified asphalt concrete with carbon nanoadditives: Dis. Cand. tech. Sciences: 05.23.05. - Ulan-Ude, 2015. 132 p. (In Russ)]
16. Burenina O. N. Razrabotka modifitsirovannykh asfal'tobetonnykh smesey dlya stroitel'stva avtomobil'nykh dorog v usloviyakh severa / O. N. Burenina, L. A. Nikolayeva, V. Ye. Kopylov. // Dorogi i mosty. – 2013. – № 29. – S. 205-211. [Burenina ON Development of modified asphalt concrete mixtures for the construction of highways in the north / ON Burenina, LA Nikolaeva, VE Kopylov. // Roads and bridges. 2013. No. 29.pp. 205-211. (In Russ)]
17. Bituyev A. V. Polucheniye vyazhushchikh dlya dorozhnogo stroitel'stva na osnove neftnykh ostatkov i iskopyemykh ugley / A. V. Bituyev, YU. YU. Ponomareva. // Vestnik VSGUTU. – 2012. – № 3. – S. 76-81. [Bituev A. V. Obtaining binders for road construction based on oil residues and fossil coal / A. V. Bituev, Yu. Yu. Ponomareva. // Bulletin of VSGUTU. 2012. No. 3. pp. 76-81. In Russ]]
18. Abdullin A. I. Bitumnyye vyazhushchiye / A. I. Abdullin. i dr. – Kazan' : KNITU, 2012. – 100 c. [Abdullin A. I. Bituminous binders / A. I. Abdullin. and others - Kazan: KNITU, 2012 . 100 p.. (In Russ)]
19. GOST 22245-90. Bitumny neftnyye dorozhnyye vyazkiye. Tekhnicheskiye usloviya [Tekst] / Gosstandart SSSR. – M., 1996. [GOST 22245-90. Viscous oil road bitumens. Specifications [Text] / Gosstandart of the USSR. M., 1996. (In Russ)]
20. Vyazhushchiye i rezinoasfal'tobeton BITREK. Opyt primeneniya / OOO NPG «INFOTEKH». – М. – 2014. – 20 s. [Binding and rubber-asphalt concrete BITREK. Application experience / LLC NPG "INFOTECH". - М. – 2014. – 20 p. (In Russ)]
21. GOST 9128-2013 Smesi asfal'tobetonnyye, polimerasfal'tobetonnyye, asfal'tobeton, polime-rasfal'tobeton dlya avtomobil'nykh dorog i aerodromov. Tekhnicheskiye usloviya. — Moskva: Standartin-form, 2013. — 55s. [GOST 9128-2013 Mixes asphalt concrete, polymer asphalt concrete, asphalt concrete, polymer-asphalt concrete for highways and airfields. Technical conditions. - Moscow: Standartin-form, 2013. -- 55p. . (In Russ)]
22. Novyye materialy v dorozhnom stroitel'stve: Ucheb. posobiye / V.A. Veren'ko. – Mn.: UP «Tekhno-print», 2004. – 170 s. [New materials in road construction: Textbook. allowance / V.A. It's true. - Minsk: Unitary Enterprise "Tekhno-print", 2004. 170 p. (In Russ)]
23. Andriadi YU.G. Kompleksno modifitsirovannoye polimerno-bitumnoye vyazhushcheye dlya verkhnikh sloyev asfal'tobetonnykh pokrytiy: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. – Rostov-na-Donu, 1999. – 156 s. [Andriadi Yu.G. Complex modified polymer-bitumen binder for the upper layers of asphalt concrete pavements: Dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.23.05. - Rostov-on-Don, 1999 . 156 p. (In Russ)]
24. Begunkova N.I. Issledovaniye primeneniya otkhodov proizvodstva polimerov v kachestve uluchsha-yushchikh dobavok v asfal'tobeton/Tr./Gos. vsesoyuz. dor. NII. - 1977. – Vol. 99. – S.102-109 [N. I. Begunkova Investigation of the use of waste products from polymer production as improving additives in asphalt concrete // Tr. / State. all-union. dor. Research Institute. 1977. Issue. 99. pp.102-109. (In Russ)]
25. Rebinder P. A. Fiziko-khimicheskaya mekhanika / P. A. Rebinder. – M. : Znaniye, 1958. – 63 c. [Rebinder P. A. Physical and chemical mechanics / P. A. Rebinder. M.: Knowledge, 1958 . 63 p. (In Russ)]
26. Nikol'skiy, V. G. "Unirem" i drugiye modifikatory / V. G. Nikol'skiy. i dr. // Avtomobil'nyye dorogi. – 2010. – № 3. – S. 28-29. [Nikolsky, V. G. "Unirem" and other modifiers / V. G. Nikolsky. et al. // Automobile roads. 2010. No. 3. pp. 28-29. (In Russ)]
27. Bitumnorezinovyye ekologicheski chistyye kompozitsionnyye materialy bitrek [Elektronnyy resurs] // bitrack.ru – Rezhim dostupa: <http://www.bitrack.ru>. – Zagl. s ekrana. [Bitumen-rubber ecologically pure composition materials bitrek [Electronic resource] // bitrack.ru - Access mode: <http://www.bitrack.ru>. - Title from the screen. (In Russ)]

Сведения об авторе:

Иванов Сергей Александрович, старший преподаватель; e-mail: isa.ad@kuzstu.ru

Information about author:

Sergei A. Ivanov, Senior Lecturer; e-mail: isa.ad@kuzstu.ru

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.04.20

Принята в печать 17.05.2020.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 21.04.2020.

Accepted for publication 17.05.2020.

Для цитирования: А.П. Лапина, И.М. Зотов, А.С. Чепурненко, Б.М. Языев. Расчет вязкоупругих стержней некруглого поперечного сечения на свободное кручение. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (2):144-152. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-144-152

For citation: A.P. Lapina, I.M. Zotov, A.S. Chepurnenko, B.M. Yaziev. Calculation of viscoelastic rods of non-circular cross section for free torsion. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(2):144-152. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-144-152

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624. 04

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-144-152

РАСЧЕТ ВЯЗКОУПРУГИХ СТЕРЖНЕЙ НЕКРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА СВОБОДНОЕ КРУЧЕНИЕ

А.П. Лапина, И.М. Зотов, А.С. Чепурненко, Б.М. Языев

*Донской государственный технический университет,
344002, г. Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, Россия*

Резюме. Цель. В статье представлен вывод разрешающего уравнения для определения напряженно-деформированного состояния стержня некруглого поперечного сечения при кручении с учетом ползучести материала. **Метод.** Решение базируется на гипотезах, введенных Сен-Венаном при рассмотрении упругого стержня. Окончательно задача сводится к дифференциальному уравнению второго порядка относительно функции напряжений. Решение данного уравнения выполняется методом конечных элементов в комбинации с методом Эйлера. **Результат.** В работе представлены разрешающие уравнения для треугольного конечного элемента. Приведено решение тестовой задачи для полимерного стержня прямоугольного поперечного сечения, материал которого подчиняется нелинейному уравнению Максвелла-Гуревича. Представлены графики изменения во времени относительного угла закручивания, а также максимальных величин касательных напряжений. **Вывод.** Установлено, что напряжения в стержне непостоянны во времени. Касательные напряжения в стержне в процессе ползучести сначала убывают с последующим возвратом к упругому решению.

Ключевые слова: ползучесть, кручение, депланация, метод конечных элементов, уравнение Пуассона

CALCULATION OF VISCOELASTIC RODS OF NON-CIRCULAR CROSS SECTION FOR FREE TORSION

A.P. Lapina, I.M. Zotov, A.S. Chepurnenko, B.M. Yaziev

*Don State Technical University,
1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344002, Russia*

Abstract. Aim. The article aims to present a solution to a resolving equation for determining the stress-strain state of a rod of non-circular cross-section under torsion, taking into account the material creep. **Methods.** The solution is based on the hypotheses introduced by Saint-Venant when considering an elastic rod. Finally, the problem is reduced to a second-order differential equation in terms of the stress function. The solution of this equation is performed using the finite element method in combination with the Euler method. **Results.** The work presents resolving equations for a triangular finite element. The solution of a test problem for a polymer rod of rectangular cross-section is given, the material of which adheres to the nonlinear Maxwell-Gurevich equation. Graphs of changes in time of the relative twisting angle, as well as the maximum values of tangent stresses, are presented. **Conclusion.** It is established that the stresses in the rod are not constant over time. The tangent stresses in the rod during creep initially decrease followed by a return to the elastic solution.

Keywords: creep, torsion, deplanation, finite element method, Poisson equation

Введение. Решение задачи о свободном кручении упругого стержня произвольного поперечного сечения было получено Сен-Венаном [1].

Постановка задачи. В настоящей статье рассмотрим данную задачу с учетом ползучести материала. Расчетная схема представлена на рис. 1.

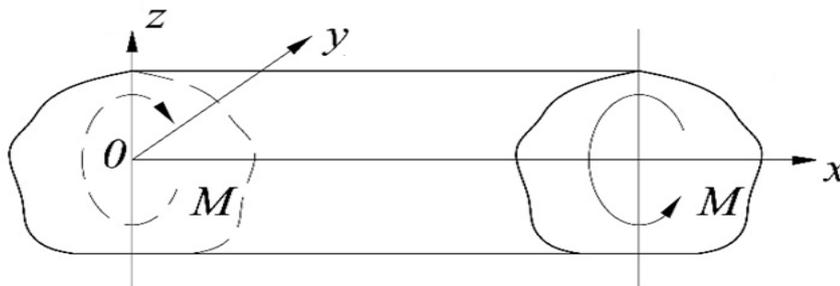


Рис.1. Расчетная схема
Fig. 1. Calculation scheme

При решении будем использовать допущения, введенные Сен-Венаном:

1. Для перемещений v и w в плоскости Oyz справедливы те же соотношения, что и при кручении стержней круглого поперечного сечения[2]:

$$v = -\vartheta xz; w = \vartheta xy, \quad (1)$$

где $\vartheta = \frac{d\theta}{dx}$ – относительный угол закручивания.

2. Величина деформации пропорциональна относительному углу закручивания ϑ , т.е.

$$u = \vartheta \psi(y, z). \quad (2)$$

Вывод разрешающих уравнений

Перемещения и деформации связаны соотношениями Коши [1]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = 0; \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} = 0; \\ \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = 0; \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = \vartheta \left(-z + \frac{\partial \psi}{\partial y} \right); \\ \gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = \vartheta \left(y + \frac{\partial \psi}{\partial z} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Связь между касательными напряжениями и деформациями сдвига с учетом ползучести записывается в виде:

$$\begin{aligned} \tau_{xy} = G(\gamma_{xy} - \gamma_{xy}^*) = G \left(\vartheta \left(-z + \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) - \gamma_{xy}^* \right); \\ \tau_{xz} = G(\gamma_{xz} - \gamma_{xz}^*) = G \left(\vartheta \left(y + \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) - \gamma_{xz}^* \right), \end{aligned} \quad (4)$$

где G – модуль сдвига, γ_{xy}^* и γ_{xz}^* – сдвиговые деформации ползучести.

Крутящий момент определяется следующим образом:

$$M_K = \int_A (\tau_{xz}y - \tau_{xy}z) dA, \quad (5)$$

где A – площадь поперечного сечения стержня.

Подставив (4) в (5), получим:

$$\begin{aligned} M_K = G\vartheta \int_A \left(y^2 + z^2 + \frac{\partial \psi}{\partial z} y - \frac{\partial \psi}{\partial y} z \right) dA + G \int_A (\gamma_{xy}^* z - \gamma_{xz}^* y) dA = \\ = \vartheta G I_K - M_K^*, \end{aligned} \quad (6)$$

где I_K – момент инерции при кручении, $M_K^* = G \int_A (-\gamma_{xy}^* z + \gamma_{xz}^* y) dA$.

Уравнения равновесия записываются в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где X, Y, Z – объемные силы. Подставив в третье уравнение (7) выражения для напряжений (4) при отсутствии объемных сил получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= G\vartheta \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) - G \left(\frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial z} \right) = 0; \\ \vartheta \nabla^2 \psi(y, z) &= \frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial y}. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, в отличие от упругой задачи, функция $\psi(y, z)$ не является гармонической функцией. Введем функцию напряжений $\Phi(y, z)$ по формулам:

$$\tau_{xy} = \frac{\partial \Phi}{\partial z}; \tau_{xz} = -\frac{\partial \Phi}{\partial y}. \quad (9)$$

Из равенств (4) и (9) получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial z} &= G \left(\vartheta \left(-z + \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) - \gamma_{xy}^* \right); \\ -\frac{\partial \Phi}{\partial y} &= G \left(\vartheta \left(y + \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) - \gamma_{xz}^* \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Исключим из (10) функцию ψ . Для этого первое равенство продифференцируем по y , а второе по x и вычтем из первого равенства второе:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} &= G \left(\vartheta \left(-1 + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y \partial z} \right) - \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z} \right); \\ -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} &= G \left(\vartheta \left(1 + \frac{\partial \psi}{\partial y \partial z} \right) - \frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y} \right); \\ \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} &= -2G\vartheta + G \left(\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z} \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Граничное условие на контуре для односвязных сечений имеет вид $\Phi = 0$ [2]. Крутящий момент связан с функцией Φ следующим образом [2]:

$$M_k = 2 \int_A \Phi dA. \quad (12)$$

Методы исследования. Перепишем третье равенство в (11) в следующем виде:

$$\nabla^2 \Phi(y, z) + 2G\vartheta - G \left(\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z} \right) = 0. \quad (13)$$

Расчет будем выполнять при помощи метода конечных элементов. Решение уравнения (13) удовлетворяет минимуму следующего функционала [3]:

$$\chi = \int_A \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 - G \left\{ 2\vartheta - \left(\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z} \right) \right\} \Phi \right] dA. \quad (14)$$

Интервал времени, на котором исследуется процесс ползучести, разбивается на n гов Δt . На каждом шаге по времени деформации ползучести принимаются постоянными. На первом этапе решается упругая задача при $t = 0, \gamma_{yz}^* = \gamma_{xz}^* = 0$.

Зная крутящий момент, можно определить величину относительного угла закручивания:

$$\vartheta = \frac{M_k}{GI_k}. \quad (15)$$

Далее величина ϑ подставляется в уравнение (13), и определяется функция Φ .

По функции Φ определяются касательные напряжения. Если закон ползучести задан в дифференциальной форме, то, зная величины напряжений, можно определить скорости роста деформаций ползучести $\frac{\partial \gamma_{yz}^*}{\partial t}$ и $\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial t}$. Деформации γ_{yz}^* и γ_{xz}^* в момент времени $t + \Delta t$ можно найти следующим образом:

$$\gamma_{t+\Delta t}^* = \gamma_t^* + \frac{\partial \gamma^*}{\partial t} \Delta t. \quad (16)$$

Определив величины γ_{xz}^* и γ_{yz}^* , можно путем численного интегрирования найти величину M_k^* . Далее определяется относительный угол закручивания ϑ :

$$\vartheta = \frac{M_k + M_k^*}{GI_k}. \quad (17)$$

Затем все перечисленные выше операции повторяются для момента времени $t + \Delta t$.

Построение системы уравнений МКЭ рассмотрим на примере треугольного конечного элемента, изображенного на рис. 2.

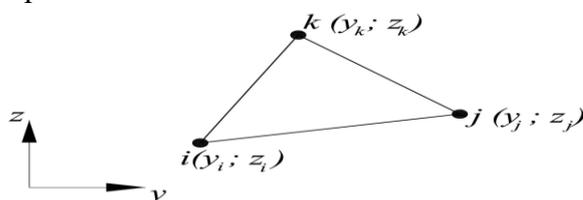


Рис.2 . Используемый конечный элемент
 Fig. 2. End element used

Для функции Φ принимается следующая аппроксимация:

$$\Phi = N_i \Phi_i + N_j \Phi_j + N_k \Phi_k, \quad (18)$$

где N_i, N_j, N_k – функции формы.

$$N_i = \frac{1}{2A} (a_i + b_i y + c_i z), \quad (19)$$

где $A = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & y_i & z_i \\ 1 & y_j & z_j \\ 1 & y_k & z_k \end{vmatrix}$ – площадь конечного элемента, $a_i = y_j z_k - y_k z_j$

$$b_i = z_j - z_k, \quad c_i = y_k - y_j.$$

Функции N_j, N_k определяются по аналогии с N_i .

Выражения для коэффициентов $a_j, b_j, c_j, a_k, b_k, c_k$ можно получить циклической заменой индексов $i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow i$.

Градиент функции Φ можно записать в виде:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \frac{\partial N_k}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_j}{\partial z} & \frac{\partial N_k}{\partial z} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \Phi_k \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix} \{\Phi\}. \quad (20)$$

Первые два слагаемых в функционале (14) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial \Phi}{\partial y} \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right\} \begin{Bmatrix} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial z} \end{Bmatrix} = \\ &= \frac{1}{2} \{\Phi\}^T \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix} \{\Phi\}. \end{aligned} \quad (21)$$

Будем считать, что производные $\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y}$ и $\frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z}$ в пределах конечного элемента постоянны.

Тогда оставшаяся часть функционала (14) можно записать в виде:

$$\int_A G \left\{ 2\vartheta - \left(\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z} \right) \right\} \Phi dA = G \left\{ 2\vartheta - \left(\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z} \right) \right\} \int_A \Phi dA. \quad (22)$$

Интеграл в (19)(22) вычисляется следующим образом:

$$\int_A \Phi dA = \int_A \{N_i \quad N_j \quad N_k\} \{\Phi\} dA = \frac{A}{3} \{1 \quad 1 \quad 1\} \{\Phi\} = \frac{A}{3} \{\Phi\}^T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}. \quad (23)$$

Подставив (23)(23) в (22), а затем (22) и (21) в (14) и далее минимизировав функционал χ по вектору узловых значений функции Φ ($\frac{\partial \chi}{\partial \{\Phi\}} = 0$), получим систему линейных алгебраических уравнений:

$$[K] \{\Phi\} = \{P\}, \quad (24)$$

где $[K]$ – матрица жесткости, $\{P\}$ – вектор нагрузки.

$$[K] = \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix} \cdot A. \quad (25)$$

$$\{P\} = G \left\{ 2\vartheta - \left(\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z} \right) \right\} \frac{A}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}. \quad (26)$$

Производные от деформаций ползучести в элементе вычисляются по узловым значениям γ_{xz}^* и γ_{xy}^* :

$$\frac{\partial \gamma_{xz}^*}{\partial y} = [b_i \quad b_j \quad b_k] \begin{Bmatrix} \gamma_{xz,i}^* \\ \gamma_{xz,j}^* \\ \gamma_{xz,k}^* \end{Bmatrix}; \quad (27)$$

$$\frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial z} = [c_i \quad c_j \quad c_k] \begin{Bmatrix} \gamma_{xy,i}^* \\ \gamma_{xy,j}^* \\ \gamma_{xy,k}^* \end{Bmatrix}.$$

Касательные напряжения в элементах можно вычислить по формулам:

$$\tau_{xz} = -\frac{\partial \Phi}{\partial y} = -[b_i \quad b_j \quad b_k] \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \Phi_k \end{Bmatrix}; \quad (28)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\partial \Phi}{\partial z} = [c_i \quad c_j \quad c_k] \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \Phi_k \end{Bmatrix}.$$

Напряжения в узлах определяются по напряжениям в элементах следующим образом: для каждого узла суммируются напряжения в элементах, которым принадлежит узел, и затем полученное число делится на количество элементов, содержащих данный узел. Деформации ползучести в узлах определяются по напряжениям в узлах.

Обсуждение результатов. Был выполнен расчет стержня прямоугольного поперечного сечения размерами $b = 2$ см, $h = 4$ см из вторичного поливинилхлорида ($E = 1480$ МПа, $\nu = 0.3$), испытывающего действие крутящего момента $M_k = 10$ кН · см.

В качестве закона ползучести выбрано обобщенное уравнение Максвелла-Гуревича, имеющее вид [4]:

$$\frac{\partial \varepsilon_{ij}^*}{\partial t} = \frac{f_{ij}^*}{\eta^*}, \quad i = (x, y, z), j = (x, y, z), \quad (29)$$

где ε_{ij}^* – деформации ползучести, f_{ij}^* – функции напряжений, η^* – релаксационная вязкость.

$$f_{ij}^* = \frac{3}{2} (\sigma_{ij} - p \delta_{ij}) - E_\infty \varepsilon_{ij}^*; \quad (30)$$

$$\frac{1}{\eta^*} = \frac{1}{\eta_0^*} \exp\left(\frac{|f_{\max}^*|}{m^*}\right), \quad (31)$$

где η_0^* – начальная релаксационная вязкость, m^* – модуль скорости, E_∞ – модуль высокоэластичности.

Из формулы (29) видно, что релаксационная вязкость экспоненциально зависит от напряжений, что обуславливает нелинейность задачи.

Реологические параметры вторичного ПВХ приводятся в работах [5-7]: $E_\infty = 5990$ МПа, $m^* = 12.6$ МПа, $\eta_0^* = 9.06 \cdot 10^5$ МПа · мин.

В случае свободного кручения относительно оси x отличны от нуля только напряжения τ_{xz} и τ_{xy} . Уравнения (29) и (30) запишутся в виде:

$$\frac{\partial \varepsilon_{xz}^*}{\partial t} = \frac{f_{xz}^*}{\eta^*}; \quad \frac{\partial \varepsilon_{xy}^*}{\partial t} = \frac{f_{xy}^*}{\eta^*}; \quad (32)$$

$$f_{xz}^* = \frac{3}{2} \tau_{xz} - E_\infty \varepsilon_{xz}^*; \quad f_{xy}^* = \frac{3}{2} \tau_{xy} - E_\infty \varepsilon_{xy}^*.$$

В формулах (32) $\varepsilon_{xz}^* = \frac{1}{2} \gamma_{xz}^*$, $\varepsilon_{xy}^* = \frac{1}{2} \gamma_{xy}^*$.

На рис. 3 приведен график изменения во времени относительного угла закручивания. Можно показать, что для выбранного закона ползучести отношение углов закручивания при $t \rightarrow \infty$ и $t = 0$ равно отношению мгновенного и длительного модуля сдвига. Длительный модуль сдвига при использовании уравнения Максвелла-Гуревича определяется по формуле [8]:

$$G_{дл} = \frac{G \cdot G_\infty}{G + G_\infty}, \quad (33)$$

где $G_\infty = E_\infty/3$.

Отношение $G_{дл}/G$ для рассмотренного примера составило 1.285. Угол закручивания по результатам расчета вырос в 1.28 раз, что близко к указанному значению и свидетельствует о достоверности разработанной методики.

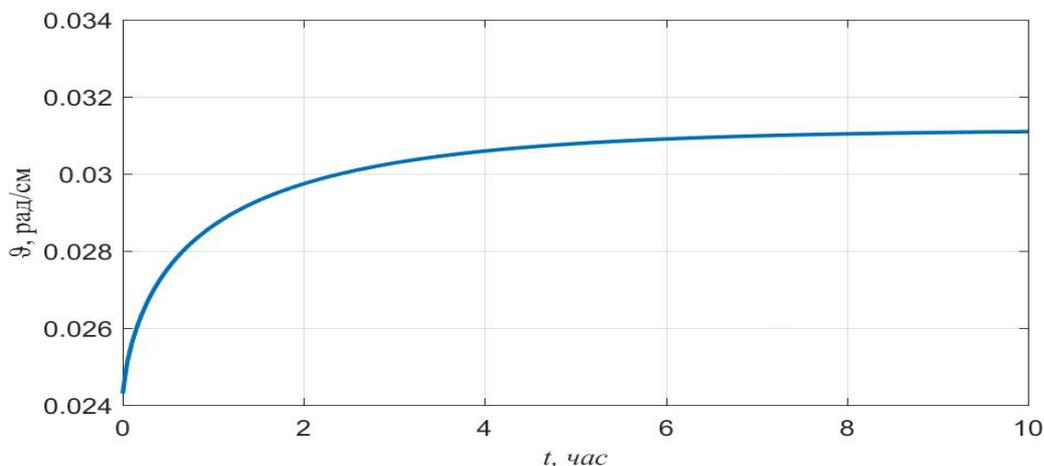


Рис.3. Изменение во времени относительного угла закручивания
Fig. 3. Time variation of the relative twist angle

На рис. 4 представлено изменение во времени наибольшей величины касательных напряжений τ_{xy} . Напряжения τ_{xy} принимают свое максимальное значение на серединах коротких сторон прямоугольника. Рис. 5 – то же для напряжений τ_{xz} , которые принимают максимальные значения на серединах длинных сторон.

Из рис. 4 и рис. 5 видно, что в начале процесса ползучести напряжения в стержне быстро убывают, и затем происходит возврат к упругому решению. Данный эффект связан с неустановившейся ползучестью.

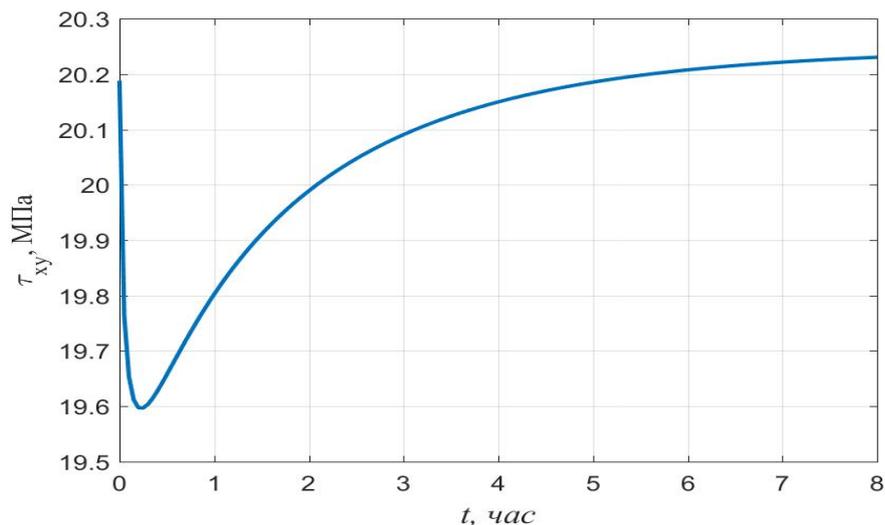


Рис.4. Изменение во времени наибольшей величины касательных напряжений τ_{xy}

Fig. 4. Time variation of the largest value of shear stresses τ_{xy}

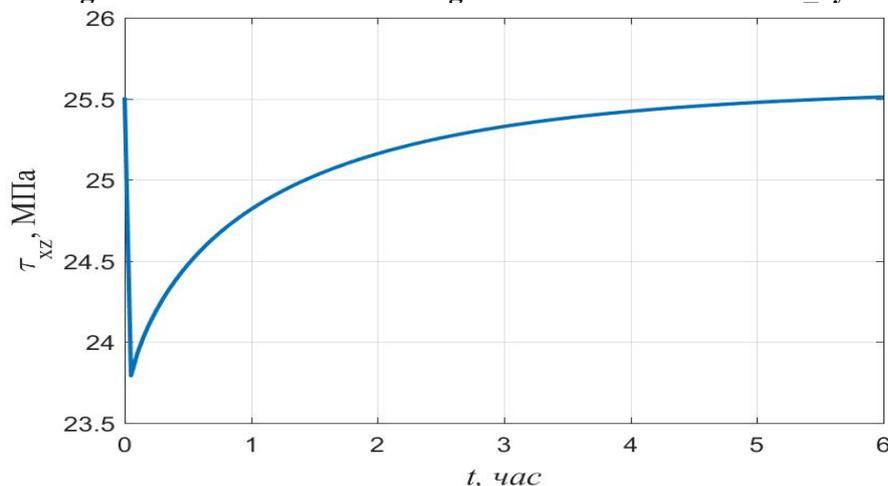


Рис. 5. Изменение во времени наибольшей величины касательных напряжений τ_{xz}

Fig. 5. Change in time of the largest value of shear stresses τ_{xz}

Ранее он был выявлен для полимерных пластин при изгибе и плоском напряженном состоянии в работах [9-12], а также в осесимметричных задачах для полимерных тел в статьях [13-20].

Вывод. Получено разрешающее уравнение относительно функции напряжений для определения напряженно-деформированного состояния стержней некруглого поперечного сечения при кручении с учетом вязкоупругости материала.

Представлена конечно-элементная реализация задачи. Приведено решение тестовой задачи, подтверждающее достоверность разработанной методики расчета.

Установлено, что касательные напряжения в стержне в процессе ползучести сначала убывают с последующим возвратом к упругому решению.

Библиографический список:

1. Самуль, В.И. Основы теории упругости и пластичности / В.И. Самуль. М.: Высшая школа, 1982. 264 с.
2. Варданян, Г.С. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности / Г.С. Варданян [и др.] — М.: Издательство АСВ, 2015. 568 с.
3. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. — М.: Мир, 1979. — 392 с.
4. Andreev, V.I. On the bending of a thin polymer plate at nonlinear creep / V. I. Andreev, B.M. Yazyev, A. S. Chepurenko // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 900. pp. 707-710.
5. Chepurenko, A.S. Determination of Rheological Parameters of Polyvinylchloride at Different Temperatures / A.S. Chepurenko, V.I. Andreev, A.N. Beskopylny, B.M. Jazyev // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 67. Article No. 06059.

6. Dudnik, A.E. Determining the rheological parameters of polyvinyl chloride, with change in temperature taken into account / A.E. Dudnik, A.S. Chepurnenko, S.V. Litvinov // *International Polymer Science and Technology*. 2017. Vol. 44. pp. 30-33.
7. Дудник, А.Е. Определение реологических параметров поливинилхлорида с учетом изменения температуры / А.Е. Дудник, А.С. Чепурненко, С.В. Литвинов // *Пластические массы*. 2016. № 1-2. С. 30-33.
8. Зотов, И.М. Расчет на устойчивость плоской формы изгиба балок прямоугольного сечения с учетом ползучести / И.М. Зотов, А.С. Чепурненко, С.Б. Языев // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2019. Т. 46 (1). С. 169-176.
9. Чепурненко, А. С. Моделирование реологических процессов в трехслойных плитах с пенополиуретановым наполнителем / А.С. Чепурненко, А.А. Савченко // *Пластические массы*. 2018. № 5-6. С. 24-27.
10. Андреев, В.И. Осесимметричный изгиб круглой гибкой пластинки при ползучести / В. И. Андреев, Б. М. Языев, А. С. Чепурненко // *Вестник МГСУ*. 2014. № 5. С. 16-24.
11. Савченко, А.А. Концентрация напряжений в вязкоупругой полимерной пластинке с отверстием / А.А. Савченко // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2017. №4. С. 44-47
12. Chepurnenko, A.S. Calculation for the Circular Plate on Creep Considering Geometric Nonlinearity / A.S. Chepurnenko, B.M. Yazyev, A.A. Savchenko // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. pp. 1680–1685.
13. Litvinov, S.V. Flat axisymmetrical problem of thermal creepage for thick-walled cylinder made of recyclable PVC / S.V. Litvinov, L.I.Trush, S.B.Yazyev// *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. С. 1686–1693.
14. Литвинов, С.В. Плоская деформация неоднородных многослойных цилиндров с учетом нелинейной ползучести / С.В. Литвинов, С.Б. Языев, С.Б. Языева // *Вестник МГСУ*. 2010. № 1. С. 128-132.
15. Литвинов, С.В. Моделирование термоползучести неоднородного толстостенного цилиндра в осесимметричной постановке / С.В. Литвинов, Л.И. Труш, А.Е. Дудник // *Инженерный вестник Дона*. —2016. — № 2.—URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3560>
16. Труш, Л.И. Оптимизация решения плоской задачи полимерного цилиндрического тела в термовязкоупругой постановке / Л.И. Труш, С.В. Литвинов, Е.Н. Пищереко, А.Е. Дудник // *Новые полимерные композиционные материалы Материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ и КБР, проф. Микитаева А.К.* 2017. С. 246-253.
17. Литвинов, С.В. Напряженно-деформированное состояние тел вращения в вязкоупругой постановке / С.В. Литвинов, Л.И. Труш, А.А.Аваков// *Строительство и архитектура-2017. Материалы научно-практической конференции*. 2017. С. 186-194.
18. Trush, L. Optimization of the solution of a plane stress problem of a polymeric cylindrical object in thermoviscoelastic statement / L. Trush, S. Litvinov, N. Zakieva, S. Bayramukov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 692. pp. 885-893.
19. Литвинов, С.В. Прогнозирование прочности адгезионного соединения в течение длительного периода времени / С.В. Литвинов, Л.И.Труш, Е.Н.Пищереко, А.А. Аваков // *Новые полимерные композиционные материалы МатериалыXIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ и КБР, проф. Микитаева А.К.* 2017. С. 162-167.
20. Litvinov, S. Forecasting the strength of an adhesive bond over a long period of time / S. Litvinov, A. Zhuravlev, S. Yazyev, S. Bajramukov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 692. Pp. 902-907.

References:

1. Samul', V.I. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* / V.I. Samul'. — М.: Vysshaya shkola, 1982. — 264 s. [V.I. Samul. *Osnovyteoriiuprugostiiplastichnosti* [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity]. М.: Vysshayashkola, 1982. 264 p. (In Russ)]
2. Vardanyan, G.S. *Soprotivleniye materialov s osnovami teorii uprugosti i plastichnosti* / G.S. Vardanyan [i dr.] — М.: Izdatel'stvo ASV, 2015. — 568 s. [G.S.Vardanyan, V.I. Andreev, N.M. Atarov, A.A. GorshkovSoprotivleniematerialov s osnovamiteoriiuprugostiiplastichnosti [Strength of materials with the basics of the theory of elasticity and plasticity]. М.: Izdatel'stvo ASV, 2015. 568 p. (In Russ)]
3. Segerlind, L. *Primeneniye metoda konechnykh elementov* / L. Segerlind. — М.: Mir, 1979. — 392 s [L. Segerlind. *Application of the finite element method* [Primeneniyemetodakonechnykh elementov]. М.: Mir, 1979.392 p. (In Russ)]
4. V. I. Andreev, B.M. Yazyev, A. S. Chepurnenko. On the bending of a thin polymer plate at nonlinear creep. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 900. pp. 707-710.
5. A.S. Chepurnenko, V.I. Andreev, A.N. Beskopylny, B.M. Jazyev. Determination of Rheological Parameters of Polyvinylchloride at Different Temperatures. *MATEC Web of Conferences*. 2016. Vol. 67. Article No. 06059.
6. A.E. Dudnik, A.S. Chepurnenko, S.V. Litvinov. Determining the rheological parameters of polyvinyl chloride, with change in temperature taken into account. *International Polymer Science and Technology*. 2017. Vol. 44. Pp. 30-33.
7. Dudnik, A.Ye. *Opredeleniye reologicheskikh parametrov polivinilkhlorida s uchetom izmeneniya temperatury* / A.Ye. Dudnik, A.S. Chepurnenko, S.V. Litvinov // *Plasticheskiye massy*. 2016. № 1-2. S. 30-33. [A.E. Dudnik, A.S. Chepurnenko, S.V. Litvinov. *Determination of rheological parameters of polyvinyl chloride taking into account temperature changes. Plasticheskiye massy*. 2016. No. 1-2. pp. 30-33. (In Russ)]
8. Zotov, I.M. *Raschet na ustoychivost' ploskoy formy izgiba balok pryamougol'nogo secheniya s uchetom polzuchesti* / I.M. Zotov, A.S. Chepurnenko, S.B. Yazyev // *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki*. 2019. Т. 46 (1). S. 169-176. [I.M. Zotov, A.S. Chepurnenko, S.B. Yazyev. *Calculation of the flat bending shape stability of rectangular cross section beams with regard to creep. Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science*. 2019. Vol. 46 (1).Pp. 169-176. (In Russ)]
9. Chepurnenko, A. S. *Modelirovaniye reologicheskikh protsessov v trekhslaynykh plitakh s penopolituretanovym zapolnitelem* / A.S. Chepurnenko, A.A. Savchenko // *Plasticheskiye massy*. 2018. № 5-6. S. 24-27. [A.S. Chepurnenko, A.A. Savchenko. *Modeling of rheological processes in three-layer plates with polyurethane foam aggregate. Plasticheskiye massy*. 2018. No. 5-6. pp. 24-27. (In Russ)]

10. Andreyev, V.I. Osesimmetrichnyy izgib krugloy gibkoy plastinki pri polzuchesti / V. I. Andreyev, B. M. Yazyev, A. S. Chepurmenko // Vestnik MGSU. 2014. № 5. S. 16-24. [V.I. Andreev, B.M. Yazyev, A.S. Chepurmenko. Axisymmetric bending of a round flexible plate during creep. Vestnik MGSU. 2014. No. 5. pp. 16-24. (In Russ)]
11. Savchenko, A.A. Kонтсентрати́я напруги в вязкоупругой полимерной пластинке с отверстием / A.A. Savchenko // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. №4. S. 44-47 [A.A. Savchenko. The stress concentration in a viscoelastic polymer plate with a hole // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2017. No. 4. pp. 44-47
12. A.S. Chepurmenko, B.M. Yazyev, A.A. Savchenko. Calculation for the Circular Plate on Creep Considering Geometric Nonlinearity. Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1680–1685.
13. S.V. Litvinov, L.I. Trush, S.B. Yazyev. Flat axisymmetrical problem of thermal creepage for thick-walled cylinder made of recyclable PVC. Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1686–1693.
14. Litvinov, S.V. Ploskaya deformatsiya neodnorodnykh mnogosloynnykh tsilindrov s uchedom nelineynoy polzuchesti / S.V. Litvinov, S.B. Yazyev, S.B. Yazyeva // Vestnik MGSU. 2010. № 1. S. 128-132. [S.V. Litvinov, S.B. Yazyev, S.B. Yazyeva. Plane deformation of inhomogeneous multilayer cylinders taking into account nonlinear creep. Vestnik MGSU. 2010. No. 1. pp. 128-132. (In Russ)]
15. Litvinov, S.V. Modelirovaniye termopolzuchesti neodnorodnogo tolstostennogo tsilindra v ose-simmetrichnoy postanovke / S.V. Litvinov, L.I. Trush, A.Ye. Dudnik // Inzhenernyy vestnik Dona. 2016. № 2. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3560> [S.V. Litvinov, L.I. Trush, A.E. Dudnik. Simulation of thermal creep of an inhomogeneous thick-walled cylinder in an axisymmetric formulation. Inzhenernyyvestnik Dona (Rus). 2016. No. 2. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3560> (In Russ)]
16. Trush, L.I. Optimizatsiya resheniya ploskoy zadachi polimernogo tsilindricheskogo tela v termoviyaz-kouprugoy postanovke / L.I. Trush, S.V. Litvinov, Ye.N. Pishcherenko, A.Ye. Dudnik // Novyye poli-mernyye kompozitsionnyye materialy Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati zaslužennogo deyatelya nauki RF i KBR, prof. Mikitayeva A.K. 2017. S. 246-253. [L.I. Trush, S.V. Litvinov, E.N. Pishcherenko, A.E. Dudnik. Optimization of the solution of the plane problem of a polymer cylindrical body in athermoviscoelastic formulation. New polymer composite materials. Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Honored Scientist of the Russian Federation and KBR, prof. Mikitaev A.K. 2017. pp. 246-253. (In Russ)]
17. Litvinov, S.V. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye tel vrashcheniya v vyazkouprugoy postanovke / S.V. Litvinov, L.I. Trush, A.A. Avakov // Stroitel'stvo i arkhitektura-2017. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2017. S. 186-194. [S.V. Litvinov, L.I. Trush, A.A. Avakov. Stress-strain state of bodies of revolution in a viscoelastic formulation. Construction and architecture-2017. Materials of the scientific-practical conference. 2017. pp. 186-194. (In Russ)]
18. L. Trush, S. Litvinov, N. Zakieva, S. Bayramukov. Optimization of the solution of a plane stress problem of a polymeric cylindrical object in thermoviscoelastic statement. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692. Pp. 885-893.
19. Litvinov, S.V. Prognozirovaniye prochnosti adgezionnogo soyedineniya v techeniye dlitel'nogo perioda vremeni / S.V. Litvinov, L.I. Trush, Ye.N. Pishcherenko, A.A. Avakov // Novyye polimernyye kompozitsionnyye materialy Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati zaslužennogo deyatelya nauki RF i KBR, prof. Mikitayeva A.K. 2017. S. 162-167 [S.V. Litvinov, L.I. Trush, E.N. Pishcherenko, A.A. Avakov. Prediction of adhesive strength over a long period of time. New polymer composite materials. Materials of the XIII International scientific and practical conference dedicated to the memory of Honored Scientist of the Russian Federation and KBR, prof. Mikitaev A.K. 2017. pp. 162-167. (In Russ)]
20. S. Litvinov, A. Zhuravlev, S. Yazyev, S. Bajramukov. Forecasting the strength of an adhesive bond over a long period of time. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692. pp. 902-907.

Сведения об авторах:

Лапина Анастасия Павловна, ассистент кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений»; e-mail: nastya-11@yandex.ru

Зотов Иван Михайлович, аспирант кафедры «Соппротивление материалов»; e-mail: z-o-t-o-v@mail.ru

Чепурненко Антон Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Соппротивление материалов»; e-mail: anton_chepurnenk@mail.ru

Языев Батыр Меретович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Соппротивление материалов»; e-mail: ps62@yandex.ru

Information about the authors:

Anastasia P. Lapina, Assistant, Department of Construction of Unique Buildings and Structures, e-mail: nastya-11@yandex.ru

Ivan M. Zotov, Post-graduate Student, Department of Resistance of Materials; e-mail: z-o-t-o-v@mail.ru

Anton S. Chepurmenko, Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department Strength of Materials; e-mail: anton_chepurnenk@mail.ru

Batyr M. Yazyev, Dr. Sci. (Technical), Prof., Prof., Department of Resistance of Materials, e-mail: ps62@yandex.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.03.2020

Принята в печать 28.04.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 30.03.2020.

Accepted for publication 28.04.2020.

Для цитирования: М.Г. Магомедов, А.И. Акаев, М.М. Пайзулаев, Д.А. Айламматова. Методологические аспекты теоретического исследования напряженно-деформированного состояния панельно-рамных вертикальных несущих систем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2):153-165. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-153-165

For citation: M.G. Magomedov, A.I. Akaev, M.M. Payzulaev, D. A. Ailammatova. Methodological aspects of research into the stress-strain state of panel-frame vertical load-bearing systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(2):153-165. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-153-165

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.016:693.98

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-153-165

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПАНЕЛЬНО-РАМНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НЕСУЩИХ СИСТЕМ

Магомедов М.Г.¹, Акаев А.И.¹, Пайзулаев М.М.², Айламматова Д.А.¹

¹Дагестанский государственный университет народного хозяйства,
¹367051, г. Махачкала, ул. Д. Атаева, 5, Россия,

²Дагестанский государственный технический университет,
²367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью данной статьи является анализ возможностей, предоставляемых исследователям различными расчетными методами (в первую очередь – численными) для теоретического исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) сложных многопроёмных вертикальных несущих систем. **Метод.** Раскрыта принципиальная сущность метода конечных разностей (сеток) и метода конечных элементов, описаны их преимущества и недостатки при решении плоской задачи теории упругости, в частности – при расчете НДС панельно-рамных конструкций, объединенных в единую вертикальную многосвязную систему. **Результат.** Изложенные в статье материалы позволяют оптимизировать методологию теоретического анализа НДС сложных многосвязных систем с учетом имеющихся в наличии средств вычислительной техники и лицензионных пакетов программ автоматизированного расчета строительных конструкций. **Вывод.** Проведенный авторами анализ показывает, что при наличии достаточно мощных ЭВМ наиболее универсальным и эффективным является метод конечных элементов, с использованием которого составлено большое число программных пакетов, позволяющих исследовать НДС любых конструкций, сложных по своей форме, топологии, характеру нагружения и т.п.

Ключевые слова: плоская задача теории упругости, метод сеток, метод конечных элементов, многосвязные панельно-рамные системы, рамная аналогия, бигармоническое уравнение, разностные аналоги, напряженно-деформированное состояние

METHODOLOGICAL ASPECTS OF RESEARCH INTO THE STRESS-STRAIN STATE OF PANEL-FRAME VERTICAL LOAD-BEARING SYSTEMS

M.G. Magomedov¹, A.I. Akaev¹, M.M. Payzulaev², D.A. Ailammatova¹

¹Daghestan State University of National Economy,
¹5 D. Ataev St., Makhachkala 367051, Russia,

²Daghestan State Technical University,
²70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract Aim. To analyse the possibilities of various computational methods (primarily numerical) in terms of investigating the stress-strain state of complex multi-dimensional vertical load-bearing systems. **Methods.** The fundamental essence of the finite-difference method (grids) and the

finite element method is revealed, their advantages and disadvantages are described in terms of solving the plane problem of elasticity theory, in particular, in calculating the stress-strain state of panel-frame structures united in a single vertical multi-connected system. **Results.** The obtained results can be used to optimize the methodology of theoretical stress-strain state analysis of complex multi-connected systems, taking into account available computer equipment and licensed software packages for automated calculation of building structures. **Conclusion.** The conducted analysis shows that, provided there is a sufficiently powerful computer, the finite element method is the most versatile and effective method. This method was the basis of a large number of software packages permitting analysis of the stress-strain state of any designs characterized by the complexity of form, topology, load, etc.

Keywords: plane problem of elasticity theory, grid method, finite element method, multi-connected panel-frame systems, frame analogy, biharmonic equation, difference analogs, stress-strain state

Введение. В общественных зданиях часто используют панельно-рамную конструктивную систему с «гибким» первым этажом. При этом панели верхних этажей располагаются по схеме балок-стенок. Распределение внутренних усилий в балке-стенке весьма сложно, и, как известно, для получения картины напряженно-деформированного состояния такой конструкции необходимо решить плоскую задачу теории упругости.

В том случае, когда объемные силы отсутствуют или гравитационный потенциал является единственной объемной силой, плоская задача сводится к нахождению решения бигармонического уравнения $\nabla^2 \nabla^2 \varphi = 0$, которое удовлетворяло бы условиям на контуре.

Развернутая запись бигармонического уравнения имеет вид:

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4}, \quad (1)$$

где φ - функция напряжений (функция Эри).

Постановка задачи. Точное решение бигармонического уравнения для различных граничных условий оказывается исключительно трудоемким, а во многих случаях и невозможным. В связи с этим в теории упругости разработаны различные приближенные методы решения плоской задачи - аналитические (метод рядов, вариационные методы), численные (метод сеток, метод конечных элементов), смешанные (метод прямых) и др.

Применение приближенных методов основывается на, так называемом, «смягчении» граничных условий или условий неразрывности. Для получения достаточно точного решения бигармонического уравнения вариационными методами приходится удерживать значительное число неопределенных параметров при координатных функциях, что делает расчет громоздким и неудобным для получения числовых результатов. Метод тригонометрических рядов, основанный на интегрировании бигармонического уравнения при помощи разделения переменных, отличается значительной математической сложностью. В то же время, он не позволяет получить решение для балки-стенки, контур которой отличен от прямоугольника.

Методы исследования. Метод «сеток» и рамная аналогия. В последние десятилетия, в связи с бурным развитием вычислительной техники и появлением пакетов прикладных программ, для решения задач прикладной теории упругости и пластичности все чаще используются численные методы [1]. По мнению большинства исследователей, они являются наиболее перспективными ввиду своей универсальности, а выполнение расчетов многосвязных пластин и оболочек сложной конфигурации практически возможно только численными методами. До настоящего времени среди них остается одним из наиболее распространенных метод «сеток» [2-5], основная идея которого заключается в том, что разрешающее дифференциальное уравнение с частными производными заменяется системой алгебраических уравнений в конечных разностях. Например, бигармоническое уравнение (1) преобразуется в тринадцатичленное алгебраическое уравнение, которое в случае квадратной сетки имеет следующий вид:

$$20\varphi_{i,j} - 8(\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j-1} + \varphi_{i,j+1}) + \\ + 2(\varphi_{i+1,j-1} + \varphi_{i-1,j+1} + \varphi_{i+1,j+1} + \varphi_{i-1,j-1}) + \varphi_{i+2,j} + \varphi_{i-2,j} + \varphi_{i,j+2} + \varphi_{i,j-2} = 0. \quad (2)$$

При решении первой краевой задачи, когда требуется определить напряженное состояние пластинки по заданным усилиям на контуре, необходимо составить уравнение типа (2) для каждого внутреннего узла области (например, пластинки) и решить полученную систему уравнений.

Напряжения на контуре, составляющие граничные условия задачи, заменяются функцией напряжений φ и ее нормальной производной $\frac{\partial\varphi}{\partial n}$, значения которых можно определить, используя прием «рамной аналогии», обоснованный в работе [2]. В этом случае контур пластины рассматривают как жесткую рамную систему, тогда:

1) функция напряжения φ на контуре - это изгибающий момент M от приложенной нагрузки;

2) нормальная производная $\frac{\partial\varphi}{\partial n}$ - это нормальная сила N от той же нагрузки.

Рамная аналогия используется также для определения значений функции напряжений и ее нормальной производной на контуре, когда нагрузкой, действующей на пластинку, является гравитационный потенциал, т.е. собственный вес пластинки.

Действию потенциала соответствует гидростатическое давление при погружении тела в перевернутом виде (по отрицательной оси y) в жидкость с удельным весом γ , равным удельному весу материала конструкции. Нижнюю горизонтальную кромку пластинки совмещают при этом с поверхностью жидкости. Аналогия между действием собственного веса и действием гидростатического давления обоснована в работе [3].

Для нахождения значений φ и $\frac{\partial\varphi}{\partial n}$ - на контуре в этом случае строят эпюры M и N от

действия нагрузки, имитирующей гидростатическое давление на контур пластинки, разрезанный в любой точке. Эпюра моментов дает значения функции напряжений, а эпюра нормальных сил - значения нормальной производной на контуре.

Использование аналогии действия гидростатического давления с действием собственного веса приводит к некоторым «фиктивным» значениям напряжений σ_x и σ_y . Перейти от них к действительным σ_x и σ_y сравнительно легко:

$$\sigma_x = \sigma'_x + U, \quad \sigma_y = \sigma'_y + U,$$

где U - потенциал, равный в случае собственного веса: $U = -(\gamma y)$.

При решении третьей (смешанной) краевой задачи, когда требуется определить напряженное состояние пластины по условиям на контуре, заданным частично в напряжениях и частично в перемещениях, также может быть использован метод сеток.

Для этого необходимо составить не только систему бигармонических разностных уравнений типа (1), но и включить в нее дополнительные уравнения, отражающие контурные условия, заданные в перемещениях. Например, определяя напряженное состояние балки-стенки на неподвижных цилиндрических опорах, в дополнительном уравнении линейные перемещения опорных участков балки-стенки приравниваются 0. При сопряжении балки-стенки с рамой уравнение отражает равенство перемещений сопрягаемых участков обеих конструкций.

Перемещения участков контура области (пластинки) могут быть определены через функцию напряжений по методу сеток, используя для этой цели развернутые выражения для некоторых обобщенных перемещений, полученные в работе Длугача [4].

Например, перемещение участка контура Δ_N под действием сил $1/2 N$ (рис. 1), приложенных вдоль контура, определяется по формуле:

$$\Delta_N = \frac{1}{ES^2} \left(-0,5\varphi_{0,n} - \sum_{j=1}^{m-1} \varphi_{j,n} - 0,5\varphi_{m,n} + 0,5\varphi_{0,n-1} + \sum_{j=1}^{m-1} \varphi_{j,n-1} + \right. \\ \left. + 0,5\varphi_{m,n-1} + 0,25A_{0,n}^{(y)} + 0,5 \sum_{j=1}^{m-1} A_{j,n} + 0,25A_{m,n}^{(y)} - 0,25\mu A_{0,n}^{(x)} - 0,25\mu A_{m,n}^{(x)} \right), \quad (3)$$

где $A = 2 \frac{\partial \varphi}{\partial n}$.

Перемещение участка контура Δ_P под действием группы сил, приложенных, как показано на рис.1, определяется по формуле:

$$\Delta_P = \frac{1}{ES^2} \left[(1,5m + 3)\varphi_{0,n} + (3m - 4)\varphi_{1,n} - 3 \sum_{j=1}^{m-1} (m - j)\varphi_{j,n} + 4\varphi_{m-1,n} - \right. \\ \left. - 3\varphi_{m,n} - 2(1 + m)\varphi_{0,n-1} - 4 \sum_{j=1}^{m-1} (m - j)\varphi_{j,n-1} + 2\varphi_{m,n-1} + 0,5m\varphi_{0,n-2} + \right. \\ \left. + \sum_{j=1}^{m-1} (m - j)\varphi_{j,n-2} - 0,5m A_{0,n}^{(y)} - \sum_{j=1}^{m-1} (m - j)A_{j,n} - 0,5A_{0,n}^{(x)} + 0,5A_{m,n}^{(x)} + \right. \\ \left. + 0,5\mu A_{0,n}^{(y)} - 0,5\mu A_{m,n}^{(y)} - 0,5\mu m (A_{0,n-1} - A_{0,n}^{(x)}) \right], \quad (4)$$

Перемещение участка контура $\Delta_{\varphi_{yr}}$ под действием уравновешенной группы сил, приложенных к угловой точке, определяется по формуле:

$$\Delta_{\varphi_{yr}} = \frac{1}{ES^2} \left[5\varphi_{m,n} - 4(\varphi_{m-1,n} + \varphi_{m,n-1}) + 0,5(\varphi_{m-2,n} + \varphi_{m,n-2}) + 2\varphi_{m-1,n-1} - \right. \\ \left. - 0,5(A_{m,n}^{(x)} + A_{m,n}^{(y)}) - 0,5\mu (A_{m,n-1} - A_{m,n}^{(x)} - A_{m,n}^{(y)} + A_{m-1,n}) \right]. \quad (5)$$

Перемещения контура в целом можно определить путем суммирования перемещений его участков, используя формулы (3), (4) и (5) с соответствующими постоянными множителями. Схема суммирования Δ_P , Δ_N и $\Delta_{\varphi_{yr}}$ для определения линейных перемещений опорных участков балки-стенки дана на рис.1.

Граничные условия в общем случае будут включать как заданные нагрузки на контуре, так и неизвестные усилия, получаемые путем исключения «лишних» связей при переходе к основной (статически определимой) системе.

Описанная методика решения третьей краевой задачи может быть использована для определения напряженного состояния балок-стенок, работающих совместно с опорными рамами [5].

В этом случае балки-стенки являются внешне статически неопределимыми, и расчетные схемы балок-стенок имеют лишнюю связь, так как рама ограничивает горизонтальные перемещения опорных зон панелей.

Отбрасывая лишнюю связь, заменяем ее неизвестным горизонтальным усилием распора H (рис. 1). Неизвестное усилие будет входить в качестве компонента в значения функции напряжений φ и ее нормальной производной $\frac{\partial \varphi}{\partial n}$ на контуре.

Для определения перемещений опорных точек балки-стенки от виртуального усилия $H = 1$ суммируем:

$+2\Delta_p$ боковых вертикальных кромок (высотой $m = 5$), используя симметрию их перемещений;

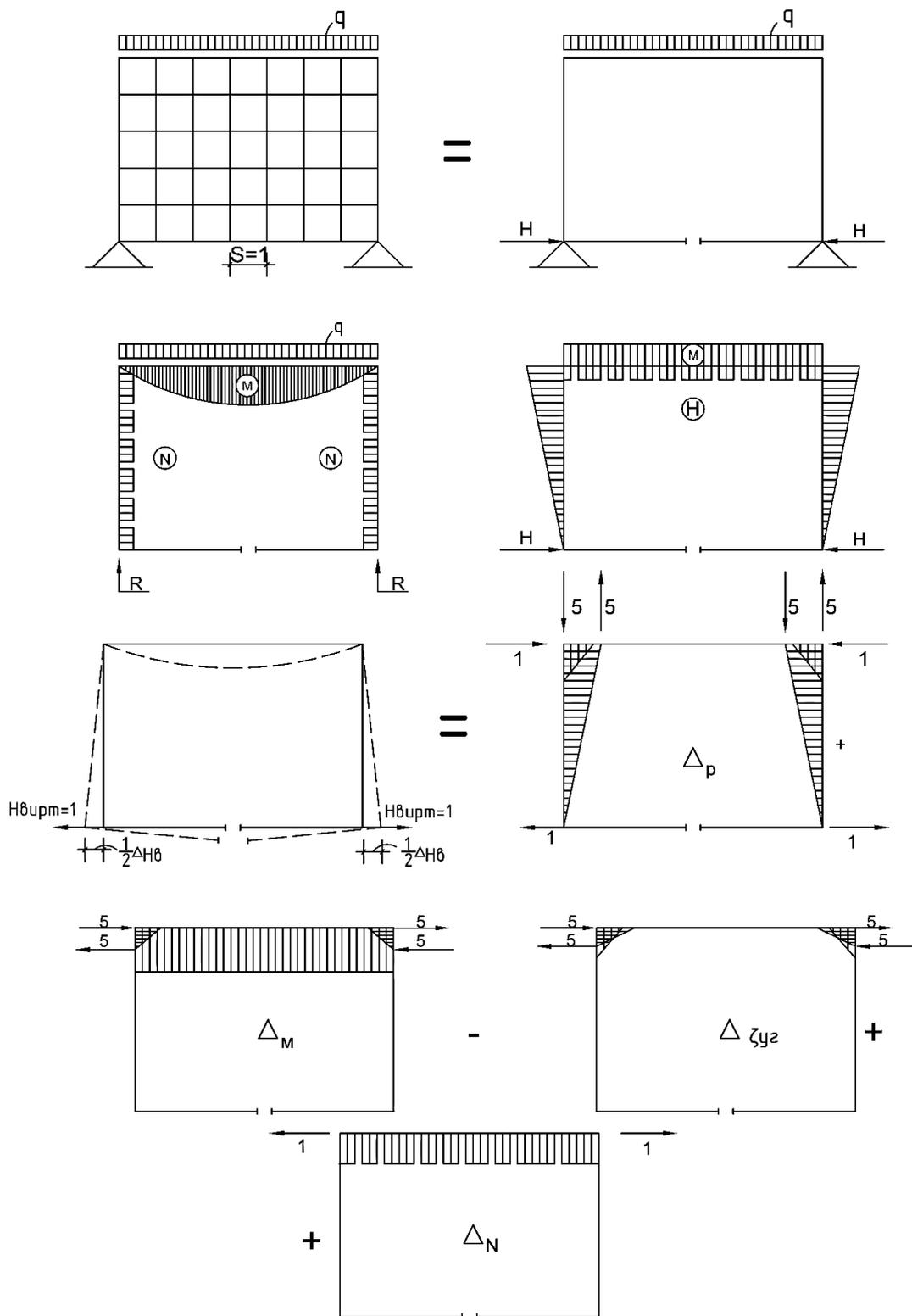


Рис. 1. Схема определения линейных перемещений опорных участков плосконапряженной пластины

Fig. 1. Scheme for determining the linear displacements of the support sections of a plane-stressed plate

+5 Δ_M ×5 верхней горизонтальной кромки, имея в виду плечо приложения силы H , а также расположение перемещающихся точек, отстоящих от верхней кромки на расстояние 5;
 +2 Δ_N верхней горизонтальной кромки от усилия $H = 2 \times 0,5N = 1$;
 -5 $\Delta_{\varphi_{уг}}$ ×2 верхних углов балки-стенки для исключения дополнительных угловых моментов, образующихся в результате суммирования.

В результате такого суммирования получаем дополнительное линейное уравнение, приравняемое нулю в случае идеализированных опорных связей, исключающих перемещения опорных зон балки-стенки.

В случае, когда балки-стенки опираются на рамы, опоры обладают конечной жесткостью и допускают некоторые перемещения опорных узлов балки-стенки.

Определить величину перемещений узлов рамы, шарнирно сопряженных с балкой-стенкой, можно с помощью интеграла Мора:

$$\Delta_H = \sum \int \frac{M_H M_{H_{вн}}}{EI} ds + \sum \int \frac{\mu Q_H Q_{H_{вн}}}{GA} ds + \sum \int \frac{N_H N_{H_{вн}}}{EA} ds. \quad (6)$$

Дополнительное линейное уравнение приравнивается этой величине и включается, как указывалось, в систему тринадцатичленных разностных аналогов бигармонического уравнения.

Решение совокупной системы уравнений даст значения функции напряжений φ во всех внутренних узлах области с учетом влияния найденных усилий в связях внешне статически неопределимой системы.

Определение напряжений σ_x , σ_y и τ_{xy} в узлах области можно произвести по известным формулам»

$$\sigma_y = \frac{\varphi_{i,j+1} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i,j-1}}{S^2}; \quad (7)$$

$$\sigma_x = \frac{\varphi_{i+1,j} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i-1,j}}{S^2}; \quad (8)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{(\varphi_{i+1,j-1} + \varphi_{i-1,j+1}) - (\varphi_{i-1,j-1} + \varphi_{i+1,j+1})}{S^2}, \quad (9)$$

где - S шаг сетки.

Получив значения σ_x , σ_y и τ_{xy} , можно определить значения и направление главных напряжений по формулам:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y \pm ((\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2)^{0,5}); \quad (10)$$

$$tg 2\theta_{1,2} = -\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}, \quad (11)$$

а значения и направления максимальных касательных напряжений по формулам:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad (12)$$

$$\alpha = \theta - 45^\circ. \quad (13)$$

Следует отметить, что составление дополнительных уравнений для смешанной плоской задачи по методике Длугача отличается определенной трудоемкостью, а сами уравнения получаются довольно громоздкими.

Ввиду этого применение метода сеток для решения смешанной задачи можно считать обоснованным лишь в случаях, когда число дополнительных уравнений невелико, а имеющаяся вычислительная техника ощутимо ограничивает возможности решения систем алгебраических уравнений высоких порядков. В этих случаях становится актуальной проблема резкого сокращения числа неизвестных (уменьшения размерности системы уравнений).

Исследование напряженного состояния многосвязных пластин рациональнее проводить в общем случае методом конечных элементов, хотя использование этого метода, при одинако-

вой густоте сетки, приводит к значительному (кратному) увеличению числа неизвестных по сравнению с методом конечных разностей.

Указанный недостаток компенсируется универсальностью метода конечных элементов [6, 7], позволяющего рассчитывать многосвязные области без дополнительных уравнений неразрывности. Ниже кратко изложена принципиальная сущность метода конечных элементов.

Метод конечных элементов. Для того чтобы применить метод конечных элементов к решению задачи, необходимо, прежде всего, аппроксимировать фактическую континуальную систему, т.е. реальную конструкцию, совокупностью конечных элементов; затем следует представить упругие и геометрические характеристики, а также характеристики нагружения и закрепления системы в матричной форме.

Наконец, необходимо вычислить параметры напряжений и перемещений системы с помощью аппарата матричной алгебры. Идея использования пластинчатого элемента для дискретизации сплошной конструкции была дана в работе Тернера, Клафа, Мартина и Топпа [8].

Пластинчатые конечные элементы не являются просто кусками, вырезанными из заданной конструкции. Они представляют собой упругие элементы специального типа, на деформации которых наложены сильно ограничивающие условные связи, что приводит к соблюдению условий непрерывности деформаций между элементами по всей длине их сторон (рис. 2).

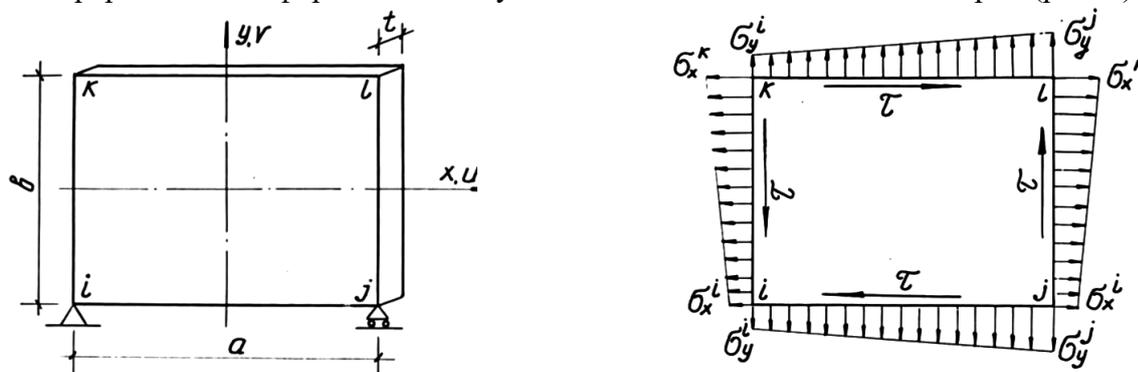


Рис. 2. Упругий пластинчатый конечный элемент для аппроксимации континуальной системы

Fig. 2. Elastic plate finite element for the approximation of a continuous system

Надо, конечно, оговорить то обстоятельство, что непрерывность деформаций по всей длине грани соблюдается приблизительно и лишь в узловых точках - точно. Однако очевиден факт, что можно добиться желаемой точности расчета путем уменьшения размеров элементов.

Как уже указывалось, следующим этапом расчета является получение формул для матриц, характеризующих жесткость или податливость отдельных элементов и всей системы в целом с учетом взаимно расположения конечных элементов в системе [9].

При выводе матриц жесткостей используется способ единичного смещения узловых точек. Число кинематических степеней свободы в общем случае для прямоугольного элемента равно восьми, так как имеется четыре узловых точки и каждая из них обладает двумя независимыми смещениями в плоскости рассматриваемого элемента.

Очевидно, однако, что при построении матрицы жесткости достаточно учитывать только такие степени свободы, которые фактически связаны с деформациями элемента.

По терминологии Дж. Аргрися [10], матрицы жесткостей с уменьшенным порядком называются инвариантными, или естественными, матрицами.

Любое искажение элемента можно представить в виде суммы независимых одиночных перемещений узлов с соответствующими коэффициентами. Или, наоборот, каждое одиночное перемещение можно поставить в зависимость от пяти характерных видов перемещений узлов или соответствующих им независимых напряженных состояний (рис. 3). Линейная зависимость между пятью одиночными (по числу степеней свободы) перемещениями узлов элемента и пятью видами характерных напряженных состояний может быть выражена в матричной форме:

$$[V] = [A] \cdot [\alpha], \quad (14)$$

где $[A]$ - матрица линейных соотношений между узловыми перемещениями $[V]$ и параметрами напряженного состояния $[\alpha]$.

Из матричного уравнения (14) параметры независимых напряженных состояний можно выразить через узловые перемещения, обернув для этой цели матрицу $[A]$

$$[\alpha] = [A]^{-1} \cdot [V]. \quad (15)$$

Так как параметры независимых напряженных состояний носят несколько абстрактный характер, можно найти зависимость между узловыми перемещениями элемента и напряжениями $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ во внутренних точках элемента. Для этого напишем матричное уравнение, выражающее напряжения в любой точке через параметры идеализированных независимых напряженных состояний $[\sigma]$:

$$[\sigma] = [B] \cdot [\alpha]. \quad (16)$$

Из уравнений (15) и (16) определим напряжения во внутренних точках через узловые перемещения элемента:

$$[\sigma] = [B] \cdot [A]^{-1} \cdot [V]. \quad (17)$$

Воспользовавшись обобщенным законом Гука для случая плоского напряженного состояния, можно записать в матричной форме зависимость между деформациями и напряжениями в элементе:

$$[\varepsilon] = [c] \cdot [\sigma], \quad (18)$$

где $[c]$ включает множитель $1/E$.

Таким образом, деформации во внутренних точках отдельного элемента могут быть выражены через перемещения его узловых точек из уравнений (17) и (18):

$$[\varepsilon] = [c] \cdot [B] \cdot [A]^{-1} \cdot [V]. \quad (19)$$

Имея полученные зависимости, можно перейти к нахождению жесткости (реакции) элемента, которая выражает зависимость между узловыми силами и узловыми перемещениями элемента. Для этого следует воспользоваться принципом возможных перемещений.

Пластинчатый элемент, как было указано выше, имеет пять степеней свободы относительно узловых перемещений и соответствующих им узловых сил. Обозначим систему сил, действующих на элемент, через $[S]$.

Эти узловые силы находятся в равновесии с системой внутренних напряжений $[\sigma]$. Дадим узлам элемента некоторые возможные перемещения $[\bar{V}]$. Указанным перемещениям соответствуют деформации внутренних точек пластинки $[\varepsilon]$.

Черточка над буквой указывает, что соответствующая величина связана с возможным перемещением.

Так как принцип возможных перемещений справедлив для любой применяемой системы возможных перемещений, удобно принять, что узлы последовательно получают единичное перемещение.

Внешняя работа узловых сил на возможных перемещениях выражается в матричной форме в виде:

$$[W] = [\bar{V}]^T \cdot [S]. \quad (20)$$

где индекс T обозначает операцию транспонирования.

Работа внутренних сил, связанная с возможными перемещениями узлов, будет выражаться через деформации и напряжения во внутренних точках элемента:

$$U = t \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} [\bar{\varepsilon}]^T [\sigma] dx dy, \quad (21)$$

где t - толщина пластинки.

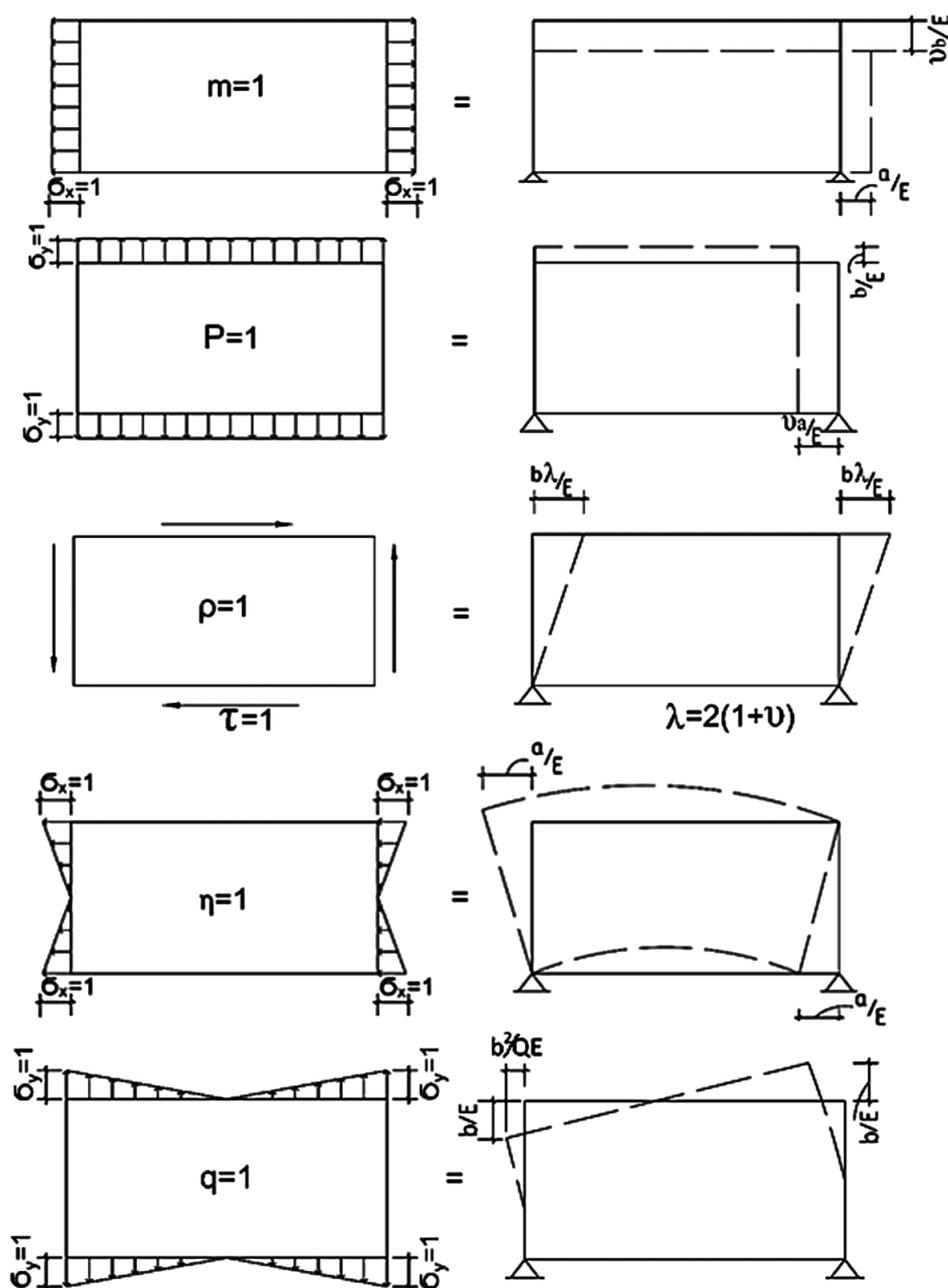


Рис. 3. Связь между независимыми напряженными состояниями элемента и соответствующими им характерными перемещениями узлов

Fig. 3. The relationship between independent stressed states of an element and the corresponding characteristic displacements of nodes

После ряда промежуточных выкладок, приравнявая величины возможной работы внешних и внутренних сил, получим следующее соотношение между узловыми силами и перемещениями узлов:

$$[S] = t \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} [A^{-1}]^T [B]^T [C] [B] [A^{-1}] [V] dx dy.$$

Матрицу перемещений узлов $[V]$ можно вынести из-под знака интеграла, так как $[V]$ не являются функциями координат, а зависят от величин узловых усилий:

$$[S] = \left(t \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} [A^{-1}]^T [B]^T [C] [B] [A^{-1}] dx dy \right) [V]. \quad (22)$$

Обозначая выражение в скобке одним символом, можно уравнение (22) записать в виде:

$$[S] = [K_i] \cdot [V], \quad (23)$$

где $[K_i]$ - это матрица жесткости конечного i -того элемента, которая определяет величину реакции этого элемента на действие узловых перемещений.

Окончательный результат можно получить, произведя операции обращения и умножения матриц и проинтегрировав полученную результате матрицу по ее элементам в пределах интегрирования:

$$[K_i] = t \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} [A^{-1}]^T [B]^T [C] [B] [A^{-1}] dx dy. \quad (24)$$

Таким образом, мы имеем матрицу, характеризующую упругие свойства отдельного элемента. Необходимо теперь иметь матрицу, которая определяла бы геометрическую форму совокупности элементов пластин, с учетом условий закрепления на контуре системы. Такая матрица (назовем ее матрицей преобразования перемещений) выражает зависимость между деформациями элементов и перемещениями узлов, вызывающими эти деформации.

Деформированное состояние элементов пластинки, вызванное перемещениями всех узлов системы, может быть записано в виде:

$$[U] = [a] \cdot [r], \quad (25)$$

где $[a]$ - матрица преобразования перемещений.

Имея матрицы жесткостей отдельных элементов и матрицу преобразования перемещений системы элементов, можно перейти к определению упругих характеристик (жесткости) всей системы.

Матрица жесткости всей системы конечных элементов входит в состав следующего матричного уравнения:

$$[R] = [K] \cdot [r], \quad (26)$$

где $[R]$ - матрица внешних узловых усилий; $[K]$ - матрица жесткости системы, определяющая реакции системы на узловое перемещение; $[r]$ - матрица узловых перемещений всей системы.

Иными словами, матрица жесткости $[K]$ определяет величины оставляющих узловых сил, вызываемых узловыми перемещениями (в нашем случае - единичными). Получение матрицы реакций $[K]$ можно рассматривать как переход от координат, определяющих деформации отдельных элементов системы $[U]$ к координатам $[r]$, определяющим перемещения узлов конструкции. Оно выполняется по обычной формуле преобразования координат матричной алгебры:

$$[K] = [\alpha]^T \cdot [k] \cdot [a], \quad (27)$$

в которой $[k]$ - диагональная матрица, объединяющая жесткости отдельных элементов, не соединенных между собой.

Для того чтобы сформулировать задачу расчета конструкций, необходимо, кроме полученных выше матриц, построить матрицу условий нагружения конструкции, или грузовую матрицу. Обозначим ее условно символом $[R]$.

Имея указанные матрицы, можно рассчитывать усилия и перемещения, возникающие в системе, т.е. можно получить картину напряженно-деформированного состояния плоской конструкции.

Расчет представляет собой последовательность операций над имеющимися матрицами по законам матричной алгебры.

Первым шагом в расчетах по методу перемещений является определение величины перемещений узлов системы от действия внешней нагрузки R . Для этого нужно решить систему линейных уравнений, которая в матричной форме может быть записана в виде уравнения (26). Получив значения величин r , можно перейти к определению напряженного состояния конструкции.

Помня, что мы наложили на деформации элементов условие линейности распределения напряжений по всей поверхности каждого элемента, мы можем напряжения по граням выразить через величины, σ_x^k , σ_x^i , σ_y^i , σ_y^j и τ , как показано на рис. 2.

Свяжем эти величины с параметрами напряженных состояний $[\alpha]$:

$$[R] = [N] \cdot [\alpha], \quad (28)$$

где $[\alpha]$ выражается через деформации элемента по формуле (15). После некоторых преобразований можно получить матрицу напряжений $[\Sigma]$ на гранях всей совокупности элементов:

$$[\Sigma] = [M] \cdot [U] = [M] \cdot [\alpha] \cdot [r], \quad (29)$$

где $[M]$ - диагональная матрица, составленная из матриц $[M_i] = [N] \cdot [A^{-1}]_i$ для каждого элемента.

Таким образом, уравнения (26) и (29) определяют весь расчет по методу конечных элементов для совокупности прямоугольных элементов. Приведенные рассуждения носят аналогичный характер для элементов любой формы.

Обсуждение результатов. Изложенные методы могут быть применены к расчету любых континуальных конструкций [8], имеющих разного рода нерегулярности (геометрического и топологического характера). В таких случаях, с целью сохранения однообразия в закономерностях построения матриц и, следовательно, универсализации программ для расчета конструкций на электронных машинах, применяются принципы регуляризации, обоснованные и разработанные в работах Аргириса [10, 11].

Основы регуляризации заключаются в следующем. Если система имеет ослабления в виде отверстий, то удобно эти отверстия заполнить фиктивными элементами, имеющими нулевую жесткость.

Введение указанных элементов никак не отразится на результатах расчета, но позволяет сохранить универсальной закономерность формирования матрицы $[a]$. Кроме того, для той же цели разумно устранить вначале все связи, наложенные на перемещения узлов конструкции, с тем, чтобы затем вычеркнуть лишние столбцы в регуляризованной матрице $[a]$. Если при построении регуляризованной матрицы $[a]$ было введено n фиктивных элементов и m фиктивных степеней свободы, то необходимо вычеркнуть из нее n соответствующих строк и m столбцов. Затем можно формировать матрицу жесткости всей системы $[K]$ по формуле (27).

Вывод. Каждый из описанных выше численных методов исследования плоских несущих систем имеет, как было отмечено, свои преимущества при решении различных типов задач. Важное значение при выборе методики расчета обретают характеристики доступной для пользования вычислительной техники и наличие автоматизированных программных комплексов. Эти факторы, являясь сильными ограничителями, могут сыграть решающую роль в выборе метода конечных разностей (метод «сеток») для исследования пластин.

Особенно возрастают преимущества метода конечных разностей (в плане уменьшения числа неизвестных) при исследовании напряженного состояния панельных балок-стенок, сочлененных с рамами. В этом случае рама может рассматриваться как стержневая система, что дополнительно уменьшает число неизвестных по сравнению с методом конечных элементов, где раму приходится задавать в виде совокупности плоских конечных элементов.

Тем не менее, в связи с быстро возрастающими в последние годы возможностями вычислительной техники, напряженное состояние балок-стенок, опертых на рамы и работающих в составе многопроёмных стеновых конструкций, предпочтительнее исследовать с помощью автоматизированных расчетных комплексов с использованием метода конечных элементов, если

технические характеристики наличных ЭВМ позволяют решать полученную в результате математического моделирования систему линейных алгебраических уравнений высокого порядка.

Библиографический список:

1. Магомедов М.Г., Пайзулаев М.М. Использование метода конечных элементов для теоретического моделирования плоских бетонных систем // Научное обозрение. – Москва, 2015. №1, С. 77-81.
2. Варвак П.М. Развитие и приложение метода сеток к расчету пластинок: некоторые задачи прикладной теории упругости в конечных разностях / Часть I. Изд. АН УССР, Ин-т строительной механики. -Киев, 1949. 136 с.
3. Варвак П.М. Развитие и приложение метода сеток к расчету пластинок: некоторые задачи прикладной теории упругости в конечных разностях / Часть II. Изд. АН УССР, Ин-т строительной механики. -Киев, 1953. 115 с.
4. Длугач М.И. Метод сеток в смешанной плоской задаче теории упругости / Изд. АН УССР, Ин-т механики. - Киев: Наукова думка, 1964. 260 с.
5. Магомедов М.Г. Напряженное состояние и прочность балок-стенок в каркасно-панельных зданиях. Канд. дисс. М.: 1972. 161 с.
6. Клаф Р.У. Метод конечного элемента в решении плоской задачи теории упругости // Расчет строительных конструкций с применением электронных машин, М.: 1967 (пер. с англ. под ред. А.Ф. Смирнова).
7. Курант Р., Гильберт Д. Методы математической физики. В 2 т. Пер. с нем. Т.1. Изд.3, исп. 1951. 476 с.
8. Turner, M. I., Clough, R. W., Martin, H. C., and Topp, L. T., "Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures," Journal of the Aerospace Sciences, Vol. 25, No. 9, 1956, pp. 805-823.
9. Магомедов М.Г., Акаев А. И., Мирзоева А. Р. О вариационной сущности метода конечных элементов / Строительство: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам II международной научно-практической конференции. – Махачкала: АЛЕФ (ИП Овчинников М.А.), 2016. С. 56-64.
10. Аргирис Дж. Современные достижения в методах расчета конструкций с применением матриц. М.: Стройиздат, 1968. -241 с. (пер. с англ. под ред. А.Ф. Смирнова).
11. Аргирис Дж. Энергетические теоремы и расчет конструкций. / Современные методы расчета сложных статически неопределимых систем: сборник статей. Ленинград: Судпромгиз, 1961. 876 с. (Пер. с англ. Л. И. Филиной).

References:

1. Magomedov M.G., Payzulayev M.M. Ispol'zovaniye metoda konechnykh elementov dlya teoretiche-skogo modelirovaniya ploskikh betonnykh sistem // Nauchnoye obozreniye. – Moscow, 2015. №1, S. 77-81. [Magomedov M. G., Paizulaev M. M. Using the finite element method for theoretical modeling of flat concrete systems // Scientific review. - Moscow, 2015. No. 1, pp. 77-81. (In Russ)]
2. Varvak P.M. Razvitiye i prilozheniye metoda setok k raschetu plastinok: nekotoryye zadachi pri-kladnoy teorii uprugosti v konechnykh raznostyakh / Chast' I. Izd. AN USSR, In-t stroitel'noy mekhaniki. -Kiyev, 1949.-136 s. [Varvak P. M. Development and application of the grid method to the calculation of plates: some problems of the applied theory of elasticity in finite differences / Part I. Ed. As of the Ukrainian SSR, In-t of construction mechanics. - Kiev, 1949. 136 p. (In Russ)]
3. Varvak P.M. Razvitiye i prilozheniye metoda setok k raschetu plastinok: nekotoryye zadachi pri-kladnoy teorii uprugosti v konechnykh raznostyakh / Chast' II. Izd. AN USSR, In-t stroitel'noy mekhaniki. -Kiyev, 1953.-115 s. [Varvak P. M. Development and application of the grid method to the calculation of plates: some problems of the applied theory of elasticity in finite differences / Part II. Ed. As of the Ukrainian SSR, In-t of construction mechanics. Kiev, 1953. 115 p. (In Russ)]
4. Dlugach M. I. mesh Method in a mixed plane problem of elasticity theory / Ed. An of the USSR, in-t mechanics. - Kiev: Naukova Dumka, 1964. 260 p.
5. Magomedov M.G. Napryazhennoye sostoyaniye i prochnost' balok-stenok v karkasno-panel'nykh zda-niyakh. Kand. diss. – M.: 1972. – 161 s. [Magomedov M. G. Stress state and strength of beams-walls in frame-panel buildings. Cand. Diss. - Moscow: 1972. 161 p. (In Russ)]
6. Clough R. U. finite element Method in solving the plane problem of elasticity theory // Calculation of building structures using electronic machines, M.: 1967 (TRANS. from English. edited by A. F. Smirnov).
7. Courant R., Hilbert D. Methods of mathematical physics. In 2 vols. Vol. 1. Ed.3, Spanish 1951. 476 P.
8. Turner, M. I., Clough, R. W., Martin, H. C., and Topp, L. T., " Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures," Journal of the Aerospace Sciences, Vol. 25, No. 9, 1956, pp. 805-823.
9. Magomedov M.G., Akayev A. I., Mirzoyeva A. R. O variatsionnoy sushchnosti metoda konechnykh ele-mentov / Stroitel'stvo: problemy i perspektivy: sbornik statey po materialam II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Makhachkala: ALEF (IP Ovchinnikov M.A.), 2016. - S. 56-64. [Magomedov M. G., Akaev A. I., Mirzoyeva A. R. on the variational essence of the finite element method / Construction: problems and prospects:

collection of articles based on the materials of the II international scientific and practical conference. - Makhachkala: ALEF (IP Ovchinnikov MA), 2016. pp. 56-64. (In Russ)]

10. Argiris Dzh. *Sovremennyye dostizheniya v metodakh rascheta konstruksiy s primeneniym matrits*. M.: Stroyizdat, 1968. -241 s. (per. s angl. pod red. A.F. Smirnova). [Argyris George. *Recent advances in methods of analysis of structures using matrices*. Moscow: Stroizdat, 1968. -241 S. (translated from English. edited by A. F. Smirnov). (In Russ)]
11. Argiris Dzh. *Energeticheskiye teoremy i raschet konstruksiy. / Sovremennyye metody rascheta slozhnykh staticheski neopredelimykh sistem: sbornik statey*. Leningrad: Sudpromgiz, 1961. -876 s. (Per. s angl. L. I. Filinoy). [Argyris George. *Energy theorems and design calculations. / Modern methods for calculating complex statically indeterminate systems: a collection of articles*. Leningrad: Sudpromgiz, 1961. -876 p. (Per.with English. L. I. Filina). (In Russ)]

Сведения об авторах:

Магомедов Магомед Гаджиевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Сейсмостойкое строительство»; e-mail: aabduldzhafar@mail.ru

Акаев Абудулджафар Имамусейнович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Сейсмостойкое строительство»; декан инженерного факультета; e-mail: aabduldzhafar@mail.ru

Пайзулаев Магомед Муртазалиевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сопротивление материалов, теоретическая и строительная механика»; e-mail: smdstu@mail.ru

Айламматова Дагмара Айламматовна, старший преподаватель, кафедра «Сейсмостойкое строительство»; e-mail: osstikk@mail.ru

Information about the authors:

Magomed G. Magomedov, Cand. Sc.(Technical), Assoc.Prof., Department of Earthquake Resistant Construction; e-mail: aabduldzhafar@mail.ru

Abduljafar I. Akaev, Cand. Sc.(Technical), Assoc. Prof., Department of Earthquake Resistant Construction; Dean of the Faculty of Engineering; e-mail: aabduldzhafar@mail.ru

Magomed M. Payzulaev, Cand. Sc.(Technical), Assoc. Prof., Head of the department "Resistance of materials, theoretical and structural mechanics"; e-mail: smdstu@mail.ru

Dagmara A. Ailammatova, Senior Lecturer, Department of Earthquake Resistant Construction; e-mail: osstikk@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.04.2020.

Принята в печать 18.05.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 11.04.2020.

Accepted for publication 18.05.2020.

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/ББК
- Перечень авторов (разделяется запятыми, инициалы после фамилий, на русском и английском языке); выравнивание слева.
- Название статьи (на русском и английском языке).
- Аннотация (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 MicrosoftWord, CorelDraw, MicrosoftVisio и т. п.). Использование точечных форматов (.bmp, .jpeg, .tif, .html) допустимо только для рисунков, представление которых в векторных форматах невозможно (фотографии, копии экрана монитора и т. п.). Название рисунка указывается на русском и английском языках.

Верстка таблиц

Таблица состоит из следующих элементов: нумерационного заголовка (слова «Таблица» и ее номера арабскими цифрами); шапки (заголовочной части), включающей заголовки граф (объясняют значение данных в графах); боковика (первой слева графы) и прографки (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 образования и науки 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 редколлегией 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.

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 ImamaShamilya 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.

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 47– №2 – 2020.

HERALD
OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES
Makhachkala, Volume 47, No.2, 2020.

Верстка: Шагина С.Б.

Перевод: Попова Н.Г.

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: Natalya G.Popova

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 29.06.2020г. Сдано в печать 30.06.2020г.

Формат 60x84 ¹/₈. Гарнитура «Times». Бумага офсетная

Тираж 500. Усл. п.л. 15,00 Уч. изд.л. 15,00

Заказ № _____

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Лотос»
367018. Республика Дагестан, г. Махачкала, пр-кт Петра I, 61.