

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 45, №4, 2018.

ВЕСТНИК

ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Volume 45, No.4, 2018.

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); Соционет, КиберЛенинка.

© Учредитель и издатель ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 2018.

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 Т71366 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); Socionet; CyberLeninca.

© Founder and Publisher Daghestan State Technica Iniversity, 2018.

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 45, №4, 2018

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, Россия.

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

Батдалов М.М., д.т.н., член-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

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

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

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

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, Россия.

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

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

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

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

Лобанов И.Е., д.т.н., ведущий научный сотрудник Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия.

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

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

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, Россия.

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

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

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

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

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

Сулин А.Б., д.т.н., профессор, член-корр. МАХ, НИИ промышленной и морской медицины федерального медико-биологического агентства, г. Санкт-Петербург, Россия.

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

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

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

Редакционный совет:

Председатель редакционного совета:

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

Сопредседатели:

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

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

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

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, Россия.

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

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 45, №4

Махачкала, 2018 – 176с.

Издается по

решению Ученого

Совета ФГБОУВО

«Дагестанский

государственный

технический

университет»

Адрес учредителя

и издателя:

367026, РД, г. Махачкала,

пр. И.Шамиля, 70,

ФГБОУ ВО «Дагестанский

государственный

технический университет».

Тел./факс 8722)623715;

(8722)623964

e-mail:

vestnik.dgtu@mail.ru

Website:

<http://vestnik.dgtu.ru/>

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ ..8

Бекренев Н.В., Макарова В.М., Павлов С.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРУКТУР НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ АДДИТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ 8

Дворянчиков В.И., Магомедов Д.А., Магомедова К.А., Миснахов И.Ш.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ПАНАРИЦИИ 18

Евдулов О.В., Магомадов Р.А.-М., Магомедова С.Г., Набиев Н.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВНУТРИПОЛОСТНОЙ ГИПОТЕРМИИ 32

Злобина И.В.

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ОТВЕРЖДЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МОЛНИЕЗАЩИТНЫМ СЕТЧАТЫМ ПОКРЫТИЕМ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ 42

Морозов С.А., Чукарин А.Н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ПРИ МЕСТНОМ УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ШАРИКО-СТЕРЖНЕВЫМ УПРОЧНИТЕЛЕМ 52

Пурусова И. Ю.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНАЯ РАБОТА ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ 59

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ 68

Алехин И.В., Бокова О.И., Rogozin E.A., Коробкин Д.И.

К ВОПРОСУ О ВЕРОЯТНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ УЩЕРБА В РЕЗУЛЬТАТЕ АТАКИ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ РЕСУРС ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ ТИПА «ОТКАЗ В ОБСЛУЖИВАНИИ» 68

Асланов Г.К., Асланов Т.Г., Мусаева У.А.

АНОМАЛЬНЫЕ ОШИБКИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ 78

Баламирзоев Н.Л.

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МИКРОКРЕДИТОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ 89

Ветров А.Н.

ТЕХНОЛОГИЯ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ 102

Тужиков Е.Н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗВЕНЬЯМИ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ДАТЧИКОВ НЕПОДВИЖНОГО СОСТОЯНИЯ 124

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА133

Абрамкина Д.В., Абрамян А.А., Шевченко-Эннс Э.Р.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛО-
ОТДАЧИ В СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯЦИИ С ТЕПЛОВЫМ ПОБУЖДЕНИЕМ.133**

Агапов В.П., Айдемиров К.Р.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С ТРЕЩИНАМИ
ПОСЛЕ ИХ УСИЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫМИ ТКАНЯМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕН-
ТОВ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРИНС142**

Багдасаров А.С., Нестеренко А.И., Пупкова А.Ю.

ПЕНОГИПСОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ ВЯЖУЩИХ153

Баутдинов Д.Т., Джамалудинов М.М., Жукова К.С.

**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ТРЕХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТУННЕЛЕЙ БЕЗ ОБ-
ДЕЛКИ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА АНИЗОТРОПНОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА162**

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ 172

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Daghestan State Technical University»
HERALD OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES. V o l u m e 4 5 , N o . 4 , 2 0 1 8 .

<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>Muhtaritdin 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. Davidiyuk, 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. Khadzhisalopov, 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 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. 45, No.4 Makhachkala, 2018–176p.</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>Bekrenev N. V., Makarova V. M., Pavlov S. P.</i> STUDY OF THE EFFECT OF COMPLEX-COMPOSITE STRUCTURES ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF THE POLYMER ADDITIVE MATERIALS	8
<i>Dvorjanchikov V. I., Magomedova K. A., Magomedov D. A., Mispahov I. Sh.</i> THERMOELECTRIC DEVICE FOR TREATMENT PANARIATION	18
<i>Evdulov O.V., Magomedova S.G., Magomadov R.A.-M., Nabiev N.A.</i> MODELING AND THEORETICAL RESEARCH OF THERMOELECTRIC SYSTEM FOR INTRACOLAR HYPOTHERMIA	32
<i>Zlobina I.V.</i> EFFECT OF MICROWAVE RADIATION ON STRENGTH CAPPED POLYMER COMPOSITION MATERIALS WITH LIGHTNESS PROTECTIVE RETAINED COATING LOW-CYCLE LOADING	42
<i>Morozov S. A., Chukarin A.N.</i> PILOT STUDIES OF PROCESS OF VIBROACOUSTIC DYNAMICS AT LOCAL HARDENING OF DETAILS A SHARIKO-ROD UPROCHNITEL	52
<i>Purusova I.Y.</i> ENERGETICALLY OPTIMAL WORK OF WATER INTAKE STRUCTURES FROM UNDERGROUND SOURCES	59
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT	68
<i>Alekhin I.V., Bokova O. I., Korobkin D.I, Rogozin E. A.</i> TO THE QUESTION OF THE PROBABILITY OF THE ATTACKMENT OF DAMAGE AS A RESULT OF ATTACK ON THE INFORMATION RESOURCE OF INFORMATION AND TECHNICAL SYSTEMS OF INTERNAL AFFAIRS TYPE "REFUSAL IN SERVICE	68
<i>Aslanov G.K., Aslanov T.G., Musaeva U.A.</i> ANOMALOUS ERRORS IN DETERMINING FOCUS COORDINATES EARTHQUAKES AND SUGGESTIONS FOR THEIR ELIMINATION	78
<i>Balamirzoev N.L.</i> BUILDING AN INTEGRAL INDICATOR OF THE EFFECTIVENESS OF THE MICROCREDIT SYSTEM BASED ON THE ANALYSIS OF MODELS OF QUALITY OF LIFE	89
<i>Vetrov A.N.</i> THE COGNITIVE MODELING TECHNOLOGY FOR THE FINANCIAL ANALYSIS OF THE FINANCIAL-ECONOMY ACTIVITY OF THE ORGANIZATION	102
<i>Tuzhikov E.N.</i> EXPERIMENTAL CHECK OF EFFECTIVE MANAGEMENT OF LINKS OF GAS AND SMOKE PROTECTIVE SERVICE AT INTRODUCTION OF SENSORS OF A MOTIONLESS STATE	124
BUILDING AND ARCHITECTURE	133
<i>Abramkina D.V., Abramyan A.A., Shevchenko-Enns E.R.</i> EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENTS IN THERMAL BUOYACY VENTILATION SYSTEM	133

Agapov V.P., Aydemirov K.R.

**INVESTIGATION OF THE CARRYING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE SLABS WITH
CRACKS AFTER THEIR REINFORCEMENT WITH COMPOSITE FABRICS BY THE FINITE
ELEMENT METHOD USING THE PRINS COMPUTER COMPLEX 142**

Bagdasarov A.S., Nesterenko A. I., Pupkova A.Yu.

FOAM GYPSUM PRODUCTS BASED ON LOCAL BINDERS 153

Bautdinov D.T., Djamaludinov M.M., Zhukova K.S.

**STRESSED STATE OF A SYSTEM OF THREE PARALLEL TUNNELS WITHOUT DRAWING
FROM OWN WEIGHT OF AN ANOTROPHONE ROCK MASSIF 162**

FORMATTING REQUIREMENTS FOR PAPERS 172

Для цитирования: Бекренев Н.В., Макарова В.М., Павлов С.П. Исследование влияния сложнопрофильных композиционных структур на теплофизические характеристики полимерных аддитивных материалов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (4): 8-17. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-8-17

For citation: Bekrenev N.V., Makarova V.M., Pavlov S.P. Study of the effect of complex-composite structures on the thermal characteristics of the polymer additive materials. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 8-17. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-8-17

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621-039-419; 620.22-419; 537.868

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-8-17

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРУКТУР НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ АДДИТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бекренев Н.В.¹, Макарова В.М.³, Павлов С.П.²

¹⁻³Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,

¹⁻³410054, г. Саратов, ул. Политехническая 77, Россия,

¹e-mail: nikolaj.bekrenev@yandex.ru, ²e-mail: pavlov@mail.ru,

³e-mail: irinka_7_@mail.ru

Резюме. Цель. Применение аддитивных технологий является одним из перспективных направлений совершенствования производства изделий различного назначения в условиях перехода к цифровой экономике. **Метод.** Послойное построение объектов сложной формы в соответствии с разработанной твердотельной моделью из материалов с различными механическими и теплофизическими свойствами позволяет направленно регулировать распределение различных компонентов в объеме композиционного материала и формировать топологические структуры, обеспечивающие рациональное соотношение различных эксплуатационных характеристик и надежность функционирования изделия. **Результат.** На основе экспериментальных исследований установлено, что упрочняющее топологическое армирование объектов 3D печати из пластика ABS композитом, состоящим из углеродных волокон и эпоксидной смолы ЭД-20, наряду с увеличением изгибной прочности и прочности на растяжение способствует повышению теплопроводности материала более, чем на 18 % и температуропроводности – на 20 %. Выполнено компьютерное моделирование элементарных ячеек композиционного материала, состоящих из полимерной матрицы, углеродного волокна и специальных профильных включений с повышенной теплопроводностью, что позволило определить возможность дополнительного повышения теплопроводности в зависимости от относительного диаметра волокна и процентного содержания дополнительного компонента в количестве от 46 до 75 %. **Вывод.** Показано, что аддитивные технологии являются эффективным инструментом создания универсальных топологий, позволяющих технологически управлять сочетанием как механических, так и теплофизических свойств конструкционных материалов за счет определения рационального взаимного расположения их компонентов в зависимости от назначения и уровня достижения требуемых характеристик.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 17-03-00720 «Методология оптимизационного микроконструирования композиционных материалов для объектов сложной формы повышенной динамической прочности, послойно формируемых электротехнологическими методами».

Ключевые слова: аддитивные технологии, неметаллические материалы, теплопроводность, температуропроводность, термические деформации, долговечность, топологическое структурирование, компьютерное моделирование

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

STUDY OF THE EFFECT OF COMPLEX-COMPOSITE STRUCTURES ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF THE POLYMER ADDITIVE MATERIALS

*Nikolaj V. Bekrenev*¹, *Valeria M. Makarova*³, *Sergei P. Pavlov*²

¹⁻²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,

¹⁻² 77 Politehnicheskaya Str., Saratov 410054, Russia,

¹e-mail: nikolaj.bekrenev@yandex.ru, ²e-mail: pavlov_@mail.ru,

³e-mail: irinka_7_@mail.ru

Abstract Objectives The use of additive technologies is one of the promising areas for improving the production of products for various purposes in the transition to a digital economy. **Method.** Layered construction of objects of complex shape in accordance with the developed solid-state model from materials with different mechanical and thermal properties allows directionally controlling the distribution of various components in the volume of the composite material and forming topological structures that provide a rational balance between various performance characteristics and reliability of the product. **Result.** Based on experimental studies, it has been established that reinforcing topological reinforcement of 3D printing objects made from ABS plastic with a composite consisting of carbon fibers and ED-20 epoxy resin, along with an increase in flexural strength and tensile strength, contributes to an increase in thermal conductivity of the material by more than 18% and thermal diffusivity - by 20%. A computer simulation of elementary cells of a composite material consisting of a polymer matrix, carbon fiber and special core inclusions with high thermal conductivity was performed, which made it possible to further increase thermal conductivity depending on the relative fiber diameter and the percentage of the additional component in an amount from 46 to 75%. **Conclusion** It is shown that additive technologies are an effective tool for creating universal topologies that allow technologically managing a combination of both mechanical and thermophysical properties of structural materials by determining the rational relative position of their components depending on the purpose and level of achievement of the required characteristics.

Acknowledgments The studies were carried out with the support of the RFBR grant No. 17-03-00720 "Methodology of optimization micro-design of composite materials for objects of complex shape with increased dynamic strength, which are layer-by-layer formed by electrotechnological methods".

Keywords: additive technologies, nonmetallic materials, thermal conductivity, thermal conductivity, thermal deformation, durability, topological structuring, computer modeling.

Введение. В настоящее время основное внимание в ведущих промышленных странах уделяется четырем направлениям научных исследований в интересах совершенствования производства: CAD/CAM/CAE технологии компьютерного проектирования сложных технических систем и процессов, робототехника, аддитивные технологии, композиционные материалы с иерархической структурой [1, 2]. Последние два направления тесно взаимосвязаны, поскольку наиболее эффективным методом формирования иерархической структуры материалов в условиях многономенклатурного производства, согласно разнообразным требованиям заказчиков, является послойное нанесение моно- или многокомпонентных составов (аддитивные процессы). При этом большое внимание уделяется качеству материалов. В последнее время получают все большее распространение в различных областях производства аддитивные технологии прямого формирования трехмерных объектов любой сложности формы на основе разработанной компьютерной твердотельной модели [3-6]. Среди различных методов данного технологического направления технология FDM позволяет формировать композиционные изделия из различных полимерных материалов в соответствии с заданной структурой путем наплавления на

платформу расплавленной в экструдере нити из термопластичных материалов типа ABS, PLA и др.

При этом принцип аддитивности позволяет создавать необходимый по структуре и составу материал непосредственно в процессе формообразования изделия и управлять его свойствами, что стало реальным после создания 3D принтеров, оснащенных головками для 4-х компонентной печати.

Достижения материаловедения и цифровых технологий позволяют таким методом изготавливать объекты размерами более 500 мм с толщинами стенок до 0,5 мм, которые могут использоваться не только как модели, прототипы или литьевые формы, но и в производстве основных изделий.

Отмечается перспективность изготовления по технологии FDM и аналогичными методами элементов конструкций воздушного и наземного транспорта, на международных выставках уже представлялись дистанционно пилотируемые малоразмерные летательные аппараты и управляемые снаряды, в основном изготовленные из полимерных материалов путем трехмерной печати. Изложенное делает актуальным совершенствование, как самих аддитивных материалов, так и технологий формирования изделий из них для наиболее полного удовлетворения требований различных отраслей промышленности.

Постановка задачи. Несмотря на перспективность и быстрое распространение аддитивных технологий сдерживающим фактором их применения в основном производстве, особенно изделий из полимерных и композиционных материалов, является невысокая механическая прочность, вызванная ячеистой (сетчатой) структурой слоев материала.

Использование сплошной монолитной структуры значительно увеличивает продолжительность формирования объекта, что может стать экономически невыгодным в основном производстве. Упрочнение изделия путем местного конструктивного усиления приводит к росту габаритных размеров, применение встроенных конструкций из другого материала с высокими прочностными характеристиками может привести к увеличению веса, что нежелательно, частности, для сверхлегких летательных аппаратов типа квадрокоптеров.

Выполненные отечественными и зарубежными учеными исследования показали целесообразность местного упрочнения полимерных композиционных материалов путем армирования в зонах с прогнозируемыми повышенными напряжениями, полученными путем моделирования полей напряжений [7-11]. Нами также были получены положительные результаты по формированию упрочняющей топологии в виде армированного углеродными волокнами композита в объектах трехмерной печати путем выкладки армирующего материала в соответствии с полученным на основе компьютерного моделирования распределением полей напряжений. При этом полости для заполнения, имеющие сложную форму, были получены в процессе трехмерной печати основы из пластика ABS [12-14].

Для изделий, эксплуатирующихся в условиях температурных градиентов, например, в высокогорных районах, в Арктике и Антарктике, для воздушного транспорта наличие в структуре разнородных материалов может привести к различным по уровню тепловым деформациям, что может вызвать не только значительное нарушение формы, но и разрушение межфазного слоя, разрушение крепежных элементов, нарушение герметичности и т.п. Необходимо обеспечить повышенную теплопроводность элемента конструкции, чтобы нивелировать указанные различия, вызванные температурными градиентами.

Целью исследований явилось изучение кинетики нагрева и теплопроводности образцов, сформированных по технологии FDM из пластика ABS, влияния армирующей композиционной топологической структуры на основе углеродного волокна на указанные параметры и оценка возможности повышения теплопроводности изделий из аддитивных материалов.

Методы исследования. Для исследования теплофизических характеристик образцов с топологической структурой, полученных путем 3D печати, использовали нить толщиной 1,75 мм из пластика ABS из которой на 3D принтере Felix 3.1 Single Extruder формировали пластины соответственно длиной, шириной и толщиной 120, 40 и 5,0 мм. В соответствии с чертежом в

образцах выполнены на противоположных сторонах пазы, заглубленные до средней линии симметрии. При моделировании использовали программную среду Comsol, твердотельную модель нагружали растягивающими силами в 1000 Н. Чертеж образца с выявленными полями напряжений выполняли в программной среде Kompas-3D V.15, затем полученное трехмерное изображение транслировали в формат STL и осуществляли печать. Полости послойно заполняли углеродным волокном производства ООО «Балаково Карбон Продакшн» (г. Балаково Саратовской обл.) и эпоксидной смолой ЭД-20 с отвердителем ПЭПА в соотношении 10:1.

Содержание волокна в композиции составляло (70-75) %. Волокна распределяли таким образом, чтобы они без разрывов связывали все полости и углубления, сформированные принтером согласно твердотельной модели.

Для определения теплофизических характеристик образцов применяли метод Паркера в варианте, описанном в [15,16]. Для нагрева образцов использовали специально разработанную установку с источником в виде прожектора FL(ИО) 1000 IP54 ИЭК LPI01-1-1000-K01 (Россия) (рис. 1) и механизмом регулирования расстояния от источника теплового излучения до образца.

Тепловые поля записывали при помощи тепловизора модели FLIR E40 (США) с калибровкой температуры в опорных точках при помощи пирометра Testo 830-T1 (Германия). Источник теплового излучения закрывался металлическим экраном с вертикальной щелью длиной 100 и шириной 8 мм, напротив которой устанавливали образец.

Тепловизор размещали за образцом на расстоянии в соответствии с паспортными данными. Нагрев выполняли до появления на экране тепловизора полей, соответствующих температуре 150 °С.



Рис. 1. Экспериментальная установка для нагрева образцов
Fig. 1. Experimental setup for heating samples

Анализировали тепловые поля для каждого из изучаемых материалов (без армирования и с армированием), при этом в соответствии с методикой [16] по термограмме определяли время нагрева образца до температуры, соответствующей половине конечного значения. На основе полученных данных по ниже приведенным зависимостям (1), (2) [16] рассчитывали коэффициенты температуро- и теплопроводности.

Для изучения кинетики нагрева с термограммы каждые 10 с снимали значения температуры образца в среднем сечении и на его периферии.

$$\alpha = Fo \frac{L^2}{\tau_{0,5}}, \quad (1)$$

$$T_{st} = \frac{W\alpha}{\lambda L}, \text{ откуда } \lambda = \frac{W\alpha}{T_{st}L}, \quad (2)$$

где $Fo = 0,1388$ – число Фурье, коэффициент при времени нагрева $\tau = \tau_{0,5}$; L – толщина пластины (образца); $\tau_{0,5}$ – время достижения половины амплитуды перегрева образца; λ – теплопроводность; α – температуропроводность; T_{st} – избыточная температура (стационарное значение) задней поверхности образца; W плотность поглощенной энергии.

Обсуждение результатов. Кинетика нагрева передней и задней (по отношению к источнику тепла) поверхности образцов представлена на рис. 2 и 3, результаты расчетов – табл. 1.

Таблица 1. Расчетные теплофизические характеристики образцов
Table 1. Estimated thermophysical characteristics of samples

Температуропроводность α и теплопроводность λ Thermal diffusivity α and thermal conductivity λ	ABS с топологией ABS topology	ABS	Δ , %
$\alpha \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$	15,6	13	20
$\lambda, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	11,03	9,3	18,6

При анализе графиков (рис. 2, 3) можно отметить, что при нагреве образцов из пластика за 80 с разница в температуре передней и задней стенки составила в среднем 71%.

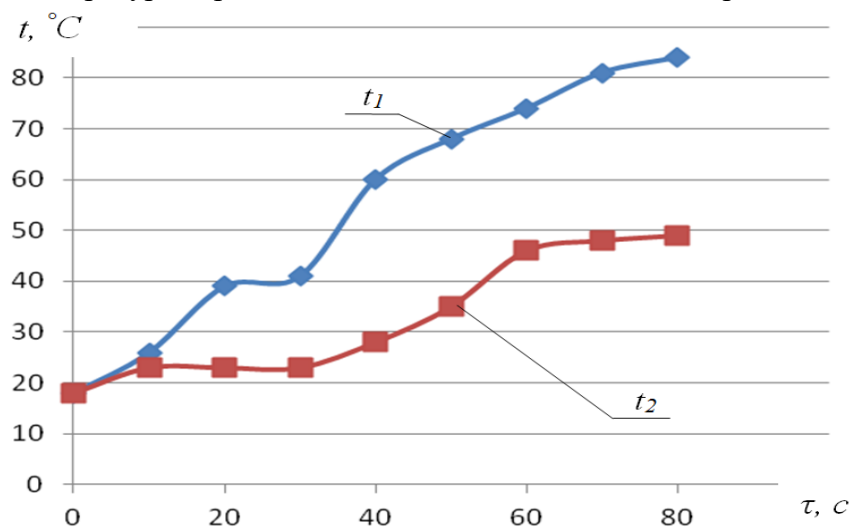


Рис. 2. Кинетика нагрева образца из пластика ABS
 t_1 – передняя сторона, t_2 – задняя сторона
Fig. 2. The kinetics of heating a sample of ABS plastic
 t_1 - front side, t_2 - back side

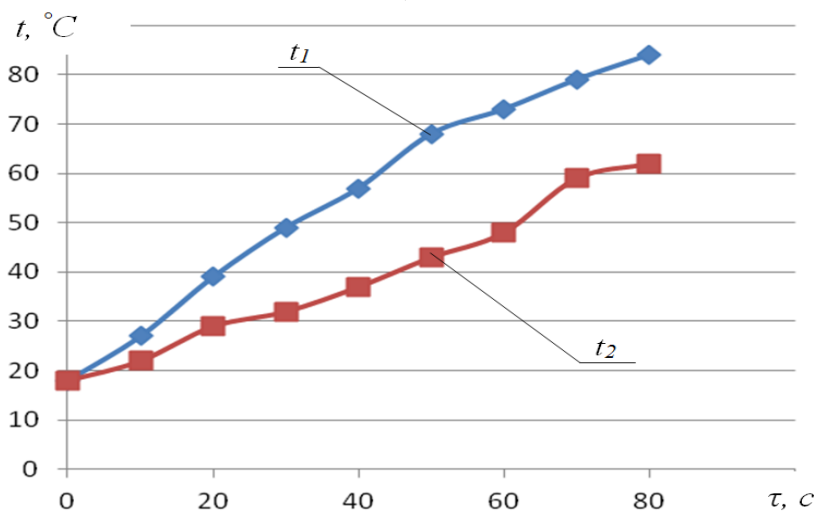


Рис. 3. Кинетика нагрева образца из пластика ABS
 t_1 – лицевая сторона (обращена к источнику тепла), t_2 – тыльная сторона (не имеет прямого воздействия от источника тепла)
Fig. 3. The kinetics of heating a sample of ABS plastic.
 t_1 is the front side (facing the heat source), t_2 is the back side (it does not have a direct impact from the heat source)

Зависимости имеют ломаный характер – за первые 20 с нагрева различие в температуре составляет также около 70 %, но за последующие 20 с достигает 2-х раз, затем вновь уменьшается.

При нагреве образцов с топологией на основе углепластика различие в температуре составляет 35 %, обе ветви графика плавные, указанное различие в температуре сохраняется практически в течение всего времени нагрева, начиная с 20 с.

Таким образом, образец с упрочняющим армированием путем формирования углеком-позитной структуры при воздействии теплового потока оказывается нагретым существенно более равномерно и, соответственно, будет надежнее функционировать в объекте, подверженном воздействию меняющихся тепловых полей.

Данный результат подтверждается рассчитанной температуро- и теплопроводностью образцов, которые у армированного образца оказались соответственно на 20 % и 18,6 % выше, чем у контрольного.

Полученные изменения теплофизических характеристик образцов могут быть объяснены существенным их различием для основного и армирующего материалов. Согласно справочным данным основной и армирующий материалы обладают не только различной прочностью, но разными тепло- и электрофизическими характеристиками.

Так, пластик ABS имеет теплопроводность от 0,12 до 0,22 Вт/м·град, композит на основе стекловолокна – от 0,35 до 0,75 Вт/м·град, композит на основе углеродного волокна – от 0,8 до 20,9 Вт/м·град. То есть основной и армирующий материалы имеют теплопроводность, различающуюся на порядки, что с учетом неравномерности заполнения образца композитом и наличия межфазного слоя, не обеспечивающего полного контакта приводит к снижению сопротивления распространению теплового потока и его выравниванию по объему.

Очевидно, что для повышения интенсивности тепловых потоков через межфазную зону целесообразно разместить в окрестностях углеродных волокон структуры с повышенной теплопроводностью, имеющие хороший контакт с матрицей основного материала. В этом случае межфазная зона будет обтекаться потоком тепла и проводимость материала для него повысится.

В программной среде Comsol выполнено моделирование топологических теплопроводных структур для случая элементарной ячейки композиционного материала с размещенным в средней части волокном различного диаметра (табл.2).

Были рассчитаны значения теплопроводности композиционного материала ячейки с учетом формы топологии и относительного сечения армирующего волокна.

Условные коэффициенты термической проводимости основного материала и включения были приняты, соответственно равными $k_0=10$, $k_1=100$. Коэффициент термической проводимости волокна принимали равным $k_B = 50$.

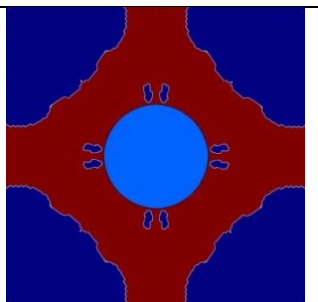
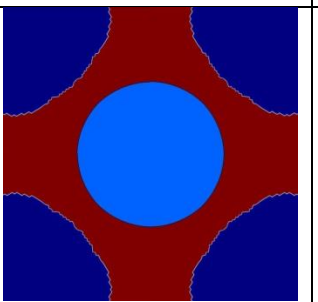
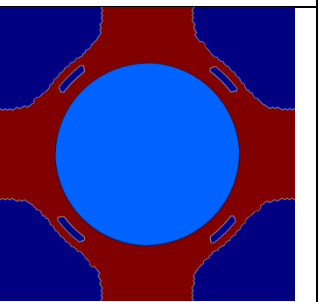
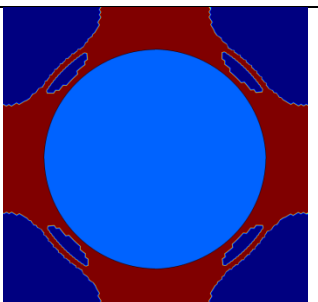
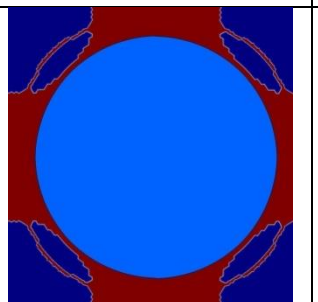
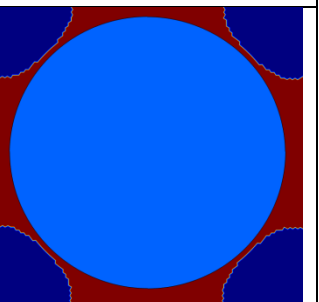
Видно, что при малых соотношениях площади сечения волокна и площади ячейки путем введения дополнительного компонента обеспечивается повышение теплопроводности ячейки на 46 %, при увеличении доли площади сечения волокна в общей площади ячейки этот параметр плавно возрастает и достигает практически 70 % при площади сечения волокна, составляющей половину площади ячейки.

При этом относительная доля дополнительного компонента невелика, что можно считать положительным фактором, поскольку его введение может случайным образом повлиять на другие функциональные свойства материала.

Таким образом, для повышения теплопроводности полимерных аддитивных материалов, подвергнутых упрочнению путем формирования топологических структур, необходимо обеспечить в области этих структур концентрацию армирующих волокон не менее 50 % от общего объема материала, а в межфазной зоне сформировать теплопроводную топологию на основе компьютерного моделирования с учетом теплофизических характеристик основного материала, армирующих волокон и дополнительного включения.

Таблица 2. Результаты моделирования теплопроводной структуры в межфазной зоне композиционного материала, армированного углеродным волокном

Table 2. The simulation results of the heat-conducting structure in the interfacial zone of the carbon fiber-reinforced composite material

Отношение площади сечения волокна к площади элементарной ячейки, P The ratio of the cross-sectional area of the fiber to the area of the unit cell, P	0.1	0.2	0.3
Результат моделирования Simulation result			
%% увеличения теплопроводности ячейки, $tr(k)/2$ %% increase in cell thermal conductivity, $tr(k)/2$	46.116	53.371	58.841
Отношение площади сечения волокна к площади элементарной ячейки, P The ratio of the cross-sectional area of the fiber to the area of the unit cell, P	0.4	0.5	0.6
Результат моделирования Simulation result			
%% увеличения теплопроводности ячейки, $tr(k)/2$ %% increase in cell thermal conductivity, $tr(k)/2$	63.987	69.067	74.71

Данный подход может быть успешно реализован с использованием аддитивных технологий, использующих возможности многокомпонентной печати, что подтверждается выполненными нами экспериментальными исследованиями.

Вывод. Установлено, что упрочняющее топологическое армирование объектов 3D печати из пластика ABS композитом, состоящим из углеродных волокон и эпоксидной смолы ЭД-20, наряду с увеличением изгибной прочности и прочности на растяжение способствует повышению теплопроводности материала более, чем на 18 % и температуропроводности – на 20 %.

На основе компьютерного моделирования показана возможность повышения теплопроводности в зависимости от относительного диаметра волокна и процентного содержания дополнительного компонента в межфазной зоне от 46 до 75%.

Сочетание упрочняющей и теплофизической оптимизации структуры ПКМ позволит сформировать заданный условиями эксплуатации объекта, оптимизированный комплекс свойств, что особенно важно для динамичных объектов, находящихся в условиях высоких температурных градиентов, например, космических аппаратов, а также инженерных конструкций и транспортной техники для зон Крайнего Севера и Антарктиды.

Библиографический список:

1. Публичный аналитический доклад по направлению «Новые производственные технологии» [Электронный ресурс] / М.: Сколковский Институт Науки и Технологий – 2015. – 210 с. – Режим доступа: URL: <https://maginnov.ru/assets/files/analytics/publichnyj-analiticheskij-doklad-po-napravleniyu-novye-proizvodstvennye-tehnologii.pdf>. (30.11.2018)
2. Bourell D. L. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead [Текст] / D. L. Bourell, J. J. Beaman, Jr., M. C. Leu, and D. W. Rosen // RapidTech 2009: U.S. –Turkey Workshop on Rapid Technologies. Erfurt, 2009. P. 5-11.
3. The 3-D Printing Revolution: Dreams Made Real One Layer at a Time [Текст] / R. Ehrenberg // Science News. – 2013. March 9. – P. 20-25.
4. Козлов Б. Г. Предпосылки роста аддитивных технологий в России [Электронный ресурс] / Б. Г. Козлов // Екатеринбург, Междунар. выставка «ИННОПРОМ-2017». – Режим доступа: URL: <https://www.innoprom.com/media/presentations/kruglyy-stol-additivnye-tekhnologii-luchshie-praktiki/>. (30.11.2018)
5. Антонов Ф. К. 3D-печать композитов: тренды, перспективы, применение [Электронный ресурс] / Ф. К. Антонов // Екатеринбург, Междунар. выставка «ИННОПРОМ-2017». – Режим доступа: URL: <https://www.innoprom.com/media/presentations/kruglyy-stol-additivnye-tekhnologii-luchshie-praktiki/>. (30.11.2018)
6. Павлов С. П. Оптимизация формы термоупругих тел [Текст] / С. П. Павлов, В. А. Крысько. – Монография. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2000. – 160 с.
7. Павлов С. П. Оптимальное армирование стержней в задачах кручения [Текст] / С. П. Павлов, М. В. Жигалов, Т. С. Балабуха // Межвуз. научн. сб. «Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред». Саратов: Изд-во СГТУ, 2009. – С.151-157.
8. Павлов С. П. Влияние свойств межфазового слоя на эффективные механические характеристики нано композитов [Текст] / С. П. Павлов, Р. С. Пальков // Материалы V междунар. конф. «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (DFMN-2013). М., 2013 г. – С. 554-556.
9. Ahmad A. A. Optimal Design of Tow-Placed Pressurized Fuselage Panels for Maximum Failure Load with Buckling Considerations [Текст] / A. A. Ahmad, M. M. Abdalla, and Z. Gurdal // Journal of Aircraft. – 2010. – Vol. 47. – № 3. – P. 775-782.
10. Nomura, T. Simultaneous optimization of topology and orientation of anisotropic material using isoparametric projection method [Текст] / Tsuyoshi Nomura, Ercan M. Dede, Tadayoshi Matsumori, Atushi Kawamoto // 11th World congress on structural and multidisciplinary optimization (7-12th June 2015). – Sydney, Australia, 2015.
11. Злобина И. В. Исследование прочности модифицированных в СВЧ электромагнитном поле объектов 3D печати, армированных композитом с углеродным волокном [Текст] / И. В. Злобина, Н. В. Бекренев, С. П. Павлов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2017. – Т. 17. – № 4. – С. 70-81.
12. Злобина И. В. Методика проектирования и изготовления деталей сложной формы с применением аддитивных технологий с применением неметаллических композиционных материалов с топологической структурой [Текст] / И. В. Злобина, Н. В. Бекренев, С. П. Павлов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – № 6. – С. 69-75.
13. Павлов С. П. Оптимизация армирования элементов микромеханических приборов для геологических изысканий: компьютерное моделирование и эксперимент [Текст] / С. П. Павлов, Н. В. Бекренев, И. В. Злобина и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 3. – С. 44-52.
14. Фалилеев А.Д. Практическая реализация метода Паркера для определения теплопроводности [Текст] // Современная техника и технологии: сб. XVIII междунар. научно-практ. конф. В 3 т. – Т. 3. – Томск. – 2012. – С. 137-138.
15. Вавилов В. П. Определение теплофизических характеристик материалов методом термографии [Текст] / В. П. Вавилов, В. Г. Торгунаков, Д. А. Нестерук и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 2. – С. 130-134.

References:

1. Publichnyy analiticheskiy doklad po napravleniyu «Novyye proizvodstvennyye tekhnologii» [Elektronnyy resurs] / M.: Skolkovskiy Institut Nauki i Tekhnologii – 2015. – 210 s. – Rezhim dostupa: URL: <https://maginnov.ru/assets/files/analytics/publichnyj-analiticheskij-doklad-po-napravleniyu-novye-proizvodstvennyye-tehnologii.pdf>. (30.11.2018) [Public analytical report on the direction of "New production technologies" [Electronic resource] / M.: Skolkovsky Institute of Science and Technology - 2015. - 210 p. - Access mode: URL: <https://maginnov.ru/assets/files/analytics/publichnyj-analiticheskij-doklad-po-napravleniyu-novye-proizvodstvennyye-tehnologii.pdf>. (11/30/2018) (in Russ.)]
2. D.L. Bourell, J.R. Bourell, J.J. Beaman, Jr., M.C. Leu, and D.W. Rosen // RapidTech 2009: U.S. –Turkey Workshop on Rapid Technologies. Erfurt, 2009. p. 5-11. (in Russ.)]
3. The 3-D Printing Revolution: Dreams Made It Real One Layer at a Time [Text] / R. Ehrenberg // Science News. - 2013. March 9. - P. 20-25.
4. Kozlov B. G. Predposylki rosta additivnykh tekhnologiy v Rossii [Elektronnyy resurs] / B. G. Kozlov // Yekaterinburg, Mezhdunar. vystavka «INNOPROM-2017». – Rezhim dostupa: URL: <https://www.innoprom.com/media/presentations/kruglyy-stol-additivnye-tehnologii-luchshie-praktiki/>. (30.11.2018) [Kozlov B. G. Prerequisites for the growth of additive technologies in Russia [Electronic resource] / B. G. Kozlov // Ekaterinburg, Intern. exhibition "INNOPROM-2017". - Access mode: URL: <https://www.innoprom.com/media/presentations/kruglyy-stol-additivnye-tehnologii-luchshie-praktiki/>. (11/30/2018) (in Russ.)]
5. Antonov F. K. 3D-pechat' kompozitov: trendy, perspektivy, primeneniye [Elektronnyy resurs] / F. K. Antonov // Yekaterinburg, Mezhdunar. vystavka «INNOPROM-2017». – Rezhim dostupa: URL: <https://www.innoprom.com/media/presentations/kruglyy-stol-additivnye-tehnologii-luchshie-praktiki/>. (30.11.2018) [Antonov FK. 3D printing of composites: trends, prospects, application [Electronic resource] / FK Antonov // Ekaterinburg, Intern. exhibition "INNOPROM-2017". - Access mode: URL: <https://www.innoprom.com/media/presentations/kruglyy-stol-additivnye-tehnologii-luchshie-praktiki/>. (11/30/2018) (in Russ.)]
6. Pavlov S. P. Optimizatsiya formy termouprugikh tel [Tekst] / S. P. Pavlov, V. A. Krys'ko. – Monografiya. – Saratov: Izd-vo SGTU, 2000. – 160 s. [Pavlov S. P. Optimization of the shape of thermoelastic bodies [Text] / S. P. Pavlov, V. A. Krysko. - Monograph. - Saratov: Publishing house SSTU, 2000. - 160 p.(in Russ.)]
7. Pavlov S. P. Optimal'noye armirovaniye sterzhney v zadachakh krucheniya [Tekst] / S. P. Pavlov, M. V. Zhigalov, T. S. Balabukha // Mezhvuz. nauchn. sb. «Problemy prochnosti elementov konstruksiy pod deystviyem nagruzok i rabochikh sred». Saratov: Izd-vo SGTU, 2009. – S.151-157. [Pavlov S. P., Optimal Reinforcement of Rods in Torsion Problems [Text] / S. P. Pavlov, M. V. Zhigalov, and T. S. Balabukha, // Mezhvuz. scientific Sat "Problems of strength of structural elements under the action of loads and working environments." Saratov: Publishing house SSTU, 2009. - P.151-157. (in Russ.)]
8. Pavlov S. P. Vliyaniye svoystv mezhfazovogo sloya na effektivnyye mekhanicheskiye kharakteristiki nano kompozitov [Tekst] / S. P. Pavlov, R. S. Pal'kov // Materialy V mezhdunar. konf. «Deformatsiya i razrushe-niye materialov i nanomaterialov» (DFMN-2013). M., 2013 g. – S. 554-556. [Pavlov S. P. The influence of the properties of the interphase layer on the effective mechanical characteristics of nano composites [Text] / S. P. Pavlov, R. S. Palkov // Proceedings of the V Intern. conf. "Deformation and destruction of materials and nanomaterials" (DFMN-2013). M., 2013 - p. 554-556. (in Russ.)]
9. Ahmad A. A. Optimal Design of the Tow-Placed Pressurized Fuselage for Maximum Failure Load with Bucking Considerations [Text] / A. A. Ahmad, M. M. Abdalla, and Z. Gurdal // Journal of Aircraft. - 2010. - Vol. 47. - №. 3. - p. 775-782.
10. Nomura, T. Simulation and orientation of anisotropic material using isoparametric projection method [Text] / Tsuyoshi Nomura, Ercan M. Dede, Tadayoshi Matsumori, Atushi Kawamoto // 11th World Congress and Multidisciplinary optimization (7-12th June 2015). - Sydney, Australia, 2015.
11. Zlobina I. V. Issledovaniye prochnosti modifitsirovannykh v SVCH elektromagnitnom pole ob'yektov 3D pechati, armirovannykh kompozitom s uglerodnym voloknom [Tekst] / I. V. Zlobina, N. V. Bekrenev, S. P. Pavlov // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroyeniye. – 2017. – T. 17. – № 4. – S. 70-81. [Zlobina I. V. Study of the strength of objects of 3D printing reinforced with carbon fiber composite modified in a microwave electromagnetic field [Text] / I. V. Zlobina, N. V. Bekrenev, S. P. Pavlov // Yuzhno-Uralsky Bulletin State University. Series: Mechanical Engineering. - 2017. - V. 17. - № 4. - P. 70-81. (in Russ.)]
12. Zlobina I. V. Metodika proyektirovaniya i izgotovleniya detaley slozhnoy formy s primeneniyyem additivnykh tekhnologiy s primeneniyyem nemetallicheskiykh kompozitsionnykh materialov s topologicheskoy struktu-roy [Tekst] / I. V. Zlobina, N. V. Bekrenev, S. P. Pavlov // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2017. – № 6. – S. 69-75. [Zlobina I. V. Methods of designing and manu-

- facturing parts of complex shape using additive technologies using non-metallic composite materials with a topological structure [Text] / I. V. Zlobina, N. V. Bekrenev, S. P. Pavlov // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - 2017. - № 6. - p. 69-75. (in Russ.)]
13. Pavlov S. P. Optimizatsiya armirovaniya elementov mikromekhanicheskikh priborov dlya geologicheskikh izyskaniy: komp'yuternoye modelirovaniye i eksperiment [Tekst] / S. P. Pavlov, N. V. Bekrenev, I. V. Zlobina i dr. // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2018. – Т. 329. – № 3. – S. 44-52. [Pavlov S. P. Optimization of the reinforcement of elements of micro-mechanical instruments for geological surveys: computer simulation and experiment [Text] / S. P. Pavlov, N. V. Bekrenev, I. V. Zlobin, etc. // Tomsk Bulletin Polytechnic University. Georesource engineering. - 2018. - V. 329. - № 3. - P. 44-52.]
 14. Falileyev A.D. Prakticheskaya realizatsiya metoda Parkera dlya opredeleniya temperaturoprovodnosti [Tekst] // Sovremennyye tekhnika i tekhnologii: sb. XVIII mezhdunar. nauchno-prakt. konf. V 3 t. – Т. 3. – Tomsk. – 2012. – S. 137-138. [Falileyev A.D. Practical implementation of the Parker method for determining the thermal diffusivity [Text] // Modern technology and technology: Sat. XVIII Intern. scientific and practical conf. In 3 t. - Т. 3. - Tomsk. - 2012. - p. 137-138. (in Russ.)]
 15. Vavilov V. P. Opredeleniye teplofizicheskikh kharakteristik materialov metodom termografii [Tekst] / V. P. Vavilov, V. G. Torgunakov, D. A. Nesteruk i dr. // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2006. – Т. 309. – № 2. – S. 130-134. [Vavilov V. P. Determination of thermophysical characteristics of materials by thermography [Text] / V. P. Vavilov, V. G. Torgunakov, D. A. Nesteruk, etc. // Bulletin of Tomsk Polytechnic University. - 2006. - Т. 309. - № 2. - P. 130-134. Bekrenev N.V., Makarova M. V., Pavlov S.P. (in Russ.)]

Сведения об авторах.

Бекренев Николай Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая механика и детали машин».

Макарова Валерия Михайловна – студентка.

Павлов Сергей Петрович – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра «Математика и моделирование».

Information about the authors.

Nikolai V. Bekrenev – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Technical mechanics and machine parts.

Valeria M. Makarova – Student.

Sergei P. Pavlov – Dr. Sci. (Physical and Mathematical), Prof., Department of Mathematics and Modeling.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.11.2018.

Принята в печать 25.12.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 30.11.2018.

Accepted for publication 25.12.2018.

Для цитирования: Дворянчиков В.И., Магомедов Д.А., Магомедова К.А., Миспахов И.Ш. Термоэлектрическое устройство для лечения панариция. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (4):18-31. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-18-31

For citation: Dvorjanchikov V. I., Magomedova K. A., Magomedov D. A., Mispahov I. Sh. Thermoelectric device for treatment panariation. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4):18-31. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-18-31

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-18-31

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ПАНАРИЦИЯ

Дворянчиков В.И.¹, Магомедов Д.А.², Магомедова К.А.⁴, Миспахов И.Ш.³

¹Институт проблем геотермии ДНЦ РАН,

¹367030, г. Махачкала, просп. И. Шамиля, 39А, Россия,

²⁻⁴Дагестанский государственный технический университет,

²⁻⁴367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

¹e-mail: vasilij_dv01@mail.ru, ²e-mail: admi52@mail.ru,

³e-mail: igram.mispahov@yandex.ru, ⁴e-mail: nice.kumsiyat@mail.ru.

Резюме. Целью исследования является разработка термоэлектрического прибора для лечения панариция, его математическое моделирование, экспериментальные испытания лабораторного макета устройства, исследование теплофизических процессов, протекающих в нем. **Метод.** Предложена конструкция термоэлектрического устройства для лечения панариция, предусматривающая возможность, как равномерного, так и контрастного лечебного теплового воздействия на пальцы. **Результат.** Разработана математическая модель прибора, реализованная на основе решения нестационарной двумерной задачи теплопроводности для системы сложной конфигурации с граничными условиями второго и третьего рода. Выполнены экспериментальные исследования устройства на специально разработанном стенде для проверки адекватности математической модели. Решена двумерная нестационарная задача теплопроводности для сложной системы с прямоугольной геометрией фрагментов и источников теплоты. Исследовано изменение температуры различных точек системы «прибор-объект» воздействия в пространстве и во времени при различных величинах холодо- и теплопроизводительности термоэлектрической батареи (ТЭБ). Осуществлено сопоставление расчетных и экспериментальных данных. **Вывод.** Результаты исследований показали эффективность применения разработанного устройства для реализации тепловых процедур при лечении панариция в части эффективности, универсальности, надежности воздействия, комфортности и точности поддержания температурных режимов работы. Показано, что повысить эффективность работы прибора возможно, используя комбинирование режимов работы ТЭБ (максимальной холодопроизводительности и максимального холодильного коэффициента), а также улучшив интенсивность теплоотвода от его опорных спаев.

Ключевые слова: термоэлектрическое устройство, панариций, модель, численный эксперимент, экспериментальный стенд, натурные испытания, оптимизация

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

THERMOELECTRIC DEVICE FOR TREATMENT PANARIATION

Vasily I. Dvorjanchikov¹, Kumsiyat A. Magomedova⁴, Davud A. Magomedov²,
Igramidin Sh. Mispahov³

¹Institute of Problems of Geothermy, DSC RAS,

¹39A I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²⁻⁴Daghestan State Technical University,

²⁻⁴70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: vasily_dv01@mail.ru, ²e-mail: admi52@mail.ru,

³e-mail: igram.mispahov@yandex.ru, ⁴e-mail: nice.kumsiyat@mail.ru.

Abstract Objectives The aim of the study is to develop a thermoelectric device for the treatment of felon, its mathematical modeling, experimental tests of the laboratory model of the device, the study of thermal processes occurring in it. **Method.** A design of a thermoelectric device for the treatment of felon, providing the possibility of both uniform and contrasting therapeutic heat effects on the fingers is proposed. **Result.** A mathematical model of the device has been developed, implemented on the basis of solving a non-stationary two-dimensional heat conduction problem for a system of complex configuration with boundary conditions of the second and third kind. Experimental studies of the device were carried out on a specially designed test bench for checking the adequacy of the mathematical model. A two-dimensional non-stationary heat conduction problem was solved for a complex system with a rectangular geometry of fragments and heat sources. The temperature change of various points of the "device-object" system of exposure in space and in time at various values of the cooling and heating capacity of a thermoelectric battery (TEB) was studied. Comparison of calculated and experimental data. **Conclusion.** The results of research have shown the effectiveness of the use of the developed device for the implementation of thermal procedures in the treatment of felon in terms of efficiency, versatility, impact reliability, comfort and accuracy of maintaining temperature conditions. It is shown that it is possible to increase the efficiency of the device using a combination of thermopile operation modes (maximum cooling capacity and maximum coefficient of performance), as well as improving the intensity of heat removal from its reference junctions.

Keywords: thermoelectric device, felon, model, numerical experiment, experimental stand, field tests, optimization

Введение. В последние годы отмечается значительный рост гнойно-воспалительных заболеваний кисти – разновидностей панариция и флегмон. По статистическим данным [1] гнойные заболевания пальцев и кисти занимают первое место по частоте среди всех гнойных процессов. От всех первичных больных, обращающихся к хирургу, больные с панарициями и флегмонами кисти составляют от 15% до 31%.

Результаты традиционного хирургического лечения нагноившихся ран, а также открытых переломов фаланг пальцев и кисти, во многих случаях неудовлетворительны из-за частых повторных операций (17,1%), ампутаций пальцев (7,1%) и неблагоприятных функциональных и эстетических исходов. Повторные операции приводят к инвалидности у больных. Как правило, любая форма панариция сопровождается спонтанными болевыми ощущениями в области поражения. При далеко зашедшем процессе воспаления может распространиться на весь палец или на всю кисть, что вызовет существенные осложнения при последующем лечении. В амбулаторной практике для лечения панариция в начальном периоде (серозно-инфильтративной фазе) предложены разнообразные консервативные средства: ручные ванны, мазевые повязки, водочные компрессы, спиртовые ванночки [2].

Особое место в лечении ранних форм панариция и флегмоны кисти занимают ручные ванны [3]. Однако известно, что горячие ручные ванны, независимо от состава водной среды, способствуют отеку и набряканию воспаленных тканей пальцев и кисти, усиливают застойные явления в очаге воспаления, ухудшают микроциркуляцию, способствуют форсированному накоплению в очаге воспаления продуктов метаболизма и в целом негативно сказываются на результатах лечения.

Для консервативного лечения панариция также применяются новокаиновые блокады, инфильтрация очага поражения 1%-ным раствором диоксида, рентгенотерапия аппликация радиоактивного кобальта, ультразвук, лазерное воздействие [4-9]. Однако из-за этиопатогенетической необоснованности лечебного действия перечисленных средств, низкой их терапевтической эффективности, громоздкости и технической сложности применения они не имеют широкого распространения в лечебной практике.

Для лечения начальных форм панариция предлагается местная пролонгированная гипотермия [10]. Она в серозно-инфильтративной фазе панариция и флегмоны кисти обладает мощным этиопатогенетическим лечебным эффектом и позволяет клинически дифференцировать фазу серозной инфильтрации от гнойно-воспалительных изменений в тканях. Здесь необходимо отметить, что техническая реализация данного метода недостаточна. К недостаткам существующих современных средств гипотермии следует отнести отсутствие точной регулировки температуры и длительности воздействия, невозможность реализации контрастных процедур, связанных с попеременным нагревом и охлаждением пораженной зоны, «не комфортное» восприятие процедур пациентами.

Постановка задачи. Целесообразным является разработка новых технических средств для проведения таких процедур, имеющих высокие эксплуатационные показатели. С точки зрения эффективности, универсальности и надежности работы в данном отношении выгодным является применение термоэлектрических приборов и устройств.

В последнее время в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание вопросу создания и использования термоэлектрических преобразователей энергии для различных отраслей медицины, в которых возможна реализация методик теплового лечения заболеваний [11-14]. Данный интерес обусловлен существенными преимуществами термоэлектрической техники [15], которые состоят в высокой надежности устройств, их компактности, экологичности и бесшумности, возможности быстрого перехода из режима охлаждения в режим нагрева, независимости проводимых процедур от положения прибора в пространстве и др. Однако применительно к области медицины, касающейся лечения гнойных заболеваний пальцев кисти, термоэлектрические устройства в настоящее время не используются.

При значительном прогрессе в термоэлектрической технике работы по приборам подобного типа практически отсутствуют, не разработаны в полной мере их теоретические основы, не указаны эффективные режимы работы, не определены области целесообразного применения и т.д. В связи с этим целью работы является разработка термоэлектрического прибора для лечения панариция, его математическое моделирование, экспериментальные испытания лабораторного макета устройства, исследование теплофизических процессов, протекающих в нем.

Методы исследования. Конструкция прибора [16] представлена на рис.1, а его внешний вид на рис.2. Устройство состоит из корпуса 1, по бокам которого выточены отверстия 2 для прохождения потоков воздуха, металлического стакана для лечебного раствора 3 и подставки под кисть пациента 4 в форме «грибка», установленной с возможностью регулирования высоты ножки 5. На внешней поверхности металлического стакана 3 установлены термоэлектрические батареи (ТЭБ) 6, опорные спаи которых сопряжены с пластинчатым радиатором 7. В корпусе 1 установлен вентилятор 8 с возможностью обдува отверстия 9, выполненного в центре пластинчатого радиатора 7.

В едином корпусе 1 с подставкой под кисть пациента 3 установлены пять металлических стаканов 2, расположенных симметрично относительно оси симметрии корпуса, при этом стакан для большого пальца расположен на оси симметрии напротив остальных. Устройство со-

держит емкость для лечебного раствора 10, которая соединена трубками 11,12,13 со всеми стаканами.

Устройство работает следующим образом. Врач задает на блоке автоматики температурный и временной режимы процедуры. Вращением подставки 4 задается ее высота таким образом, чтобы пальцы пациента были погружены в соответствующие стаканы 3. В емкость 10 заливается лечебный раствор до уровня, чтобы в нем оказались первые фаланги каждого пальца. После включения устройства ТЭБ 6 начинают изменять температуру стаканов в соответствии с заданной программой. Наличие пластинчатого радиатора 7 с принудительным охлаждением, отводящего тепло от опорных спаев ТЭБ 6, позволяет проводить процедуру необходимой продолжительности. По окончании процедуры блок автоматики выключает устройство.

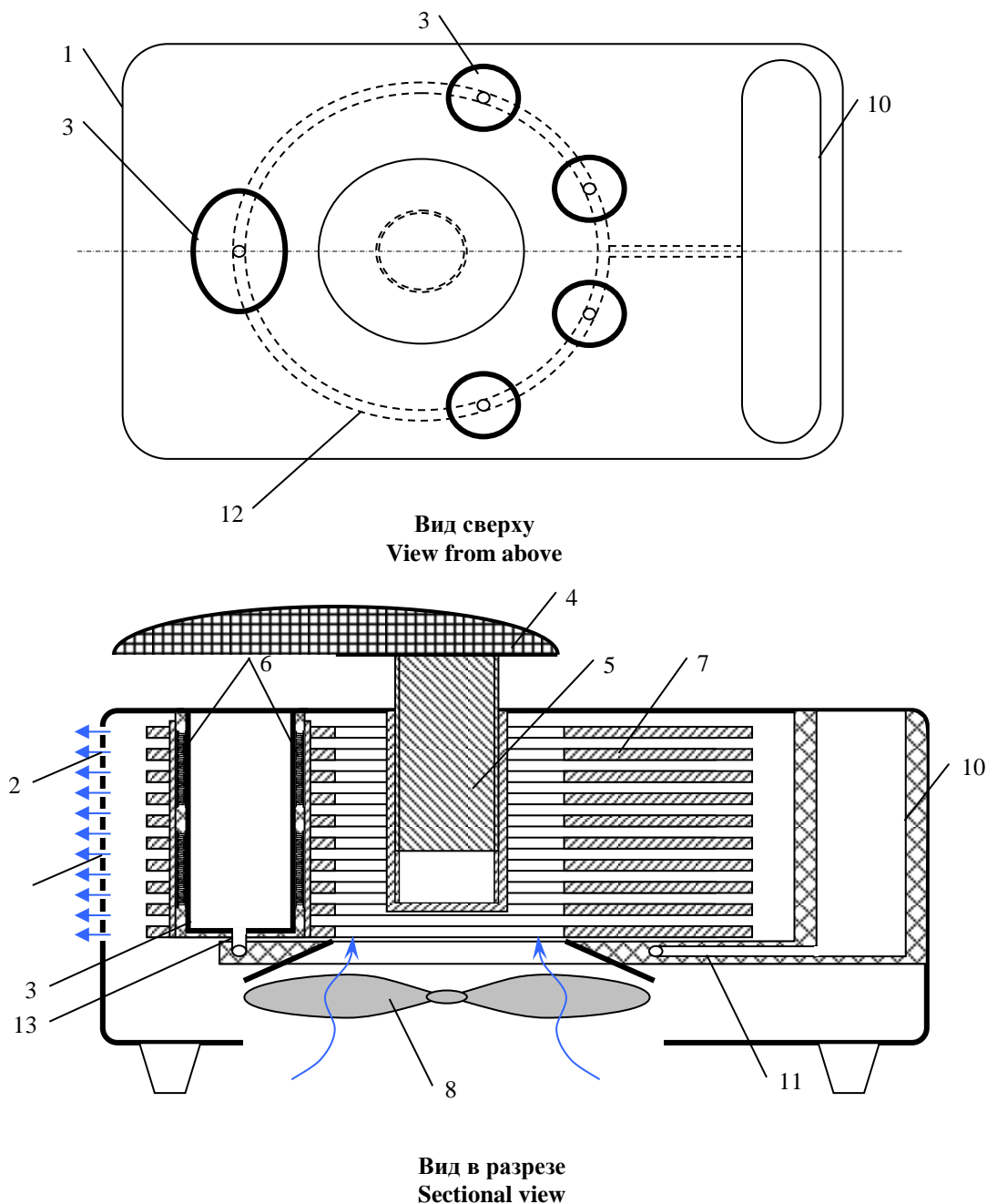


Рис.1 Структурная схема устройства для лечения панариция
Fig.1. The block diagram of the device for the treatment of felon

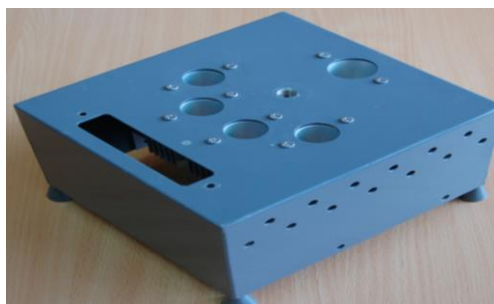


Рис.2. Внешний вид макета устройства для лечения панариция
Fig.2. The appearance of the layout of the device for the treatment of felon

Данная конструкции проста в изготовлении и эксплуатации, может обеспечить контрастное тепловое воздействие и может использоваться как в стационаре, так и на дому у пациента.

Математическая модель устройства.

Тепловая схема разработанного прибора имеет вид, представленный на рис.3 [14].

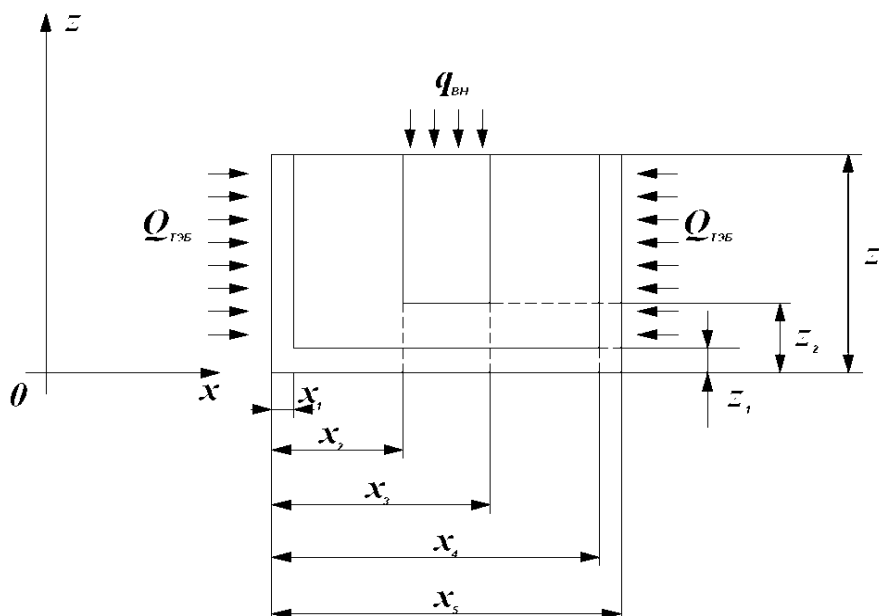


Рис.3. Тепловая схема фрагмента термоэлектрического устройства для лечения панариция в двумерной постановке задачи
Fig.3. Thermal scheme of a fragment of a thermoelectric device for the treatment of felon in a two-dimensional formulation of the problem

Здесь каждый из объектов воздействия 3 (пораженный участок пальца), выделяющий в единицу времени количество теплоты $Q_{вн}$ помещен в лечебный раствор (перманганат калия 15%) 2, в свою очередь, находящийся в специальной емкости 1, с двух боковых поверхностей контактирующей с термоэлектрической батареей (ТЭБ) 4, имеющей холодопроизводительность $Q_{ТЭБ}$. Съем теплоты с горячих спаев ТЭБ осуществляется с помощью воздушных радиаторов, обдуваемых вентилятором.

Предполагается, что теплообмен в лечебном растворе осуществляется в основном за счет теплопроводности, что справедливо для малых объемов емкости с жидкостью. Рассматривается двумерная задача, которая приемлема в случае тепловой изоляции двух боковых поверхностей, с которыми не контактируют ТЭБ.

Математическая формулировка задачи в соответствии с тепловой схемой записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} &= \frac{\partial T_1}{\partial \tau}; \\
 a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} &= \frac{\partial T_2}{\partial \tau} \\
 a_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + a_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} + \frac{Q_{\text{вн}}}{c_3 \rho_3} &= \frac{\partial T_3}{\partial \tau};
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$T_1, T_2 = T_{\text{ср}}; T_3 = 36,6^\circ\text{C при } \tau = 0;$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = Q_{\text{ТЭБ}} \text{ при } x=0; 0 < z < z_3;$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = Q_{\text{ТЭБ}} \text{ при } x=x_5; 0 < z < z_3;$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = 0 \text{ при } z=0; 0 < x < x_5;$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{вн}} \text{ при } z = z_3; x_2 \leq x \leq x_3 \\ \alpha(T_1 - T_{\text{ср}}) \text{ при } z = z_3, 0 < x < x_2 \text{ и } x_3 < x < x_5 \end{array} \right\};
 \tag{2}$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \text{ при } x=x_1; z_1 < z < z_3;$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \text{ при } x=x_4; z_1 < z < z_3;$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} \text{ при } z=z_1; x_1 < x < x_4;$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} \text{ при } x=x_2; z_2 < z < z_3;$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} \text{ при } x=x_3; z_2 < z < z_3;$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z} \text{ при } z=z_2; x_2 < x < x_3.$$

где T_1, T_2, T_3 – температуры емкости, лечебного раствора, биологического объекта;
 a_1, a_2, a_3 – коэффициенты теплопроводности емкости, лечебного раствора, биологического объекта;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коэффициенты теплопроводности емкости, лечебного раствора, биологического объекта;

c_3 – удельная теплоемкость биологического объекта; ρ_3 – плотность биологического объекта;

S_{60} – площадь поперечного сечения объекта воздействия;

$T_{\text{ср}}$ – температура окружающей среды;

α – коэффициент теплообмена с окружающей средой.

Решение системы уравнений (1)-(2) осуществлено методом конечных элементов в пакете прикладных программ Elcut. Характеристики ТЭБ (ток питания, напряжение, размеры) и их тип определяются исходя из значений холодопроизводительности, полученных на этапе численного моделирования из стандартных типоразрядных рядов фирм - производителей термоэлектрической техники [17-20].

Экспериментальный стенд и методика проведения измерений.

Для проверки адекватности математической модели проведены экспериментальные исследования опытного макета прибора. Измерения проводились на стенде, структурная схема которого изображена на рис.4.

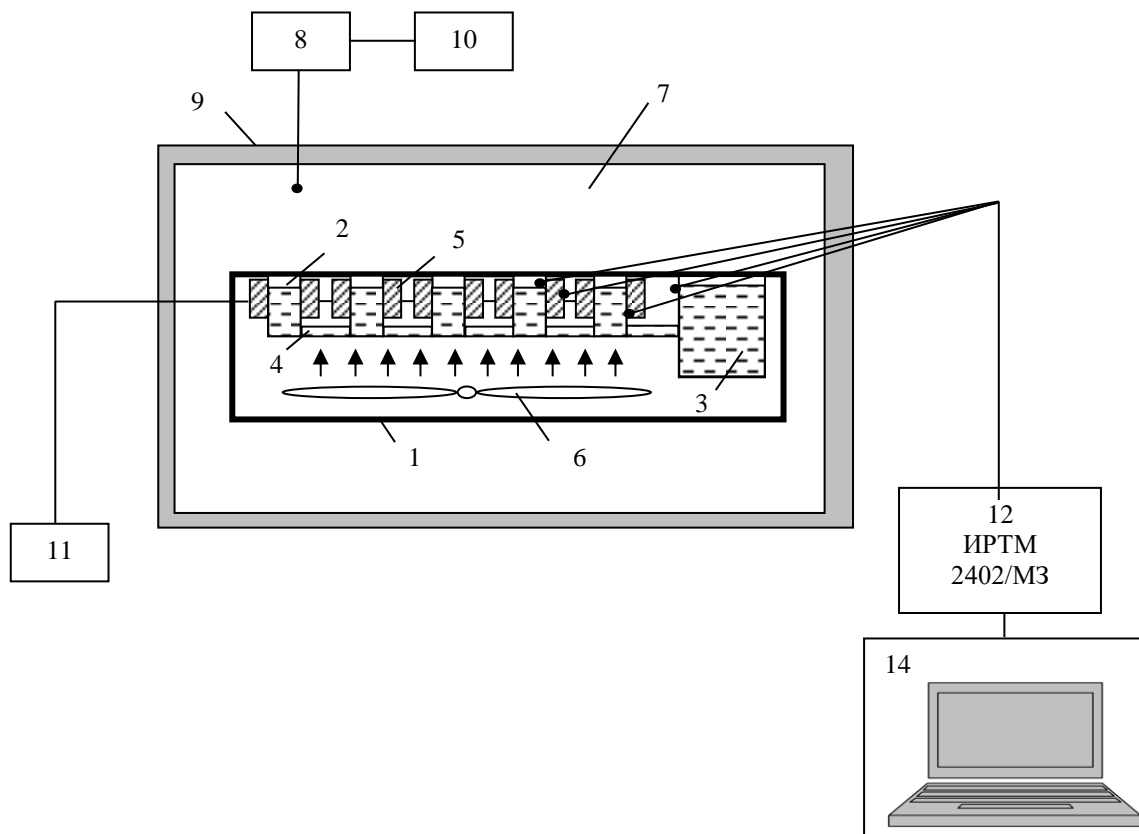


Рис.4. Принципиальная схема экспериментального стенда
Fig.4. Schematic diagram of the experimental stand

Объектом экспериментальных исследований являлся макет прибора (рис.1-2), описание которого приведено выше.

На рис.4: 1 - корпус прибора, 2 - металлические стаканы для пальцев, 3 - емкость для лечебного раствора, 4 - соединительные трубки, 5 - ТЭБ, 6 - вентиляторный агрегат. Макет устройства изготовлен из дюралюминия, его размеры: длина 240 мм, ширина - 200 мм, высота - 150 мм. В качестве ТЭБ в использованы стандартные термоэлектрические модули типа ТЭБ ТВ-63-1.0-2.0 (изготовитель – инженерно-производственная фирма Криотерм [17]).

В качестве имитатора лечебного раствора использовался раствор перманганата калия в воде. При проведении экспериментальных исследований лабораторный макет помещался в теплоизолированную климатическую камеру 7, температура и относительная влажность в которой регулируется блоком управления 8, связанным с датчиком температуры и влажности 9, показания которого регистрируются цифровым табло 10. Питание ТЭБ осуществлялось источником электрической энергии 11. Для проведения измерений использовались встроенные в источник электрической энергии амперметр и вольтметр, а также многоканальный измеритель ИРТМ 2402/ М3 12, подключенный к ПЭВМ.

В ходе эксперимента определялись напряжение и ток на ТЭБ, температура окружающей среды, температуры в контрольных точках опытного образца ТЭС. Измерения температуры проводились посредством медь-константановых термопар 13, опорные спаи которых размещались в сосуде Дьюара, а сигнал снимался измерителем ИРТМ 2402/ М3 12 и выводился на ПЭВМ 14.

Термопары размещались на опорных и рабочих спаях ТЭБ, в имитаторе лечебного раствора внутри емкости и металлических стаканов, крепились к пальцам пациента, а также располагались в окружающей среде. Перед проведением эксперимента проверялась надежность

тепловых и электрических контактов. Опыты проводились сериями по пять экспериментов в идентичных условиях.

Обсуждение результатов. Исследования производились в соответствии с требуемыми режимами проведения лечебных процедур: температура лечебного раствора – от 280 до 309 К, продолжительность воздействия – от 5 до 15 мин., возможность чередования охлаждения и нагрева биологического объекта. В качестве исходных данных при расчетах принимались следующие значения: $\lambda_1 = 45,4$ Вт/(м·К), $\lambda_2 = 0,6$ Вт/(м·К), $\lambda_3 = 0,439$ Вт/(м·К), $C_1 = 480$ Дж/(кг·К), $C_2 = 4200$ Дж/(кг·К), $C_3 = 3458$ Дж/(кг·К), $\rho_1 = 7850$ кг/м³, $\rho_2 = 1000$ кг/м³, $\rho_3 = 1041$ кг/м³, $T_{cp} = 295$ К. Геометрические размеры фрагмента устройства и биологического объекта, отрисованных в пакете прикладных программ, приведены на рис.5, где все размеры даны в мм. Результаты расчетов представлены на рис.6-9. На рис.6 показано двумерное температурное поле фрагмента термоэлектрического устройства в стационарном режиме при наличии на его двух противоположных боковых гранях теплового потока (от ТЭБ) $q_{ТЭБ} = 1500$ Вт/м².

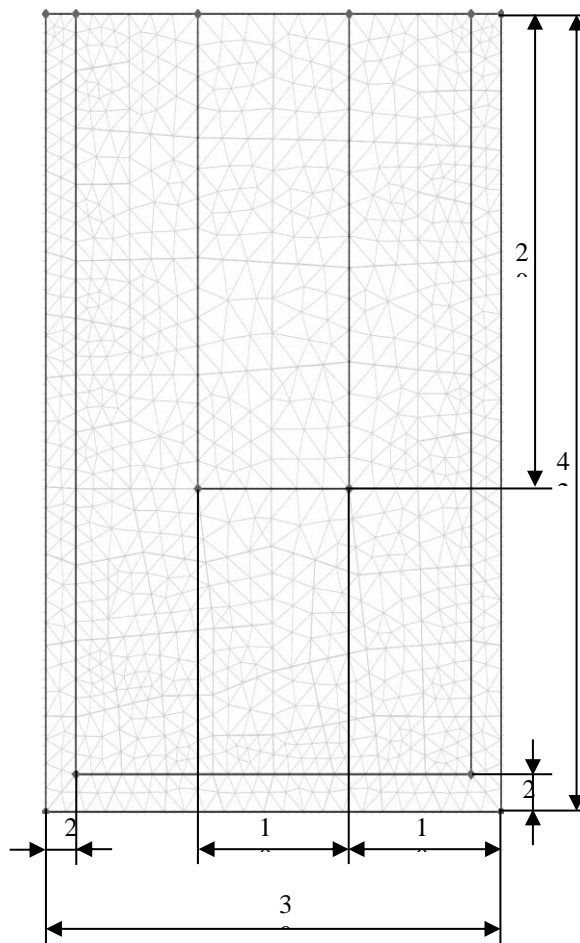


Рис.5. Модель единичного блока устройства с конечноэлементной сеткой и размерами
Fig.5. Model of a single unit of a device with a finite element mesh and dimensions

На рис.6 рассмотрено распределение температуры в системе вдоль ее поперечной оси. Помимо случая, соответствующего условиям рис.6, приведены также зависимости изменения температуры по поперечной оси устройства при $q_{ТЭБ} = 1250$ Вт/м² и $q_{ТЭБ} = 1000$ Вт/м². Согласно представленным данным изменение температуры по стенке емкости незначительно (десятые доли градуса), что связано с высоким коэффициентом теплопроводности материала и ее малой толщиной. Максимум температуры приходится на центральную часть биологического объекта и

при $q_{ТЭБ} = 1500 \text{ Вт/м}^2$ составляет 281 К, $q_{ТЭБ} = 1250 \text{ Вт/м}^2 - 286,5 \text{ К}$, $q_{ТЭБ} = 1000 \text{ Вт/м}^2 - 292 \text{ К}$. Значения температуры областей, соответствующих в модели кожному покрову (2 мм по краям биологического объекта) при указанных величинах теплового потока имеют величину 280,3 К, 286 К и 291,5 К. По зависимостям также могут быть оценены тепловые потери по лечебному раствору. Для данного случая их величина примерна одинакова для всех трех значений теплового потока и составляет 0,625 К/мм.

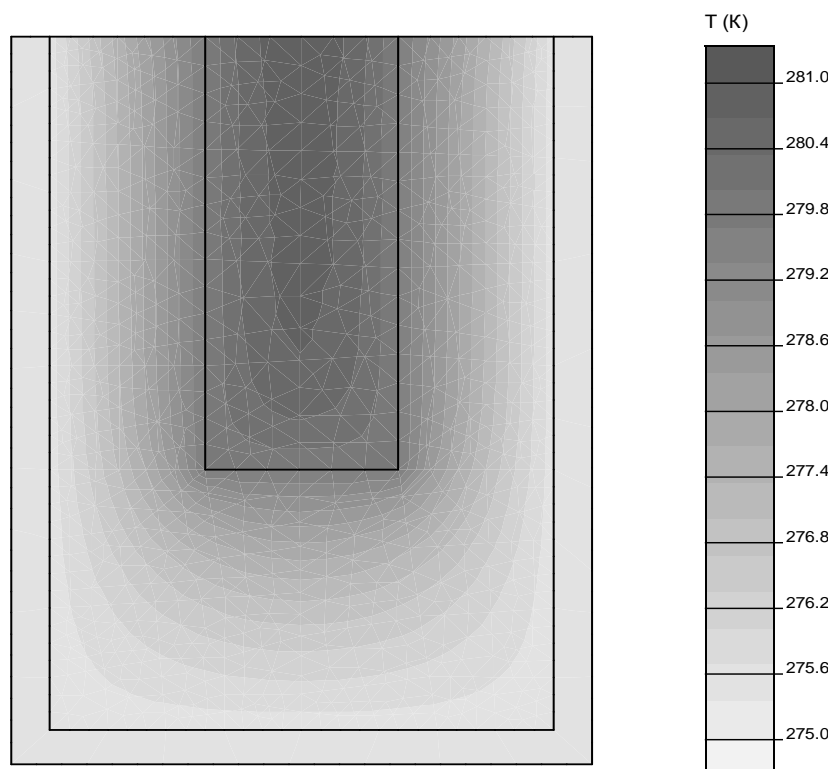


Рис.6. Двумерное температурное поле фрагмента термоэлектрического устройства для лечения панариция в стационарном режиме при $q_{ТЭБ} = 1500 \text{ Вт/м}^2$

Fig.6. Two-dimensional temperature field of a fragment of a thermoelectric device for the treatment of felon in stationary mode at W / m^2

Зависимости, изображенные на рис.7, соответствуют случаю, когда тепловой поток, создаваемый ТЭБ на противоположных поверхностях устройства одинаков.

В случае, когда это условие не соблюдается, симметричность температурного поля в системе прибор-объект воздействия нарушается. Причем тем сильнее, чем сильнее различие в тепловой нагрузке на поверхностях устройства. В соответствии с условиями проведения медицинских процедур данное явление является нежелательным и при проектировании прибора и подборе ТЭБ должно учитываться. Для анализа динамических характеристик термоэлектрического устройства исследовано изменение температуры различных точек системы прибор-объект воздействия во времени при различных величинах тепловой нагрузки на боковых гранях. На рис.8 представлены графики зависимости изменения температуры биологического объекта по центральной поперечной оси прибора во времени при $q_{ТЭБ} = 1500 \text{ Вт/м}^2$, $q_{ТЭБ} = 1250 \text{ Вт/м}^2$ и $q_{ТЭБ} = 1000 \text{ Вт/м}^2$.

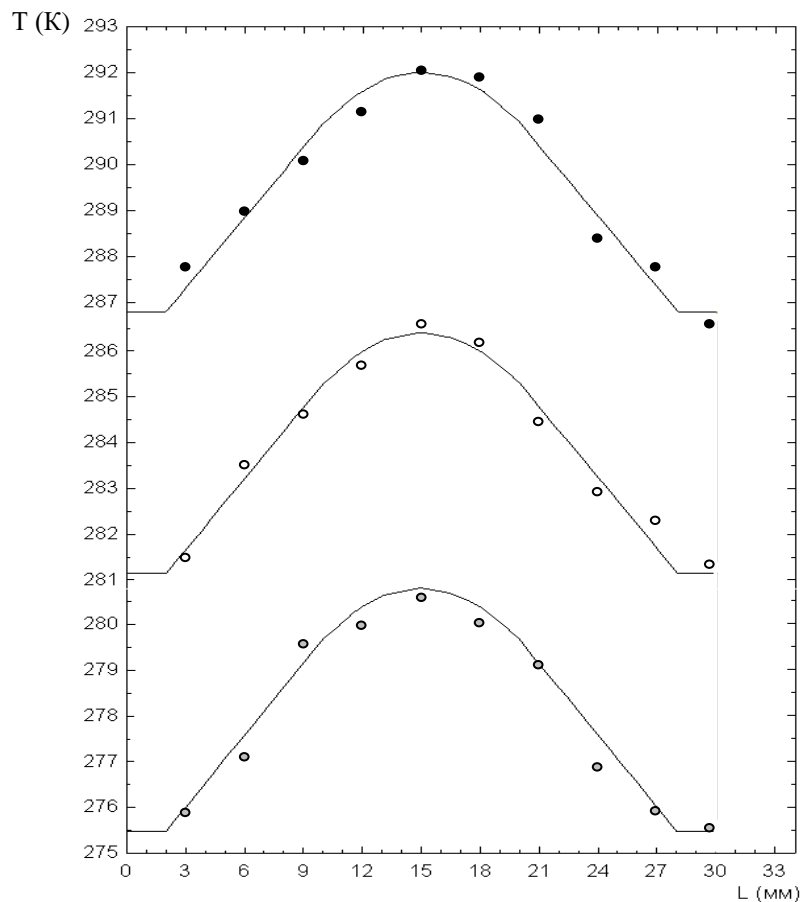


Рис.7. Распределение температуры во фрагменте термоэлектрического устройства для лечения панариция вдоль его поперечной оси

$$1 - q_{TЭБ} = 1500 \text{ Вт/м}^2, 2 - q_{TЭБ} = 1250 \text{ Вт/м}^2, q_{TЭБ} = 1000 \text{ Вт/м}^2$$

Fig.7. Temperature distribution in a fragment of a thermoelectric device for the treatment of felon along its transverse axis

Согласно результатам расчета продолжительность выхода прибора на стационарный режим работы лежит в удовлетворительных пределах. Для случая, соответствующего рисунку, время, необходимое для стабилизации температуры устройства и биологического объекта, составляет порядка 16 мин. Данное обстоятельство необходимо учитывать при проведении медицинских процедур, то есть целесообразным является включение прибора до проведения процедуры с целью вывода его на рабочий режим и уже затем проведения лечения. При этом увеличение мощности ТЭБ вплоть до максимального значения, соответствующего оптимальной величине тока питания, понижает температуру всех точек системы прибор - биологический объект. В соответствие с расчетными данными при значениях $q_{TЭБ} = 1500 \text{ Вт/м}^2$, $q_{TЭБ} = 1250 \text{ Вт/м}^2$ и $q_{TЭБ} = 1000 \text{ Вт/м}^2$ температура биологического объекта снижается до 281, 283 и 284 К. Дальнейшее увеличение силы тока вызывает превалирование теплоты Джоуля над теплотой Пельтье в термоэлементах, увеличивающее температуру объекта воздействия. Таким образом, при фиксированной температуре горячих спаев ТЭБ предельное снижение температуры каждой точки устройства и биологического объекта ограничено величиной оптимального для данного типа ТЭБ тока питания. Получить более глубокое снижение температуры в системе можно, уменьшив температуру горячих спаев ТЭБ за счет использования специальных систем теплосъема.

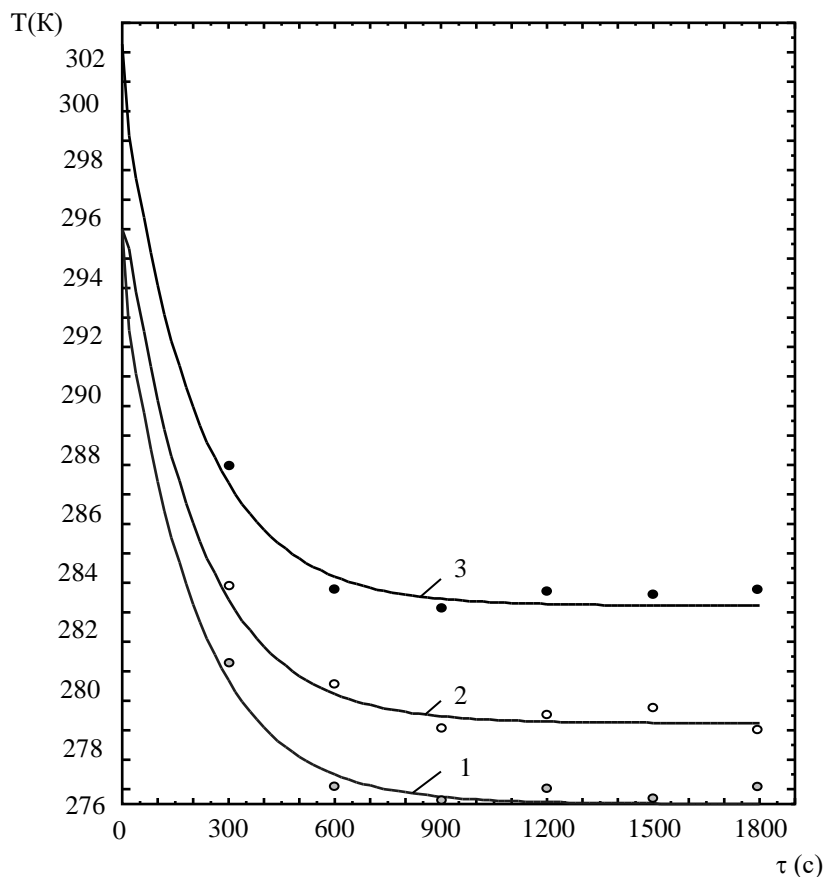


Рис.8. Изменение температуры биологического объекта во времени при различных величинах холодопроизводительности ТЭБ

1- $q_{ТЭБ} = 1500 \text{ Вт/м}^2$, 2- $q_{ТЭБ} = 1250 \text{ Вт/м}^2$, 3- $q_{ТЭБ} = 1000 \text{ Вт/м}^2$

Fig.8. Change in temperature of a biological object over time at various values of the thermopile cooling capacity

Представляет интерес анализ работы термоэлектрического устройства в режиме контрастного теплового воздействия, связанного с чередованием охлаждения и нагрева лечебного раствора и биологического объекта.

На рис.9 показано изменение температуры биологического объекта во времени для такого режима процедур. Рассмотрен один цикл контрастного воздействия: снижение температуры объекта, а затем ее повышение. В зависимости от лечебной методики цикл может быть повторен несколько раз. В соответствии с расчетными данными с помощью исследуемого устройства лечебная процедура контрастного теплового воздействия может быть реализована в полной мере. Продолжительность смены одного режима воздействия на другой не велика. На графиках, изображенных, на рис.8 она составляет порядка 15 мин.

Здесь следует заметить, что для ускорения смены режимов воздействия может быть использован кратковременный форсированный режим работы ТЭБ. В момент переключения прибора, например с режима охлаждения, на нагрев, может быть увеличена кратковременно мощность ТЭБ, которая затем после выхода устройства на режим работы будет снижена до значения, необходимого для поддержания температуры на необходимом уровне, соответственно лечебной процедуре.

Максимальное расхождение результатов расчета и натурных испытаний лабораторного макета устройства не превышает 7-7,5 °С. Наибольшее отклонение расчетных данных от эксперимента наблюдается, в основном, в промежутке времени, связанном с выходом устройства на режим, что определяется влиянием окружающей среды и неидеальной тепловой изоляцией системы «прибор-объект воздействия», а также некоторым разбросом параметров ТЭБ и изме-

рительных приборов. Причем в случае охлаждения экспериментальные данные имеют несколько большее значение, чем расчетные, а в случае нагрева – меньшее значение на всем диапазоне измерений.

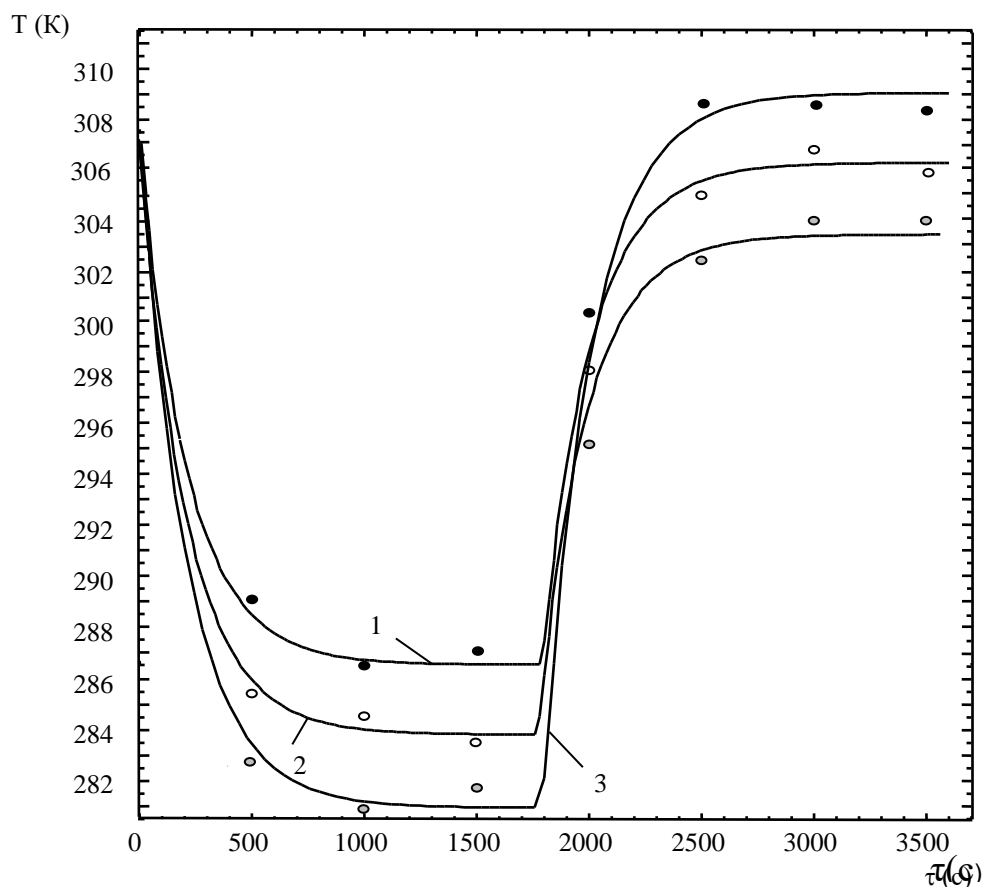


Рис.9. Изменение температуры биологического объекта во времени при контрастных процедурах для различных мощностей ТЭБ

1- $q_{ТЭБ} = 500 \text{ Вт/м}^2$, 2- $q_{ТЭБ} = 800 \text{ Вт/м}^2$, 3- $q_{ТЭБ} = 1100 \text{ Вт/м}^2$

Fig.9. Change in temperature of a biological object over time with contrasting procedures for different thermopile powers

Данное обстоятельство, на наш взгляд, связано с неидеальностью тепловой изоляции, что не удовлетворяет условиям, принятым в математической модели, и соответственно, теплопритокам к устройству.

Вывод. Установлено, что в амбулаторной практике для лечения панариция в серозно-инфильтративной фазе эффективным является использование тепловых процедур, связанных с нагревом и охлаждением пораженного участка. Предложено термоэлектрическое устройство для проведения таких процедур, отличающееся возможностью как равномерного, так и контрастного теплового воздействия. Разработана математическая модель устройства, реализованная на основе решения нестационарной двумерной задачи теплопроводности для системы сложной конфигурации с граничными условиями второго и третьего рода. Для проверки адекватности математической модели выполнены экспериментальные исследования прибора на специально разработанном стенде.

Результаты исследований показали эффективность применения разработанного устройства для реализации тепловых процедур при лечении панариция в части эффективности, универсальности, надежности воздействия, комфортности и точности поддержания температурных режимов работы. Показано, что повысить эффективность работы прибора возможно, используя комбинирование режимов работы ТЭБ (максимальной холодопроизводительности и макси-

мального холодильного коэффициента), а также улучшив интенсивность теплоотвода от его опорных спаев.

Библиографический список:

1. Кобычев А.В. Гнойно-воспалительные заболевания верхней конечности. СПб.: Невский диалект, 2002. - 352 с.
2. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрфилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - № 4. - С.33-36.
3. Зубкова С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - № 6. - С.3-10.
4. Miroslav Savic, Borut Fonda, Nejc Sarabon, Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin // Journal of thermal biology. - 2013. - № 38. - P. 186-191.
5. Jolanta Krukowska, Adam Lukasiak, Jan Czernicki Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone // Polish annals of medicine. - 2012 - №19. - P. 15-20.
6. Tiffany Field. Massage therapy research review // Complementary therapies in clinical practice. - 2016. - № 24. - P. 19-31.
7. 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. - P. 106-116.
8. Hua Zhang, Hong Chen, Hao Wang, Duoduo Li, Baolin Jia, Zhongjian Tan, Bin Zheng, Zhiwen Weng. Effect of Chinese tuina massage therapy on resting state brain functional network of patients with chronic neck pain // Journal of traditional Chinese medical sciences. 2015. №2. pp. 60-68.
9. Мелешевич А.В. Панариций и флегмона кисти. - Учебное пособие по курсу "Хирургия". Гродно: ГрГУ, 2002. - 185 с.
10. Бадиков А.Д. Аппликационная бета-терапия в комплексном лечении панариция в амбулаторных условиях // Автореф. канд. мед. наук. - СПб.: ГОУ ВПО "Военно-медицинская академия", 2005. - 136 с.
11. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Аминов Г.И., Юсуфов Ш.А. Приборы для локального температурного воздействия на человеческий организм // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. - 2003. - №2. - С. 3-6.
12. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx // Journal of Thermoelectricity. 2015. № 2. P. 77-86.
13. Анатычук Л.И., Денисенко О.И., Кобылянский Р.Р., Каденюк Т.Я. Об использовании термоэлектрического охлаждения в дерматологии и косметологии // Термоэлектричество. - 2015. - № 3. - С.57-71.
14. Исмаилов Т.А., Евдулов Д.В., Евдулов О.В., Абдулхакимов У.И. Термоэлектрическая система для проведения тепловых косметологических процедур на лице // Медицинская техника. - 2017. - №4. - С. 38-42.
15. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Термоэлектрические преобразователи энергии. - Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. - 376 с.
16. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Гидуримова Д.А. Экспериментальные исследования термоэлектрического устройства для лечения панариция // Термоэлектричество. - 2013. № 4. С. 89-96.
17. <http://www.kryotherm.ru> (дата доступа 05.10.2018).
18. <http://www.osterm.ru> (дата доступа 05.10.2018).
19. <http://www.marlow.com> (дата доступа 05.10.2018).
20. <http://www.melcor.com> (дата доступа 05.10.2018).

References:

1. Konychev A.V. Gnoyno-vospalitel'nyye zabolevaniya verkhney konechnosti. SPb.: Nevskiy dialekt, 2002. - 352 s. [Konychev A.V. Purulent-inflammatory diseases of the upper limb. SPb.: Nevsky dialect, 2002. - 352 p.]
2. Yezhov V.V. Fizioterapiya i fizioprafilaktika kak metody i sredstva sokhraneniya i vosstanovleniya zdorov'ya // Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya. - 2011. - № 4. - S.33-36. [Ezhov V.V. Physiotherapy and physiotherapy as methods and means of maintaining and restoring health // Physiotherapy, balneology and rehabilitation. 2011. № 4. P.33-36. (in Russ.)]
3. Zubkova S.M. Rol' teplovoy komponenty v lechebnoy deystvii fizicheskikh faktorov // Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya. - 2011. - № 6. - S.3-10. [Zubkova S.M. The role of heat components in the therapeutic action of physical factors // Physiotherapy, balneology and rehabilitation. 2011. № 6. P.3-10. (in Russ.)]
4. Miroslav Savic, Borut Fonda, Nejc Sarabon, Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin // Journal of thermal biology. - 2013. - № 38. - P. 186-191.
5. Jolanta Krukowska, Adam Lukasiak, Jan Czernicki Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone // Polish annals of medicine. - 2012 - №19. - P. 15-20.
6. Tiffany Field. Massage therapy research review // Complementary therapies in clinical practice. - 2016. - № 24. - P. 19-31.

7. 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. - P. 106-116.
8. Hua Zhang, Hong Chen, Hao Wang, Duoduo Li, Baolin Jia, Zhongjian Tan, Bin Zheng, Zhiwen Weng. Effect of Chinese tuina massage therapy on resting state brain functional network of patients with chronic neck pain // Journal of traditional Chinese medical sciences. - 2015. - №2. - P. 60-68.
9. Meleshevich A.V. Panaritium and phlegmon of the hand. - The manual for the course "Surgery". Grodno: GrSU, 2002. - 185 p.
10. Badikov A.D. Applikatsionnaya beta-terapiya v kompleksnom lechenii panaritsiya v ambulatornykh uslovi-yakh // Avtoref. kand. med. nauk. - SPb.: GOU VPO "Voyenno-meditsinskaya akademiya", 2005. - 136 s.[Badikov A.D. Applied beta-therapy in the complex treatment of felon in outpatient conditions // Aut. Cand. honey. sciences. - SPb.: GOU VPO "Military Medical Academy", 2005. - 136 p. (in Russ.)]
11. Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Aminov G.I., Yusufov SH.A. Pribory dlya lokal'nogo temperaturnogo vozdeystviya na chelovecheskiy organizm // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki. - 2003. - №2. - S. 3-6[Ismailov T.A., Evdulov O.V., Aminov G.I., Yusufov Sh.A. Devices for local temperature effects on the human body // News of universities. North Caucasus region. Technical science. 2003. №2. p. 3-6. (in Russ.)]
12. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of the Thermoelectric System; freezing of tissues of the larynx // Journal of Thermoelectricity. 2015. № 2. pp. 77-86.
13. Anatyshuk L.I., Denisenko O.I., Kobylansky RR, Kadenyuk T.Ya. About use thermoelectric cooling in dermatology and cosmetology // Thermoelectricity. 2015. № 3. pp.57-71. (in Russ.)]
14. Ismailov T.A., Yevdulov D.V., Yevdulov O.V., Abdulkhakimov U.I. Termoelektricheskaya sistema dlya provedeniya teplovykh kosmetologicheskikh protsedur na litse // Meditsinskaya tekhnika. - 2017. - №4. - S. 38-42. [Ismailov T.A., Evdulov D.V., Evdulov O.V., Abdulkhakimov U.I. Thermoelectric system for conducting thermal cosmetological procedures on the face // Medical equipment. 2017. №4. pp. 38-42. (in Russ.)]
15. Anatyshuk L.I. Thermoelectricity. Thermoelectric energy converters. - Kiev, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity, 2003. - 376 p.
16. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Khazamova M.A., Gidurimova D.A. Experimental studies of a thermoelectric device for the treatment of felon // Thermoelectricity. 2013. № 4. p. 89-96.
17. <http://www.kryotherm.ru> (access date 05/10/2018).
18. <http://www.ostrerm.ru> (access date 05/10/2018).
19. <http://www.marlow.com> (access date 05/10/2018).
20. <http://www.melcor.com> (access date 05/10/2018).

Сведения об авторах:

Дворянчиков Василий Иванович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник.

Магомедова Кумсият Ахмедулбадавиевна – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

Магомедов Давуд Ахмеднабиевич – доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра биотехнические и медицинские аппараты и системы.

Миспахов Играмидин Шарафидинович – старший преподаватель, кафедра теоретической и общей электротехники.

Information about the authors:

Vasily I. Dvoryanchikov - Dr. Sci. (Technical), Leading Researcher.

Kumsiyat A. Magomedova - Graduate student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Davud A. Magomedov - Dr. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of biotechnical and medical devices and systems.

Igramidin Sh. Mispakhov - Senior Lecturer, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.10.2018.

Принята в печать 22.11.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.10.2018.

Accepted for publication 22. 11.2018.

Для цитирования: Евдулов О.В., Магомадов Р.А.-М., Магомедова С.Г., Набиев Н.А. Моделирование и теоретическое исследование термоэлектрической системы для внутриполостной гипотермии. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(4):32-41. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-32-41

For citation: Evdulov O.V., Magomedova S.G., Magomadov R.A.-M., Nabiev N.A. Modeling and theoretical research of Thermoelectric system for intracolar hypothermia. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45(4): 32-41. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-32-41

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-32-41

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВНУТРИПОЛОСТНОЙ ГИПОТЕРМИИ

Евдулов О.В.¹, Магомадов Р.А.², Магомедова С.Г.³, Набиев Н.А.⁴

^{1,3,4} Дагестанский государственный технический университет,

^{1,3,4} 367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

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

² 364051 г. Грозный, проспект им. Х.А. Исаева, 100, Россия,

¹ e-mail: ole-ole-ole@rambler.ru, ² e-mail: rustmag_80@mail.ru,

³ e-mail: saratmag05@yandex.ru, ⁴ e-mail: alternativa9372@mail.ru,

Резюме. Целью статьи является моделирование и теоретическое исследование термоэлектрической системы (ТЭС) для внутриполостной гипотермии, изучение процессов, протекающих в ней с учетом влияния параметров объекта воздействия и характеристик термоэлектрической батареи (ТЭБ). **Метод.** Предложена физическая модель ТЭС для внутриполостной гипотермии, состоящей из двух ТЭБ, соединенных между собой посредством цельнометаллического теплового мостика, снабженная воздействующим наконечником и жидкостным теплообменником. Разработана квазистационарная математическая модель ТЭС, как совокупность взаимосвязанных между собой теплообменных систем, ТЭБ и теплопровода, характеризующихся теплоемкостью, теплопроводностью и тепловым сопротивлением, что позволяет оценить продолжительность выхода прибора на рабочий режим с учетом теплофизических свойств биологического объекта. **Результат.** Получены зависимости изменения температуры различных частей ТЭС во времени для случая работы прибора в режиме холостого хода и при наличии тепловой нагрузки. Рассмотрено изменение во времени температуры объекта воздействия, наконечника, теплопровода и теплообменного аппарата при различных токах питания ТЭБ, а также для различных значений температуры жидкости в теплообменном аппарате. **Вывод.** Установлено, что без нагрузки температура воздействующего наконечника стабилизируется приблизительно через 4-4,5 минуты. При этом увеличение силы тока дополнительной ТЭБ с 5 до 15 А при токе питания основной ТЭБ 50 А снижает рабочее значение T_n с 235 К до 220 К. В процессе проведения процедур необходимого уровня снижения температуры ткани гортани (273 К) удается достичь при токе питания основной и дополнительной ТЭБ, соответственно равном 25 и 10 А через 2 мин. При фиксированной температуре опорных спаев основной ТЭБ предельное снижение температуры воздействующего наконечника ограничено величиной оптимального тока ТЭБ. Получить более глубокое охлаждение при данной величине тока питания можно, уменьшив значение температуры опорных спаев основной ТЭБ.

Ключевые слова: гипотермия, внутренняя полость, термоэлектрическая система, термоэлектрическая батарея, тепловое воздействие, температурное поле, математическая модель

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

MODELING AND THEORETICAL RESEARCH OF THERMOELECTRIC SYSTEM FOR INTRACOLAR HYPOTHERMIA

Oleg V. Evdulov¹, Sarat G. Magomedova³, Rustam A.-M. Magomadov², Nabi A. Nabiyev⁴

^{1,3-5} Daghestan State Technical University,

^{1,3-5} 70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

² M.D. Milyonshchikov Grozny State Oil Technical University,

² 100 H.A. Isaeva Ave., Grozny 2364051, Russia,

¹ e-mail: ole-ole-ole@rambler.ru, ² e-mail: rustmag_80@mail.ru,

³ e-mail: saratmag05@yandex.ru, ⁴ e-mail: alternativa9372@mail.ru,

Abstract Objectives The purpose of the article is to simulate and theoretical study of the thermoelectric system (TPP) for intracavitary hypothermia, the study of the processes occurring in it taking into account the influence of the parameters of the object of influence and characteristics of a thermoelectric battery (TEB). **Method** A physical model of thermal power plants for intracavitary hypothermia, consisting of two thermopiles, interconnected through an all-metal thermal bridge, equipped with an acting tip and a liquid heat exchanger is proposed. A quasi-stationary mathematical model of thermal power plants has been developed as a set of interconnected heat exchange systems, thermopile and heat conductor characterized by heat capacity, thermal conductivity and thermal resistance, which allows us to estimate the duration of the device output to the operating mode, taking into account the thermal properties of the biological object. **Result** The dependences of the temperature change of different parts of TPPs in time are obtained for the case of operation of the device in idling mode and in the presence of heat load. The temporal variation of the temperature of the object of influence, the conductor, the heat pipe and the heat exchanger at different currents of supply of thermopile and also for different values of the temperature of the liquid in the heat exchanger is considered. **Conclusion** It is established that without load, the temperature of the acting tip stabilizes in approximately 4–4.5 minutes. At the same time, an increase in the current strength of an additional thermopile from 5 to 15 A at the current supply of the main thermopile 50 A reduces the operating value of T from 235 K to 220 K. During the procedures, the required level of laryngeal tissue temperature decrease (273 K) can be achieved at the main power supply current and additional thermopile, respectively, equal to 25 and 10 A after 2 min. At a fixed temperature of the reference junctions of the main thermopile, the limiting decrease in the temperature of the acting tip is limited by the magnitude of the optimal thermopile current. It is possible to obtain deeper cooling at a given value of the supply current by reducing the temperature of the reference junctions of the main thermopile.

Keywords: hypothermia, internal cavity, thermoelectric system, thermoelectric battery, thermal effect, temperature field, mathematical model

Введение. В настоящее время в медицинской практике широкое распространение получают немедикаментозные методы проведения лечебных процедур [1-3]. К одним из наиболее распространенных из них относятся методы теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма, реализующие гипотермию. Локальная гипотермия активно используется при воздействии на внутренние полости, что широко применяется в оториноларингологии, гинекологии, проктологии, урологии, стоматологии, косметологии и т.п. [4-10].

Применяемые на сегодняшний день средства для внутрисполостного охлаждающего воздействия подразумевают использование жидкого теплоносителя и представляют собой металлические стержни, предварительно охлажденные в жидком азоте или кислороде, так называемые пассивные криозонды, а также системы с открытой и закрытой циркуляцией жидкого хладагента [11-14]. Данные технические средства не всегда отвечают требованиям безопасности в связи с возможностью разгерметизации компрессионных систем, биологической агрессивности

стью используемых хладагентов, инерционностью рабочих процессов и низкой точностью дозирования охлаждающего воздействия. Использование жидких хладагентов в реализации устройств по данному направлению в достаточной степени усложняет их конструкции и обслуживание, сокращает время работы устройств в связи с ограниченным объемом хладагента, не позволяет достичь необходимого уровня регулировки и контроля температуры воздействия, не решает проблему адгезивного эффекта, что требует наличия дополнительных устройств нагрева. Указанные недостатки препятствуют широкому внедрению эффективных методик внутриполостной гипотермии.

В этих условиях целесообразным является применение в качестве исполнительного элемента в системах для гипотермии внутренних полостей ТЭБ. Использование их имеет следующие преимущества: исключает использование жидких хладагентов, что делает устройство независимым от центров производства и доставки криогенных жидкостей; обеспечивает неограниченный ресурс работы, экологичность, бесшумность прибора; повышает точность дозировки и контроля воздействия, предполагает организацию режима реверса путем переключения направления тока питания прибора [15-20].

При этом конструкция охлаждающей системы, основанной на использовании ТЭБ, должна соответствовать ряду специфических признаков, состоящих в необходимости обеспечения температурных параметров устройства в соответствии с медицинскими методиками проведения процедур, соответствующих существующим гигиеническим нормам, высокой надежности воздействия, точной локализации очага холода, безопасности и др.

Постановка задачи. В связи с этим целью работы является моделирование и теоретическое исследование ТЭС для внутриполостной гипотермии, изучение процессов, протекающих в ней с учетом влияния параметров объекта воздействия и характеристик ТЭБ.

Методы исследования. ТЭС для внутриполостной гипотермии должна учитывать определенные ограничения, связанные со следующими специфическими условиями ее эксплуатации: труднодоступность объекта воздействия; высокая влажность рабочей среды; высокая степень локализации воздействия и точности дозировки теплоты; наличие значительных теплопритоков к объекту воздействия из окружающей среды.

Система должна соответствовать всем перечисленным условиям. Она может быть реализована различными конструктивными решениями, среди которых наиболее целесообразными представляются следующие:

1. ТЭБ как источник холода представляет собой самостоятельный (автономный) узел, а охлаждение осуществляется посредством передачи тепла за счет использования высокотеплопроводного протяженного материала (например, медного или алюминиевого теплопровода), либо за счет транспортировки теплоносителя (жидкости, газа);
2. осуществляется непосредственный контакт ТЭБ с объектом воздействия через воздействующий высокотеплопроводный наконечник;
3. совмещенный вариант, когда имеет место использование основной ТЭБ как отдельного автономного узла и дополнительной ТЭБ, имеющей непосредственный тепловой контакт с биологическим объектом.

Анализ возможностей каждой из перечисленных схем, а также режимов проведения лечебных процедур, дает возможность сделать вывод о том, что более предпочтителен третий вариант, который позволяет получить высокие тепловые мощности (в отличие от второго варианта, когда может быть использована только маломощная и малогабаритная ТЭБ) и снизить тепловые потери по длине теплопровода для сопряжения основной ТЭБ и объекта воздействия. При этом большую роль в анализе работы ТЭС будет играть знание не только стационарных характеристик прибора, но и особенностей переходных процессов системы прибор - объект воздействия. Это связано с необходимостью оценки такого показателя работы системы, как продолжительность выхода на заданный режим работы, а также определения его динамических характеристик.

Для оценки указанных показателей построена квазистационарная модель переходного процесса, которая рассматривает ТЭС для внутриполостной гипотермии как единую совокупность элементов: теплообменных устройств (радиаторов, теплопровода), ТЭБ, теплоизоляции, воздействующего наконечника, обеспечивающих снижение температуры биологического объекта за требуемое время до необходимой величины. Тепловая модель для такой системы представлена на рис. 1 [21].

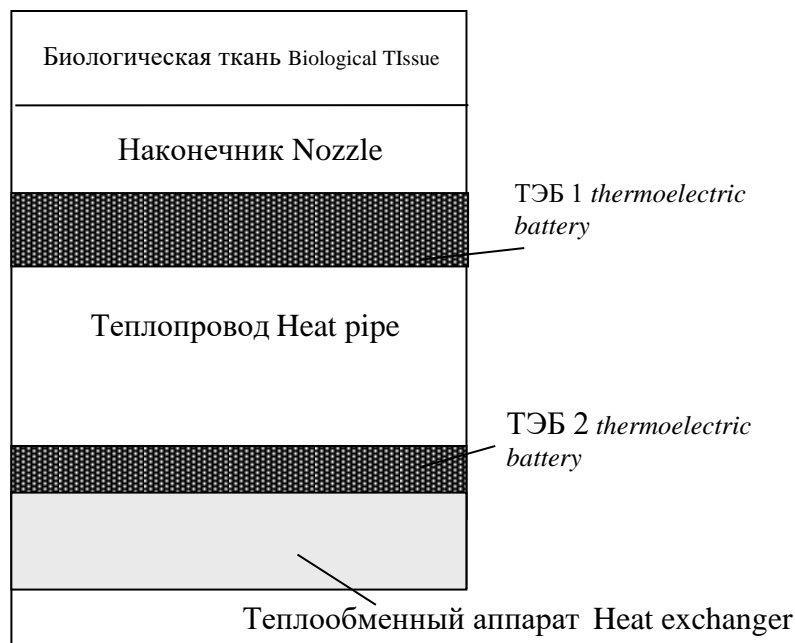


Рис. 1. Расчетная схема ТЭС для внутриполостной гипотермии
 Fig. 1. The design scheme of TPP for intracavitary hypothermia

Наконечник из высокотеплопроводного материала с теплоемкостью c_n и тепловой проводимостью σ_n первыми спаями сопряжен с биологической тканью, имеющей соответственно теплоемкость c_t и тепловую проводимость σ_t . Вторые спая ТЭБ 1 сопряжены с торцевой поверхностью теплопровода, имеющего теплоемкость $c_{тп}$ и тепловую проводимость $\sigma_{тп}$, вторая торцевая поверхность которого приведена в тепловой контакт с первыми спаями второй ТЭБ 2. Вторые спая ТЭБ2 посредством жидкостного теплообменного аппарата с теплоемкостью c_p и тепловой проводимостью σ_p поддерживаются при температуре T_p . Температура протекающей по теплообменному аппарату жидкости поддерживается равной $T_{ж}$. Через ТЭБ 1 и ТЭБ 2 протекает ток, имеющий плотность соответственно j_1 и j_2 . Кроме того, предполагается, что теплообмен между тканью и кровью происходит в любой точке рассматриваемого биологического объекта и характеризуется удельной мощностью объемных источников теплоты $Q_{вн}$.

Тепловая модель описывается следующей системой уравнений [68]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_m}{d\tau} &= \frac{1}{m_m c_m} \left[\sigma_m (T_n - T_m) + Q_{вн} + k_{cp} (T_{cp} - T_m) \right] \\ \frac{dT_n}{d\tau} &= \frac{1}{m_n c_n} \left[n_1 S_1 \left[-\alpha_1 j_1 T_n + \frac{1}{2} j_1^2 \rho_1 h_1 + \frac{\lambda_1}{h_1} (T_{mn} - T_n) \right] - k_{cp} (T_{cp} - T_n) \right] \\ \frac{dT_{mn}}{d\tau} &= \frac{1}{m_{mn} c_{mn}} \left[n_2 S_2 \left[-\alpha_2 j_2 T_{mn} + \frac{1}{2} j_2^2 \rho_2 h_2 + \frac{\lambda_2}{h_2} (T_p - T_{mn}) \right] + n_1 S_1 \left[e_1 j_1 T_n + \frac{1}{2} j_1^2 \rho_1 h_1 + \frac{\lambda_1}{h_1} (T_{mn} - T_n) \right] - k_{cp} (T_{cp} - T_n) \right] \\ \frac{dT_p}{d\tau} &= \frac{1}{m_p c_p} \left[n_2 S_2 \left[\alpha_2 j_2 T_{mn} + \frac{1}{2} j_2^2 \rho_2 h_2 - \frac{\lambda_2}{h_2} (T_p - T_{mn}) \right] - \sigma_p (T_p - T_{ж}) \right] \end{aligned} \right\} (1)$$

где T_t – температура биологической ткани; T_n – температура наконечника устройства, имеющего тепловой контакт с биологическим объектом; $T_{тп}$ – температура теплопровода; m_t – средняя масса ткани; $m_{н,тп,р}$ – масса наконечника, теплопровода и радиатора ТЭБ 2; $\alpha_{1,2}$ – коэффициент термо-э.д.с. ТЭ в ТЭБ; $\rho_{1,2}$ – удельное электрическое сопротивление ТЭБ; $h_{1,2}$ – высота ТЭ в ТЭБ; $\lambda_{1,2}$ – коэффициент теплопроводности материала ТЭБ; T_{cp} – температура окружающей среды, k_{cp} – коэффициент теплообмена с окружающей средой.

Начальные условия для оценки переходного режима до выхода прибора на рабочий режим задаются при холостом ходе устройства (контакт устройства с биологическим объектом отсутствует), исходя из предположения, что в начальный момент времени ТЭС находится в термодинамическом равновесии с окружающей средой и температура всех точек системы равна ее температуре. При этом система уравнений (1) записывается в виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_n}{dt} &= \frac{1}{m_n c_n} \left[n_1 S_1 \left[-e_{1j_1} T_n + \frac{1}{2} j_1^2 \rho_1 h_1 + \frac{\lambda_1}{h_1} (T_{тп} - T_n) \right] - k_{cp} (T_{cp} - T_n) \right] \\ \frac{dT_{тп}}{dt} &= \frac{1}{m_{тп} c_{тп}} \left[n_2 S_2 \left[-e_{2j_2} T_{тп} + \frac{1}{2} j_2^2 \rho_2 h_2 + \frac{\lambda_2}{h_2} (T_p - T_{тп}) \right] + n_1 S_1 \left[e_{1j_1} T_n + \frac{1}{2} j_1^2 \rho_1 h_1 + \frac{\lambda_1}{h_1} (T_{тп} - T_n) \right] - k_{cp} (T_{cp} - T_n) \right] \\ \frac{dT_p}{dt} &= \frac{1}{m_p c_p} \left[n_2 S_2 \left[e_{2j_2} T_{тп} + \frac{1}{2} j_2^2 \rho_2 h_2 - \frac{\lambda_2}{h_2} (T_p - T_{тп}) \right] - \sigma_p (T_p - T_{ж}) \right] \end{aligned} \right\} \quad 2)$$

Для оценки длительности тепловой процедуры начальными являются условия, полученные из (1), а объект воздействия имеет температуру, равную 309 К. Также считается, что температуры наконечника, теплопровода и теплообменного аппарата равны соответствующим температурам спаев.

Данное допущение завышает величину времени выхода на режим, и полученные впоследствии результаты будут являться оценкой сверху. Также предполагаем, что температурные поля объекта воздействия, наконечника, теплопровода и теплообменного аппарата однородны.

Решение системы (1) и (2) осуществлено численным образом в пакете прикладных программ МАТНСАД методом конечных разностей. Расчет производился при следующих исходных данных: $\alpha_{1,2} = 350 \cdot 10^{-6}$ В/К; $h_{1,2} = 0,002$ м; $\lambda = 3$ Вт/м·К; $\rho = 0,0001$ Ом·м; $c_{н,тп,р} = 380$ Дж/кг·К; $c_t = 3458$ Дж/кг·К.

При этом тепловые проводимости определялись по формулам:

$$\sigma_n = \frac{\lambda_n \cdot S_n}{\delta_n}, \quad \sigma_{тп} = \frac{\lambda_{тп} \cdot S_{тп}}{\delta_{тп}}, \quad \sigma_p = \frac{\lambda_p \cdot S_p}{\delta_p}, \quad \sigma_t = \frac{\lambda_t \cdot S_t}{\delta_t}, \quad (3)$$

где $\lambda_n, \lambda_{тп}, \lambda_p, \lambda_t$ – коэффициенты теплопроводности наконечника, теплопровода, теплообменного аппарата, биологической ткани соответственно; $S_{н,тп,р,t}$ – площадь поверхностей соприкосновения наконечника и биологического объекта, наконечника и ТЭБ 1, теплопровода и ТЭБ 2, ТЭБ 2 и теплообменного аппарата соответственно; $\delta_n, \delta_{тп}, \delta_p, \delta_t$ – толщина соответственно наконечника, теплопровода, радиатора, биологической ткани.

Численные значения исходных величин в выражениях (3) принимались следующими: $\lambda_n = 389$ Вт/м·К; $\lambda_{тп} = 389$ Вт/м·К; $\lambda_p = 389$ Вт/м·К; $\lambda_t = 0,2$ Вт/м·К; $S_n = 25 \cdot 10^{-6}$ м²; $S_{тп} = 10^{-4}$ м²; $S_p = 36 \cdot 10^{-4}$ м²; $\delta_n = 0,01$ м; $\delta_{тп} = 0,13$ м; $\delta_p = 0,02$ м; $\delta_t = 0,01$ м, $k_{cp} = 10$ Вт/(м²·К).

Обсуждение результатов. На рис. 2-7 приведены результаты расчета изменения температуры различных частей ТЭС во времени при $T_{cp} = 298$ К для случая работы прибора в режиме холостого хода (рис. 2-4) и при наличии тепловой нагрузки (рис. 5-7).

Рассмотрено изменение во времени температуры объекта воздействия, наконечника, теплопровода и жидкостного теплообменного аппарата при различных токах питания ТЭБ, а также для различных значений $T_{ж}$.

Как следует из результатов расчетов, зависимости носят монотонный убывающий характер. Согласно приведенным графикам без тепловой нагрузки температура наконечника стаби-

лизируется приблизительно через 4-4,5 минуты (рис. 2-4), что соответствует продолжительности его выхода на рабочий режим.

Данное обстоятельство необходимо учитывать при проведении медицинских процедур, то есть целесообразным является включение прибора до проведения процедур с целью вывода его на рабочий режим и уже затем воздействие на пациента.

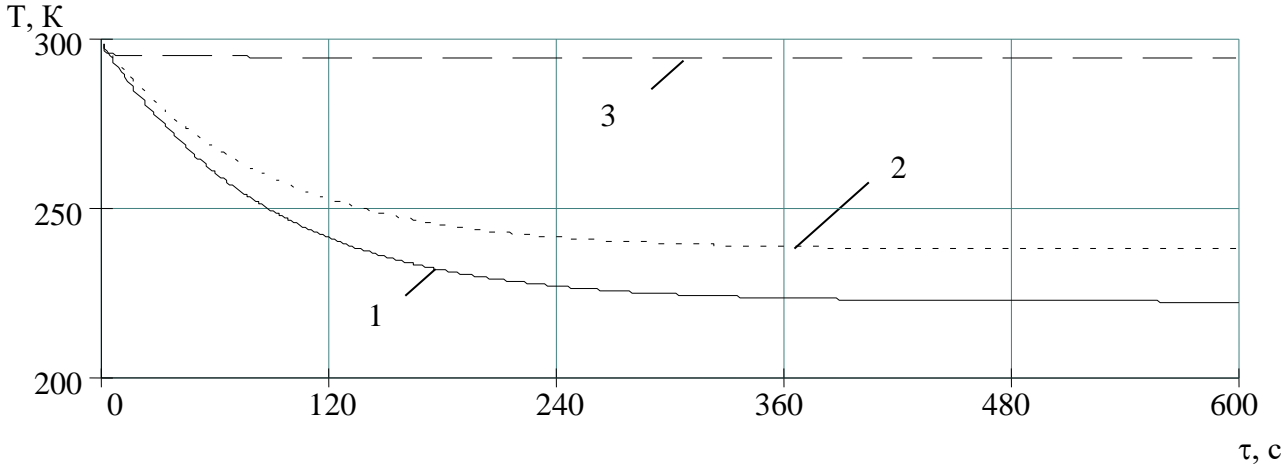


Рис. 2. Изменение температуры отдельных частей ТЭС во времени без тепловой нагрузки: 1 – температура наконечника; 2 – температура теплопровода; 3 – температура жидкостного теплообменного аппарата

Fig. 2. Temperature variation of individual parts of TPP over time without heat load: 1 - tip temperature; 2 - heat conductor temperature; 3 - temperature of the liquid heat exchanger

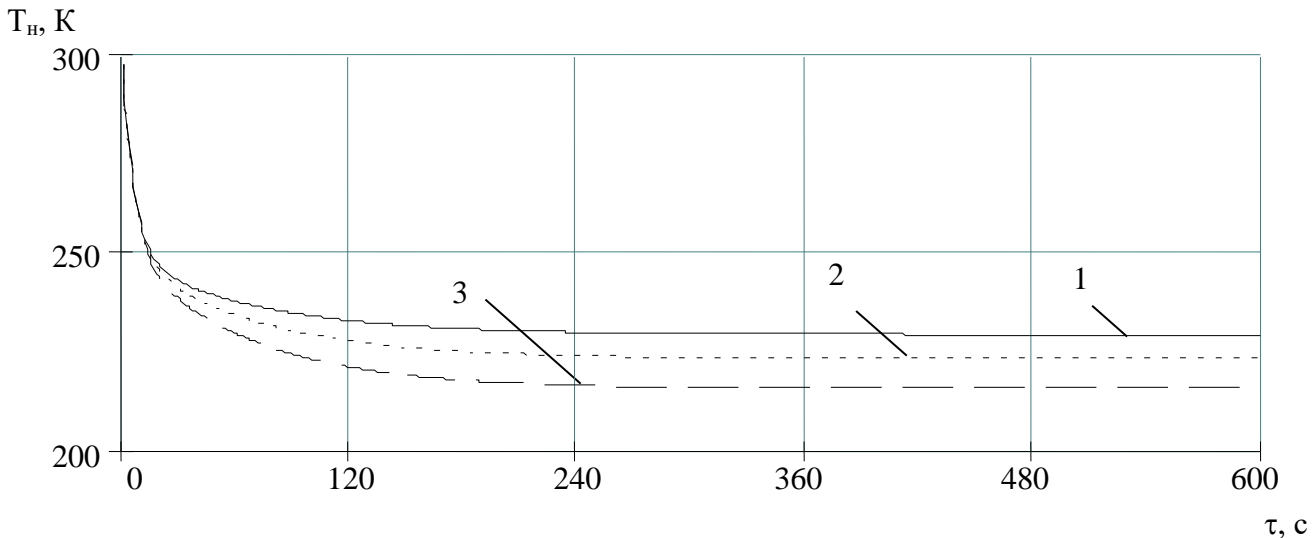


Рис. 3. Изменение температуры воздействующего наконечника во времени без нагрузки при различных токах питания дополнительной ТЭБ 1 – 5 А, 2 – 10 А, 3 – 15 А

Fig. 3. Temperature change of the acting tip in time without load at different supply currents of additional thermopile 1–5 А, 2–10 А, 3–15 А

При этом увеличение силы тока, протекающего через ТЭБ вплоть до оптимального понижает температуру наконечника, например, в соответствии с рис. 4 увеличение силы тока дополнительной ТЭБ с 5 до 15 А при токе питания основной ТЭБ 50 А снижает рабочее значение T_n с 235 К до 220 К. Дальнейшее увеличение силы тока вызывает превалирование теплоты Джоуля над теплотой Пельтье, увеличивающее температуру объекта воздействия.

Таким образом, при фиксированной температуре T_j предельное снижение температуры воздействующего наконечника ограничено величиной оптимального для данного типа ТЭБ тока питания.

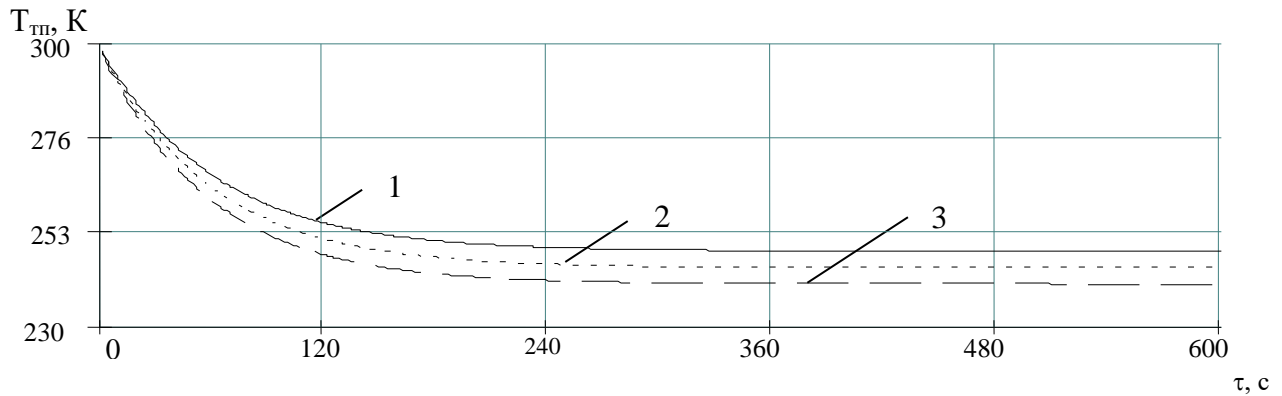


Рис. 4. Изменение температуры теплового мостика во времени без нагрузки при различных токах питания дополнительной ТЭБ 1 – 5 А, 2 – 10 А, 3 – 15 А
Fig. 4. Temperature variation of the thermal bridge in time without load at various supply currents of additional thermopile 1 - 5 A, 2 - 10 A, 3 - 15 A

На рис. 5 изображено температурное поле ТЭС – объект воздействия, где представлен временной ход температур охлаждаемой ткани, наконечника и теплопровода. Согласно полученным данным при токе питания основной и дополнительной ТЭБ соответственно равном 25 и 10 А температура ткани достигает 273 К через 2 мин.

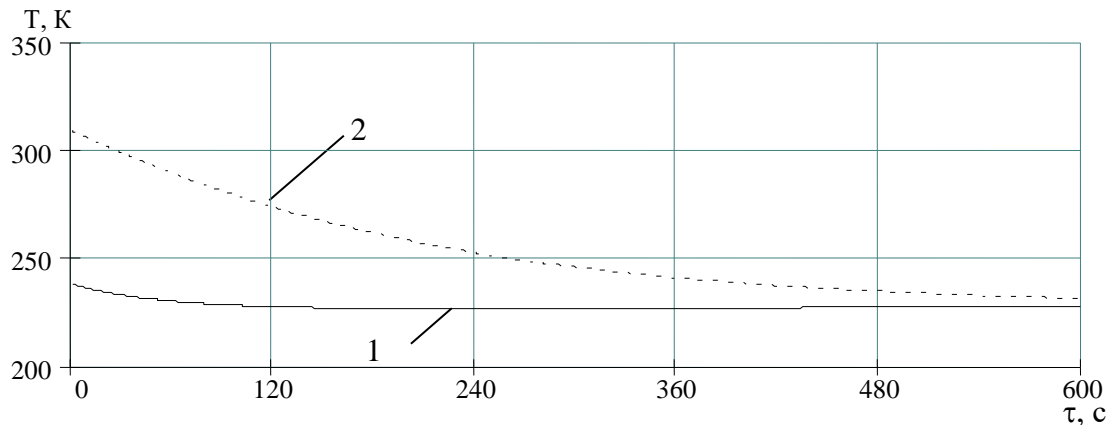


Рис. 5. Изменение температуры ТЭС - объект воздействия во времени 1 – температура воздействующего наконечника 2 – температура объекта воздействия
Fig. 5. Temperature variation of the TPP - an object of influence in time 1 - temperature of the acting tip 2 - temperature of the object of influence

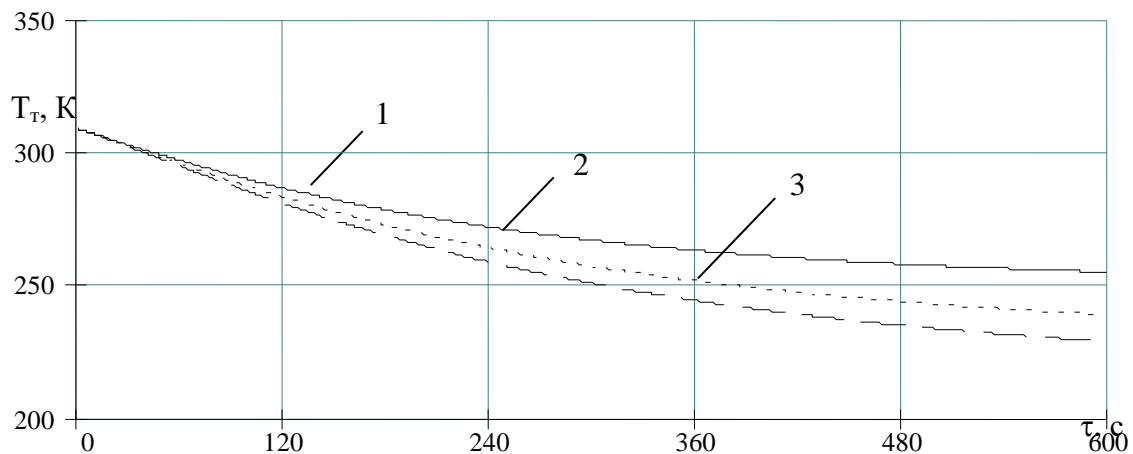


Рис. 6. Изменение температуры объекта воздействия во времени при различных токах питания основной ТЭБ 1 – 20 А, 2 – 35 А, 3 – 50 А
Fig. 6. Temperature variation of the object of exposure in time with different supply currents of the main thermopile 1 - 20 A, 2 - 35 A, 3 - 50 A

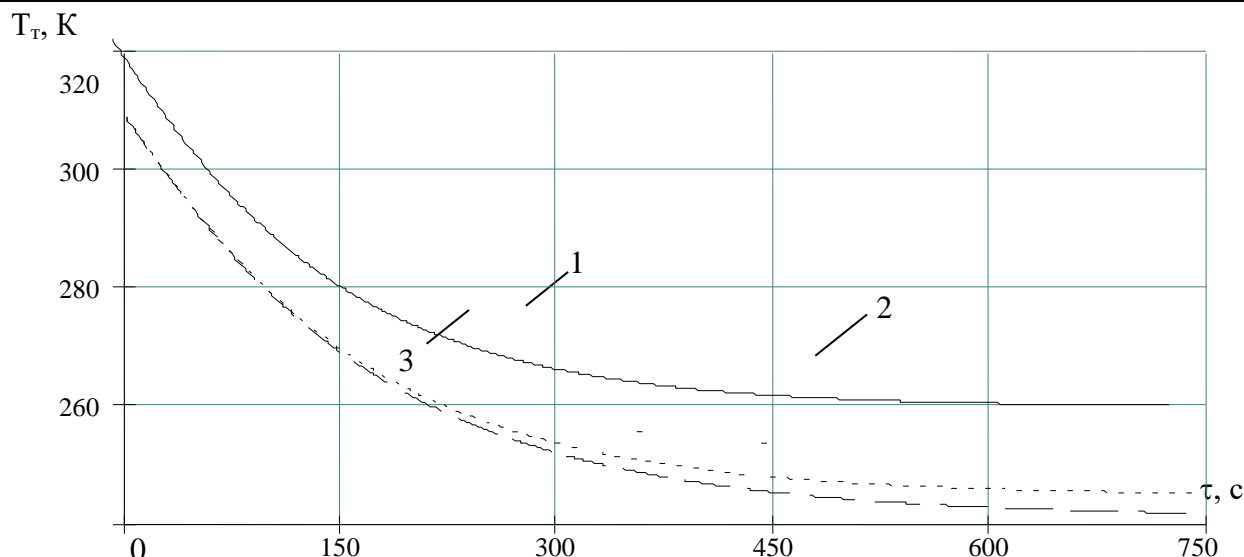


Рис. 7. Изменение температуры объекта воздействия во времени при различных температурах жидкости в теплообменном аппарате 1 – 298 К, 2 – 293 К, 3 – 288 К

Fig. 7. The temperature change of the object of exposure in time at different temperatures of the liquid in the heat exchanger 1 - 298 K, 2 - 293 K, 3 - 288 K

Снизить продолжительность достижения требуемой температуры ткани можно, увеличив силу тока ТЭБ. Согласно графикам зависимостей, приведенным на рис. 6, увеличение силы тока с 20 до 50 А позволит сократить это время с 4 до 1,5 мин. При изменении силы тока от 20 А до оптимального значения, при котором имеет место максимальное понижение температуры на холодном спае ТЭБ (в настоящем случае 50 А), отношение изменения температуры к изменению силы тока уменьшается. Для указанного случая (по достижению стационарного режима, соответствующего 10 мин.) при увеличении тока питания с 20 А до 35 А температура ткани понижается с 257 К до 242 К, увеличение силы тока с 35 А до 50 А понижает температуру с 238 К до 230 К. Дальнейшее увеличение силы тока вызывает преобладание теплоты Джоуля, увеличивающее температуру ткани. Получить более глубокое понижение температуры объекта воздействия можно, уменьшив значение $T_{ж}$. На рис.7 показано изменение температуры ткани гортани во времени для различных значений температуры жидкости в теплообменнике (ток питания – 30 А). Из графика следует, что для понижения температуры ткани, например, до 250 К при температуре $T_{ж}=288$ К требуется на 2 мин. меньше времени, чем в случае, когда $T_{ж}=298$ К.

Вывод. Реализация данной методики может быть осуществлена за счет использования в качестве источника холода ТЭБ. В результате исследования разработана конструкция ТЭС для внутрисполостной гипотермии, состоящая из двух ТЭБ, соединенных между собой посредством цельнометаллического теплового мостика, снабженная воздействующим наконечником и жидкостным теплообменником. Создана квазистационарная математическая модель ТЭС, которая рассматривает устройство как единую совокупность элементов – (теплообменника, теплопровода, ТЭБ, теплоизоляции, воздействующего наконечника), обеспечивающих снижение температуры биологического объекта за требуемое время до необходимой величины. Установлено, что без нагрузки температура воздействующего наконечника стабилизируется приблизительно через 4-4,5 минуты. При этом увеличение силы тока дополнительной ТЭБ с 5 до 15 А при токе питания основной ТЭБ 50 А снижает рабочее значение T_n с 235 К до 220 К. В процессе проведения процедур необходимого уровня снижения температуры ткани гортани (273 К) удастся достичь при токе питания основной и дополнительной ТЭБ соответственно равном 25 и 10 А через 2 мин. При фиксированной температуре $T_{ж}$ предельное снижение температуры воздействующего наконечника ограничено величиной оптимального тока ТЭБ. Получить более глубокое охлаждение при данной величине тока питания можно, уменьшив значение $T_{ж}$.

Библиографический список:

1. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2011. № 4. С.33-36.

2. Miroslav Savic, Borut Fonda, Nejc Sarabon, Actual temperature during and thermal response after whole-body cryo-therapy in cryo-cabin // *Journal of thermal biology*. 2013. № 38. P. 186-191.
3. 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. P. 106-116.
4. Боголюбов В.М., Улащик В.С. Комбинирование и сочетание лечебных физических факторов // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2004. № 5. С.4-11.
5. Буренина И.А. Современные методики криотерапии в клинической практике // *Вестник современной клинической медицины*. 2014. Т. 7. С. 57-61.
6. Ginsburg G.S., McCarthy J.J. Personalized medicine: Revolutionizing drug discovery and patient care // *Trends biotechnol*. 2001. №. 19. pp. 27-32.
7. Hua Zhang, Hong Chen, Hao Wang, Duoduo Li, Baolin Jia, Zhongjian Tan, Bin Zheng, Zhiwen Weng Effect of Chinese tuina massage therapy on resting state brain functional network of patients with chronic neck pain // *Journal of traditional Chinese medical sciences*. 2015. №2. pp. 32-38.
8. Jolanta Krukowska, Adam Lukasiak, Jan Czernicki Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone // *Polish annals of medicine*. 2012. №19. pp.17-24.
9. Зубкова С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2011. № 6. С. 3-10.
10. Tiffany Field. Massage therapy research review // *Complementary therapies in clinical practice*. 2016. № 24. - P. 19-31.
11. Баранов А.Ю. Криогенная физиотерапия // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2005. № 3. - С. 25-31.
12. Баранов А.Ю. Искусственный холод на службе здоровья // *Вестник Международной академии холода*. - 2006. № 1. С.15-18.
13. Портнов В. В. Локальная воздушная криотерапия: механизм действия и применение в практике // *Курортные ведомости*. 2009. №2. С. 21-29.
14. Баранов А.Ю. Разработка техники и технологии криотерапии / *Холодильная техника*. 2006. № 12. С. 42-47.
15. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Аминов Г.И., Юсуфов Ш.А. Приборы для локального температурного воздействия на человеческий организм // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. - 2003. - №2. С. 3-6.
16. 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*. - 2016. - vol. 65. pp. 698-726.
17. Анатычук Л.И. Современное состояние и некоторые перспективы термоэлектричества // *Термоэлектричество*. 2007. №2. С. 21-29.
18. Булат Л.П. Прикладные исследования и разработки в области термоэлектрического охлаждения в России // *Холодильная техника*. 2009. № 7. С. 14-19.
19. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Магомадов Р.А.-М. Математическая модель термоэлектрической системы для локального теплового воздействия на руку человека // *Термоэлектричество*. - 2014. № 1. С. 77-86.
20. Такенобу Кадзикава, Риодзи Фунахами. Новейшие разработки в области технологии термоэлектрического генерирования электроэнергии в Японии // *Термоэлектричество*. 2016. № 1. С. 4-11.
21. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Рагимова Т.А. Исследование термоэлектрической системы для локального замораживания тканей гортани // *Термоэлектричество*. 2015. № 2. С. 86-94.

References:

1. Yezhov V.V. Fizioterapiya i fizioprafilaktika kak metody i sredstva sokhraneniya i vosstanovleniya zdorov'ya // *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya*. 2011. № 4. S.33-36. [Ezhov V.V. Physiotherapy and physiotherapy as methods and means of maintaining and restoring health // *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011. No. 4. pp.33-36. (in Russ.)]
2. Miroslav Savic, Borut Fonda, Nejc Sarabon, Actual temperature during and thermal response after the whole body cryotherapy in cryo-cabin // *Journal of thermal biology*. 2013. No. 38. P. 186-191.
3. Verhagen John. Massage therapy has a musculoskeletal disorder for patients with common conditions compared to no treatment: a systematic review // *Journal of physiotherapy*. 2015. No. 61. P. 106-116.
4. Bogolyubov V.M., Ulashchik V.S. Kombinirovaniye i sochetaniye lechebnykh fizicheskikh faktorov // *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya*. 2004. № 5. S.4-11. [Bogolyubov V.M., Ulashchik V.S. Combination and combination of therapeutic physical factors // *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2004. No. 5. P.4-11. (in Russ.)]
5. Burenina I.A. Sovremennyye metodiki krioterapii v klinicheskoy praktike // *Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny*. 2014. Т. 7. S. 57-61. [Burenina I.A. Modern methods of cryotherapy in clinical practice // *Bulletin of modern clinical medicine*. 2014. Т. 7. pp. 57-61. (in Russ.)]
6. Ginsburg G.S., McCarthy J.J. Personalized medicine: Revolutionizing drug discovery and patient care // *Trends biotechnol*. 2001. No. 19. pp. 27-32.

7. Hua Zhang, Hong Chen, Hao Wang, Li Duong, Baolin Jia, Zhongjian Tan, Bin Zheng, Wang sciences. 2015. №2. pp. 32-38.
8. Jolanta Krukowska, Adam Lukasiak, Jan Czernicki, Polish annals of medicine. 2012. № 19. pp.17-24.
9. Zubkova S.M. Rol' teplovoy komponenty v lechebnom deystvii fizicheskikh faktorov // Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya. 2011. № 6. S. 3-10. [Zubkova S.M. The role of heat components in the therapeutic action of physical factors // Physiotherapy, balneology and rehabilitation. 2011. No. 6. P. 3-10. (in Russ.)]
10. Tiffany Field. Massage therapy research review // Complementary therapies in clinical practice. 2016. № 24. pp. 19-31.
11. Baranov A.YU. Kriogennaya fizioterapiya // Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya. 2005. № 3. - S. 25-31. [Baranov A.Y. Cryogenic physiotherapy // Physiotherapy, balneology and rehabilitation. 2005. № 3. - p. 25-31. (in Russ.)]
12. Baranov A.YU. Iskusstvennyy kholod na sluzhbe zdorov'ya // Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda. - 2006. № 1. S.15-18. [Baranov A.Y. Artificial cold in the service of health // Bulletin of the International Academy of Cold. - 2006. No. 1. P.15-18. (in Russ.)]
13. Portnov V. V. Lokal'naya vozdušnaya krioterapiya: mekhanizm deystviya i primeneniye v praktike // Kurortnyye vedomosti. 2009. №2. S. 21-29. [Portnov V.V. Local air cryotherapy: mechanism of action and application in practice // Spa lists. 2009. №2. Pp. 21-29. (in Russ.)]
14. Baranov A.YU. Razrabotka tekhniki i tekhnologii krioterapii // Kholodil'naya tekhnika. 2006. № 12. S. 42-47. [Baranov A.Y. Development of technology and cryotherapy // Refrigeration. 2006. No. 12. P. 42-47. (in Russ.)]
15. Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Aminov G.I., Yusufov SH.A. Pribory dlya lokal'nogo temperaturnogo vozdeystviya na chelovecheskiy organizm // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki. 2003. №2. S. 3-6. [Ismailov T.A., Evdulov O.V., Aminov G.I., Yusufov Sh.A. Devices for local temperature effects on the human body // News of universities. North Caucasus region. Technical science. 2003. №2. pp. 3-6. (in Russ.)]
16. Ssennoga Twaha, Jie Zhu, Yuying An, Bo Li. A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modeling and performance improvement // Renewable and sustainable energy reviews. 2016. Vol. 65. pp. 698-726.
17. Anatyshuk L.I. The current state and some prospects of thermoelectricity/Thermoelectricity. 2007. №2. pp. 21-29.
18. Bulat L.P. Prikladnyye issledovaniya i razrabotki v oblasti termoelektricheskogo okhlazhdeniya v Rossii // Kholodil'naya tekhnika. 2009. № 7. S. 14-19. [Bulat L.P. Applied research and development in the field of thermoelectric cooling in Russia // Refrigeration equipment. 2009. No. 7. P. 14-19. (in Russ.)]
19. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Khazamova M.A., Magomadov R.A.-M. Mathematical model of thermoelectric system for local thermal effects on the human hand /Thermoelectricity. 2014. № 1. P. 77-86.
20. Takenobu Kajikawa, Ryoji Funachami Newest Developments in the Field of Thermoelectric Power Generation Technology in Japan / Thermoelectricity. 2016. No. 1. P. 4-11.
21. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Ragimova T.A. Research of thermoelectric system for local freezing of laryngeal tissues / Thermoelectricity. 2015. № 2. pp. 86-94.

Сведения об авторах:

Евдулов Олег Викторович – кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической и общей электротехники.

Магомедова Сарат Гусеновна – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

Магоматов Рустам Абу-Муслимович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электропривод».

Набиев Наби Абдулаевич – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

Information about the authors:

Oleg V. Evdulov – Cand.Sci. (Technical), Assoc.Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Sarat G.Magomedova – Postgraduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Rustam A.-M.Magomadov– Cand.Sci. (Technical), Assoc.Prof., Head of the Department «Electrical Engineering and Electric Drive».

Nabi A. Nabiyev– Postgraduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.11.2018.

Принята в печать 22.12.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.11.2018.

Accepted for publication 22. 12.2018.

Для цитирования: Злобина И.В. Влияние микроволнового излучения на прочность отвержденных полимерных композиционных материалов с молниезащитным сетчатым покрытием малоцикловом нагружении // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (4): 42-51. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-42-51

For citation: Zlobina I.V. Effect of microwave radiation on strength capped polymer composition materials with lightning protective retained coating low-cycle loading. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 42-51 (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-42-51

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621-039-419; 620.22-419; 537.868

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-42-51

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ОТВЕРЖДЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МОЛНИЕЗАЩИТНЫМ СЕТЧАТЫМ ПОКРЫТИЕМ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Злобина И.В.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая 77, Россия,
e-mail: irinka_7_@mail.ru

Резюме. Цель. Проведен анализ особенностей применения армированных волокнами различной природы полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструктивных элементах авиационной техники и методов повышения прочности изделий из них. Указано на положительное влияние на прочность по напряжениям изгиба и межслоевого сдвига финишной обработки отвержденных ПКМ в СВЧ электромагнитном поле. Отмечено, что особенностью элементов обшивки из ПКМ является наличие в поверхностном слое встроенной металлической сетки, или молниезащитного покрытия (МЗП), необходимого для обеспечения устойчивости конструктивных элементов к воздействию разрядов атмосферного электричества. **Результат.** Проведены испытания контрольных и прошедших обработку в СВЧ электромагнитном поле образцов из ПКМ с МЗП на малоцикловую усталость при числе циклов нагружения – 60 и амплитудах деформации – 10 мм. Установлено, что в контрольных образцах с сеткой МЭУ первичная трещина появляется уже через 6 циклов. После СВЧ обработки образцы сохраняют целостность, но при этом нагрузка, вызывающая установленную деформацию, снижается на 14% уже на 35 цикле. **Вывод.** Долговечность образцов с термообработанной сеткой «Текстильмаш» и с сеткой без термообработки после воздействия СВЧ электромагнитного поля повышается соответственно на 59,5% и 71%. При этом образцы сохраняют целостность спустя 60 циклов нагружения, а максимальные напряжения снижаются по сравнению со статическими испытаниями соответственно на 13,7% и 5,8%. Предел малоцикловой усталости увеличивается после СВЧ обработки от 37 до 210%.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, углеродные волокна, молниезащитное покрытие, сетка, СВЧ электромагнитное поле, малоцикловая усталость, циклические испытания.

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

EFFECT OF MICROWAVE RADIATION ON STRENGTH CAPPED POLYMER COMPOSITION MATERIALS WITH LIGHTNESS PROTECTIVE RETAINED COATING LOW-CYCLE LOADING

Irina V. Zlobina

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
77 Politehnicheskaya Str., Saratov 410054, Russia,
e-mail: irinka_7_@mail.ru

Abstract Objectives The analysis of the features of application of fiber-reinforced polymer composite materials (PCM) of different nature in the structural elements of aviation technology and methods of increasing the strength of their products. **Method** It is indicated on the positive effect on the strength of the bending stress and interlayer shear finish treatment of cured PCM in the microwave electromagnetic field. It is noted that the peculiarity of the elements of the skin of PCM is the presence in the surface layer of the built-in metal mesh, or lightning-proof coating (MFP), necessary to ensure the stability of structural elements to the effects of atmospheric electricity discharges. **Result.** The tests of the control and processed in the microwave electromagnetic field samples from PCM with MSP on low-cycle fatigue at the number of loading cycles-60 and strain amplitudes-10 mm. It was Found that in the control samples with the grid MEU primary crack appears after 6 cycles. After microwave processing, the samples retain their integrity, but the load causing the set deformation is reduced by 14% already on the 35th cycle. **Conclusion** Durability of samples with the heat-treated grid "Tekstilmash" and with a grid without heat treatment after influence of microwave electromagnetic field increases respectively by 59,5% and 71%. At the same time, the samples retain their integrity after 60 loading cycles, and the maximum stresses are reduced by 13.7% and 5.8%, respectively, compared to static tests. The limit of low-cycle fatigue increases after microwave treatment from 37 to 210%.

Keywords: polymer composite materials, carbon fibers, lightning-proof coating, mesh, microwave electromagnetic field, low-cycle fatigue, cyclic tests.

Введение. Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в производстве изделий различного назначения постоянно расширяется. Экономический эффект от снижения массы изделия за счет применения ПКМ по данным 2006 г. составляет (в долл. на 1 кг массы) для транспортных самолетов - 50÷75; пассажирских самолетов - 100÷200; истребителей 5-го поколения - 150÷200; спутников на околоземной или геосинхронной орбите - 200÷500 [1-5]. Это объясняется низкими удельными энергозатратами на их производство. Преимущества ПКМ, армированных углеродными волокнами, а также стекло- и органопластиков, позволяют прогнозировать устойчивый рост их применения в ближайшей и отдаленной перспективе особенно в аэрокосмической отрасли, ветроэнергетике и строительстве.

Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними. Большую роль в обеспечении прочностных характеристик ПКМ играет межфазная зона «волокно-матрица», поскольку именно существенное различие в свойствах компонентов ПКМ способствует нарушению их изотропности, вызывает формирование дефектов и распространение первичных трещин в процессе действия эксплуатационных нагрузок. Чем выше прочность и модуль упругости волокон, тем выше прочность и жесткость композиционного материала, однако, тем меньше однородность физико-механических свойств, которые объективно выше в направлении армирующих волокон и значительно меньше в поперечном направлении. Это связано с тем, что в первом случае «работают» волокна, а во втором – матрица и межфазная зона. Таким образом, прочность ПКМ

при изгибе, межслоевом сдвиге и сжатии, а также сопротивление усталостному разрушению определяют в основном свойства матрицы.

Однако композиционные материалы характеризуются выраженной анизотропией физико-механических характеристик, определяемой видом и ориентацией армирующих компонентов [3, 6-8], что вызывает необходимость дополнительного усиления конструкции в некоторых опасных участках, приводя к увеличению веса. Данный факт весьма нежелателен для высокоманевренных и скоростных летательных аппаратов и требует постоянного совершенствования технологий производства армирующих компонентов и матричных материалов для ПКМ, а также схем их армирования, что представляет собой весьма сложную энергетически и финансово затратную задачу [9, 10].

На основании изложенного изучение механизмов и разработка технологий упрочняющего модифицирования окончательно отвержденных изделий из ПКМ представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

Постановка задачи. К ПКМ, используемым в производстве авиационной техники предъявляются следующие требования: теплостойкость, водо- и атмосферостойкость, прочность при растяжении вдоль волокон, прочность при сжатии вдоль волокон, трансверсальная (поперек волокон) прочность, межслоевой сдвиг, ударная вязкость, технологичность [6]. Для несущих конструкций и обшивки крыльев и оперения особое значение имеет так называемая «малоцикловая усталость» - сопротивление усталостному разрушению при высокоамплитудных нагрузках, возникающих при турбулентности, прохождении атмосферных фронтов, выполнении фигур высшего пилотажа.

Для локального управляющего воздействия на структуру и прочностные свойства трехмерного или двумерного объекта из неметаллических материалов в качестве наиболее эффективного метода представляется применение микроволнового (СВЧ электромагнитного) поля, воздействие которого позволяет либо резко интенсифицировать протекание термических процессов отверждения, либо формировать на поверхности и в объеме материала уникальную совокупность свойств. Проведенный анализ материалов отечественных и зарубежных научных публикаций [11-15] показывает, что наибольшее внимание в развитии исследований в области сверхвысокочастотной обработки материалов уделяется применению микроволновых технологий с целью замещения существующих технологий термообработки композиций на стадии их формирования и отверждения, что не устраняет негативного влияния на внутренние напряжения, возникающие в процессе размерной обработки и сборки изделий.

Эффекты, возникающие при воздействии СВЧ электромагнитного поля на сформированные и отвержденные изделия из армированных углеродными волокнами ПКМ, изучены недостаточно, а механизмы их вызывающие не выявлены.

Нами выполнены исследования возможности повышения эксплуатационных характеристик заготовок и деталей из композиционных угле- и стеклопластиков воздействием на окончательно отвержденные ПКМ СВЧ электромагнитным полем частотой 2450 МГц в течение 2-3 минут. Установлено, что такая обработка обеспечивает при однократном статическом нагружении увеличение предельных напряжений среза в среднем на 40%, изгиба на 7-13%, межслоевого сдвига – 14-16% [16-19]. Влияние обработки ПКМ в СВЧ электромагнитном поле на сопротивление изделий малоцикловой усталости при этом не исследовалось.

Значительный объем обладающих большой площадью конструктивных элементов обшивки фюзеляжа, консолей крыла и оперения из ПКМ в современной авиационной технике содержит в поверхностном слое молниезащитное покрытие (МЗП) в виде регулярно распределенных металлических структур, например, мелкоячеистой сетки. Наличие сетки необходимо для обеспечения устойчивости к электрическим разрядам при прохождении грозовых фронтов и для стекания статического электричества, возникающего при движении летательного аппарата в атмосфере.

Известно, что металлические структуры являются эффективным экраном, отражающим электромагнитное излучение, что может привести к ослаблению отмеченных выше упрочняю-

щих эффектов при технологическом воздействии СВЧ электромагнитного поля на ПКМ, а также привести к нестабильности работы магнетрона при попадании в волновод отраженной волны. Поэтому применение СВЧ обработки ПКМ, содержащих в своей структуре встроенные металлические конструкции, в частности – сетки, нуждается в дополнительном изучении.

Целью исследований явилось изучение влияния СВЧ электромагнитного поля на циклическую изгибную прочность образцов из армированного углеродными волокнами ПКМ с МЗП, в виде встроенной в поверхностный слой металлической сетки при малом числе высокоамплитудных циклов нагружения.

Методы исследования. Использовали образцы в виде пластин длиной 70 мм, толщиной 1,8 – 1,6 мм, шириной 10,1 – 10,3 мм. Материал образцов – углепластик типа ВКУ с молниезащитным покрытием трех видов: медная луженая сетка производства «Текстильмаш» с предварительной термообработкой, медная луженая сетка производства «Текстильмаш» нетермообработанная, сетка МЭУ (Украина). Сетка снаружи покрыта одним слоем стеклопластика.

Осуществляли СВЧ обработку при частоте 2450 МГц и дистанции от поверхности образца до плоскости раскрытия излучающего рупора, равной 150 мм в течение 2 минут. Ранее при данных условиях были получены лучшие результаты по повышению прочности углепластиков по напряжениям изгиба и межслоевого сдвига [16-19].

Одновременно обрабатывали по три образца на установке «Жук-2-02» (ООО «АгроЭкоТех», г. Обнинск Калужской обл.).

Оборудование и стадии проведения испытаний представлены на рис. 1.

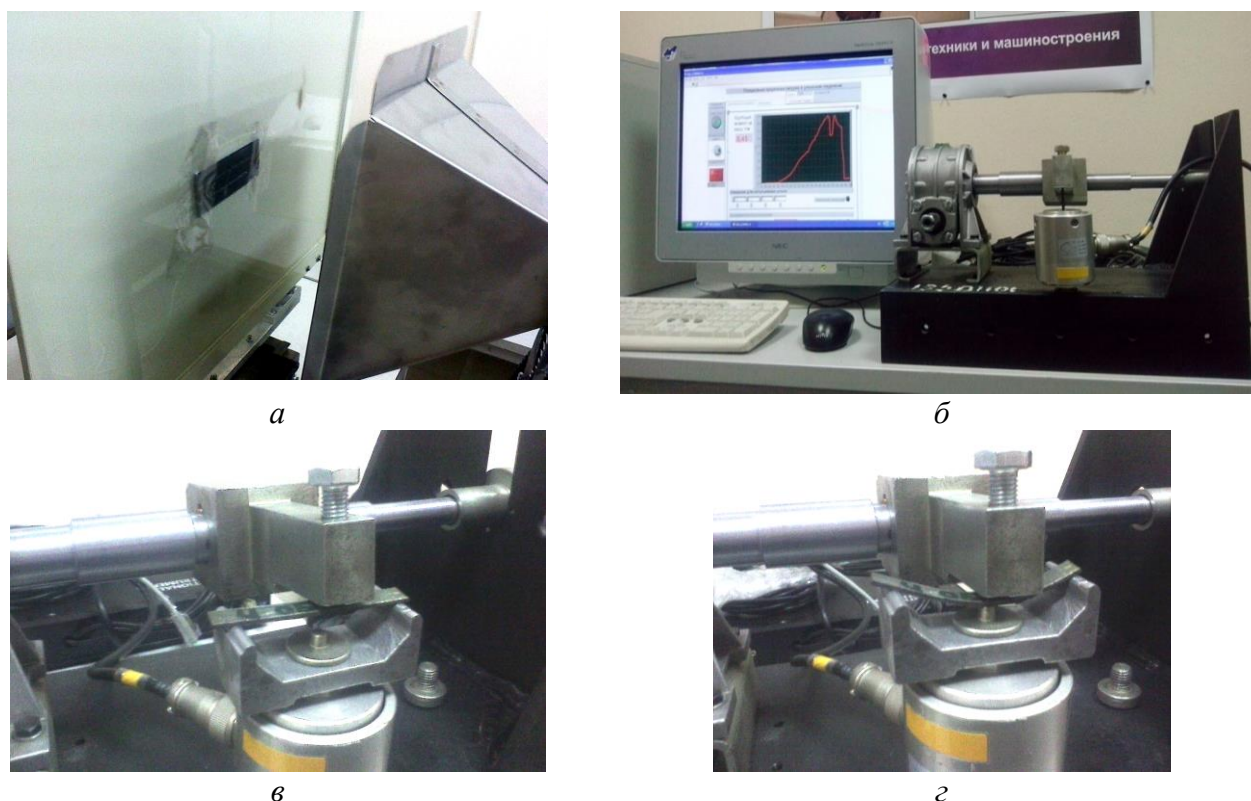


Рис. 1. Проведение экспериментальных исследований: образцы на трехкоординатном столе под излучающим рупором установки «Жук-2-02» (а); экспериментальная установка для проведения испытаний (б); начальная (в) и конечная (г) стадии циклического нагружения образца

Fig. 1. Conducting experimental studies: samples on a three-coordinate table under the radiating horn of the installation "Beetle-2-02" (a); experimental setup for testing (b); the initial (c) and final (g) stages of cyclic loading of the sample

Испытания проводили на компьютерной лабораторной установке, оснащенной тензометрическими датчиками усилий (рис. 1б).

Образец устанавливали на тензометрическом датчике на опорах специального оснащения и циклически нагружали при помощи червячного привода воздействием регулируемого упора со сферической вершиной (рис. 1 в и з).

Текущее значение сигнала датчика поступало в аналогово-цифровой преобразователь, а оттуда – в компьютер, где обрабатывалось в программной среде LabWiev (г. Орел). График нагружения выводился на экран монитора. Частота нагружений составляла 70 1/мин, амплитуда – 10 мм. Максимальное число циклов нагружений приняли равным 60 с учетом значительной стрелы прогиба (амплитуды деформации).

С целью удобства считывания информации с графика и ее анализа осуществляли нагружение по 30 циклов с отдельной записью графика каждой серии. В случае разрушения образца испытания прекращали и фиксировали число циклов, предшествовавших его разрушению.

Ввиду различий в размерах поперечного сечения образцов напряжения изгиба определяли путем вычислений и затем усредняли.

Обсуждение результатов. Кинетика нагружения контрольных образцов и образцов, подвергнутых воздействию СВЧ электромагнитного поля, представлена на рис. 2-4.

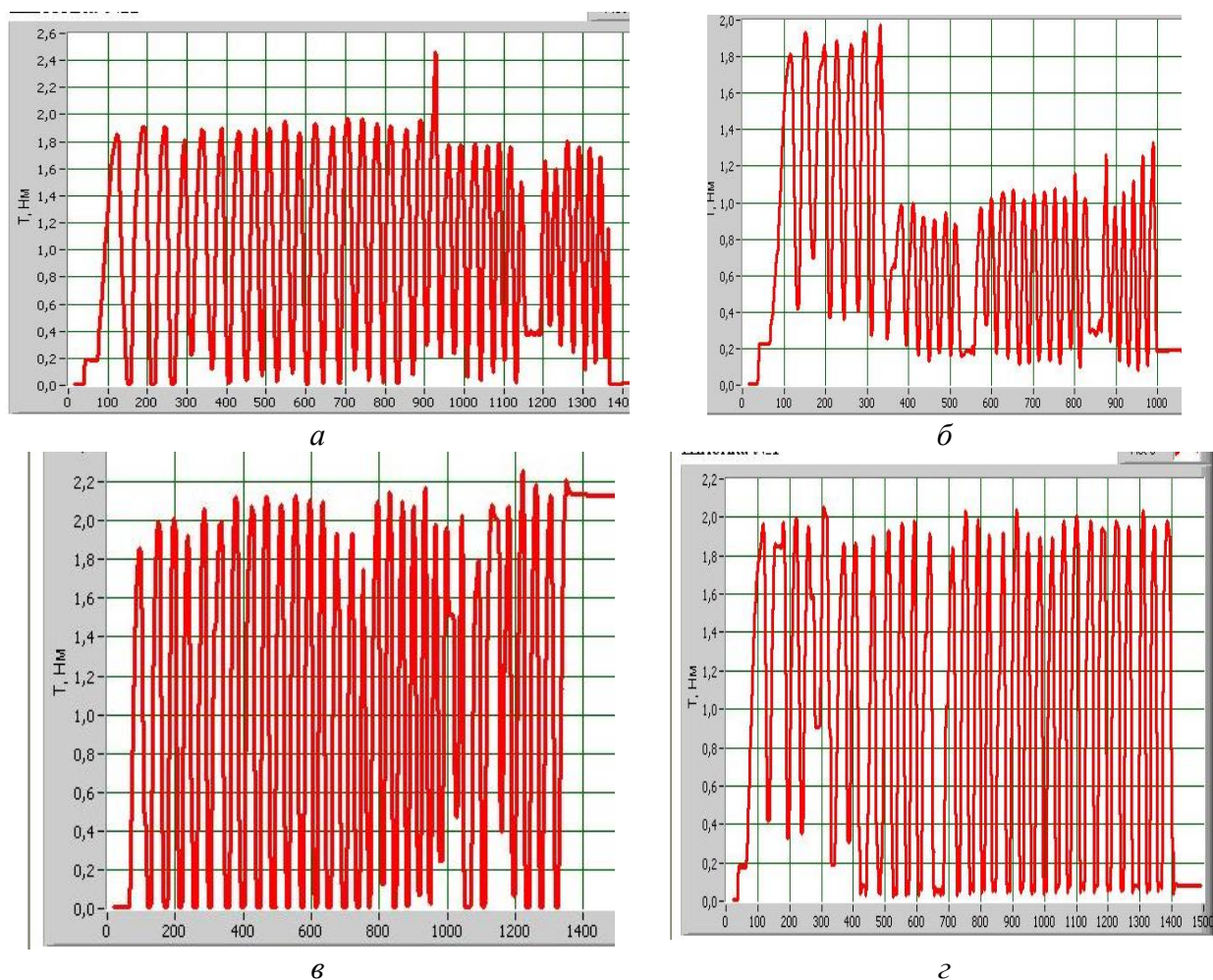


Рис. 2 Графики циклического нагружения контрольного (а, б) и обработанного (в, г) образцов из пластика ВКУ с термообработанной сеткой «Текстильмаш»
Fig. 2 Charts of cyclic loading of the control (a, b) and processed (c, d) samples from VKU plastic with heat-treated Textilmesh mesh

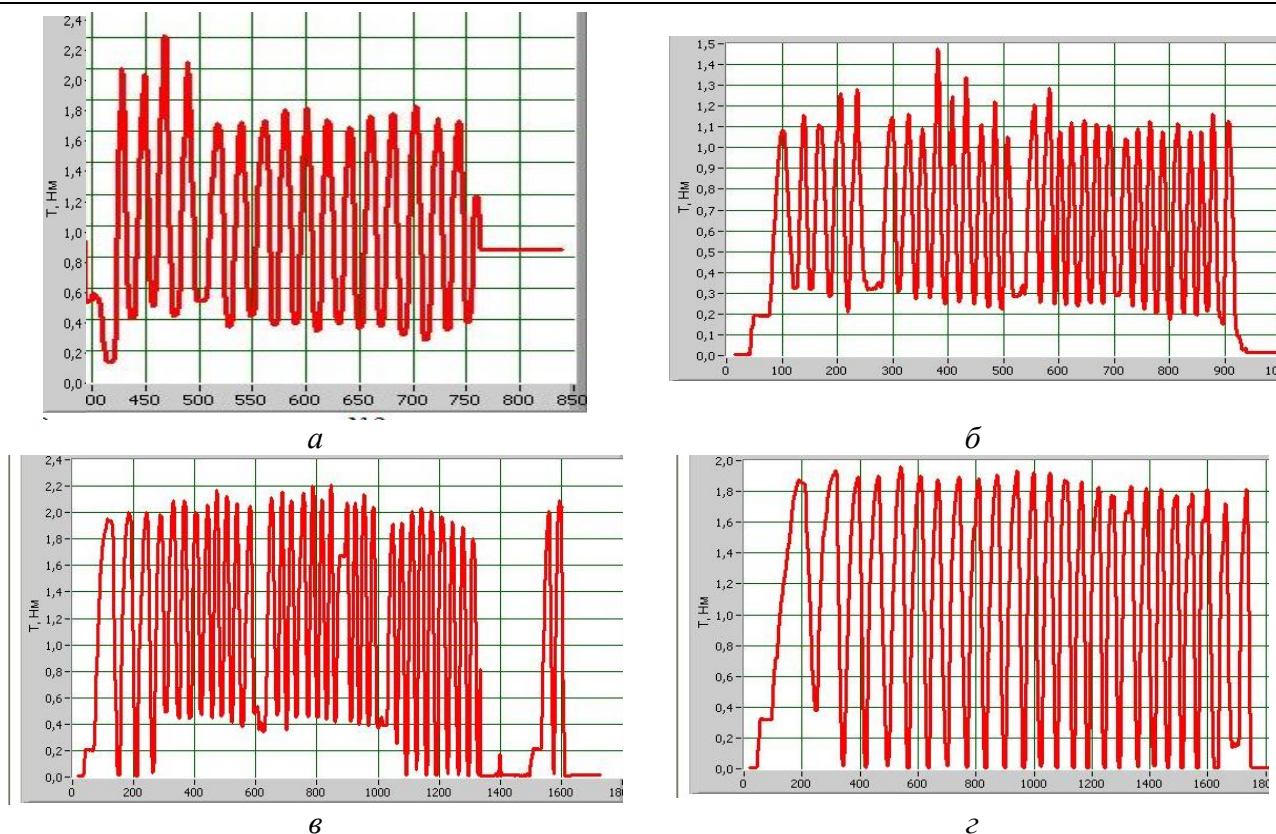


Рис. 3 Графики циклического нагружения контрольного (а, б) и обработанного (в, г) образцов из пластика ВКУ с сеткой МЭУ

Fig. 3 Charts of cyclic loading of the control (a, b) and processed (c, d) samples from VKU plastic with MEU mesh

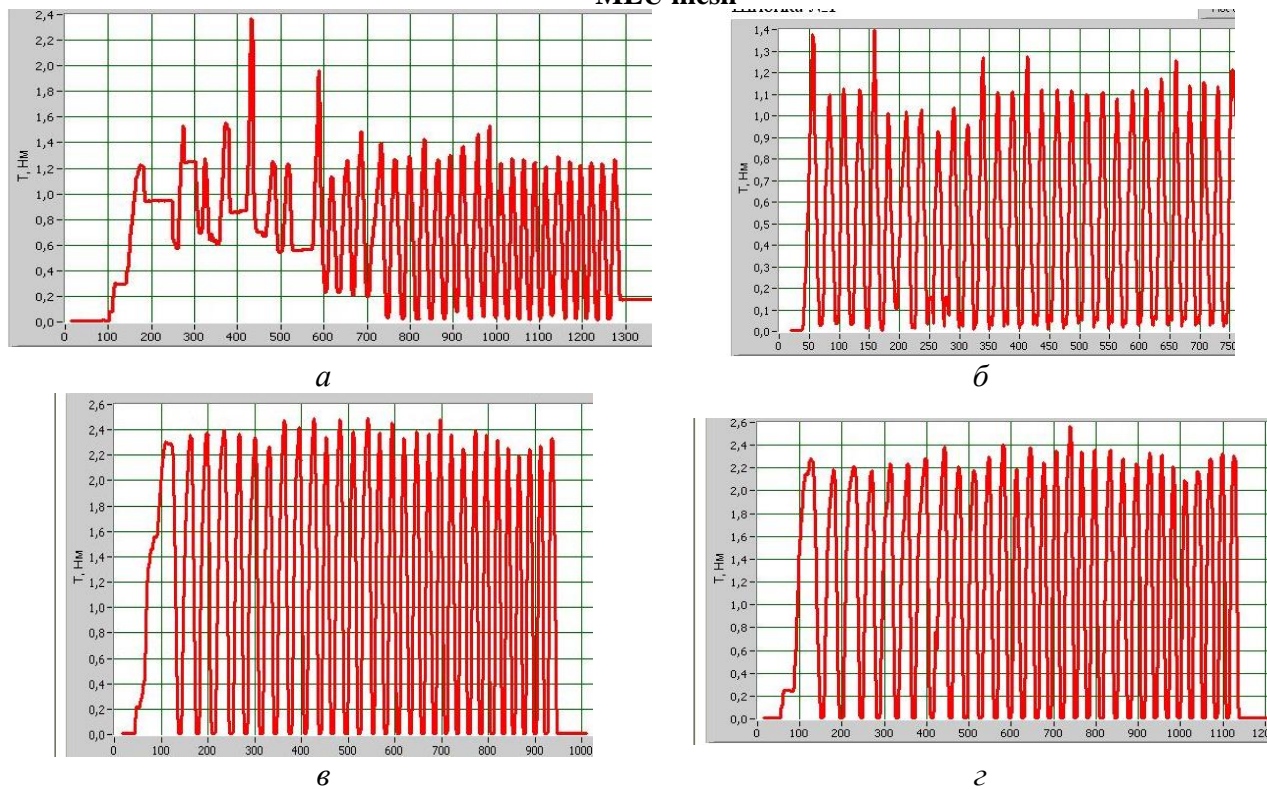


Рис. 4 Графики циклического нагружения контрольного (а, б) и обработанного (в, г) образцов из пластика ВКУ с сеткой «Текстильмаш» без предварительной термообработки

Fig. 4 Charts of cyclic loading of the control (a, b) and processed (c, d) samples from the VKU plastic with the Textilmash grid without prior heat treatment

Результаты обработки полученных графиков сведены в табл. 1.
Таблица 1. Результаты испытаний образцов из углепластика типа ВКУ на малоцикловую усталость

Table 1. The results of testing samples of CFRP type VKU on low-cycle fatigue

Образец Sample	Характеристика Characteristic				Примечание
	Статическая прочность σ_F , Н/мм ²	Циклическая прочность σ_{60} , Н/мм ²	Снижение деформирующей нагрузки, %	Долговечность, циклов	
МЗП «Текстильмаш» термообработанный. Контрольный	143,3	73,5	86	37	Трещина после 37 циклов
МЗП «Текстильмаш» термообработанный. После СВЧ	165,9	154,5	6,9	59	-
МЗП МЭУ Контрольный	155,1	81,1	46,6	6	Трещина после 6 циклов
МЗП МЭУ после СВЧ	176,4	167,5	14,6	59	-
МЗП «Текстильмаш» без термообработки. Контрольный	117,0	107,0	21	35	Трещина на 36 цикле
МЗП «Текстильмаш» без термообработки. После СВЧ	146,6	146,6	6	60	-

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы. Воздействие циклического высокоамплитудного нагружения приводит к снижению предела изгибной прочности контрольных образцов на (21-86)% в зависимости от вида МЗП. Снижение прочности происходит за счет образования усталостных трещин в матрице.

При этом имеющий большую статическую прочность материал с МЗП МЭУ, оказывается менее устойчивым к циклическим нагрузкам: первичная трещина образуется в матрице уже после 6 циклов нагружения.

Трещины в материалах с МЗП производства «Текстильмаш» образуются практически после равного числа циклов (35 и 37). При этом менее статически прочный материал с МЗП, не прошедшим предварительную термическую обработку, имеет существенно большую циклическую прочность, превосходя другие материалы из исследованных на 45,6% (термообработанное МЗП «Текстильмаш») и на 32% (МЗП МЭУ). Такой результат может быть объяснен тем, что сетчатое МЗП, встроенное в поверхностный слой, выполняет дополнительную армирующую функцию при изгибной деформации. При этом более пластичная нетермообработанная сетка производства «Текстильмаш», изначально менее прочная, выдерживает большее число деформаций, что способствует увеличению предела циклической прочности образцов с таким МЗП при числе циклов – 60. По видимому, сетка МЭУ обладает высокой прочностью, но при этом имеет повышенную хрупкость, что проявляется в чрезвычайно низкой долговечности материала.

Воздействие на исследуемые материалы СВЧ электромагнитного поля приводит как к увеличению циклической прочности, так и повышению выносливости к знакопеременным нагрузкам. Трещины в матрице не образовывались спустя 60 циклов нагружения. Спустя 150 циклов появление трещин также не было зафиксировано. Снижение усталостной прочности

происходило на 59 цикле, но было незначительным и составляло от 6% до 14,6%. При этом наибольшее снижение характерно для образцов с МЗП МЭУ.

Относительно предельных напряжений, возникающих при статическом нагружении, средние за 60 циклов напряжения в образцах с МЗП из термообработанной сетки «Текстильмаш» снизились на 7,4%, в образцах с МЗП МЭУ – на 5,3%. В образцах с МЗП из нетермообработанной сетки «Текстильмаш» снижения предельных напряжений не зафиксировано. Для всех материалов отмечается увеличение предела циклической прочности: для ВКУ с МЗП из термообработанной сетки – на 210%, для ВКУ с МЗП из сетки МЭУ – на 206%, для ВКУ с МЗП из нетермообработанной сетки – на 37%. Повышение прочности исследованных материалов после обработки в СВЧ электромагнитном поле может быть объяснено увеличением модуля упругости материала матрицы за счет образования дополнительных швов в ее структуре и в межфазном слое. Некоторое снижение циклической прочности после заданного количества циклов может быть связано с появлением микротрещин как в матрице, так и в межфазном слое, не приводящих к катастрофическому разрушению с образованием макротрещин, как в случае контрольных образцов.

Наличие встроенной металлической сетки не оказывает влияния на эффективность упрочнения. Различия в значениях предельных напряжений в исследованных образцах связаны с различными прочностными характеристиками сетки, примененной в качестве основы МЗП.

Вывод. Таким образом, СВЧ обработка ПКМ с встроенным МЗП на основе металлической сетки возможно и обеспечивает значимое увеличение не только статической, но малоцикловой прочности при высокоамплитудном нагружении. По критериям малоцикловой прочности и долговечности наиболее целесообразно применять в изделиях из углепластика типа ВКУ, упрочняемых в СВЧ электромагнитном поле, молниезащитное покрытие на основе сетки производства «Текстильмаш», прошедшей предварительную термическую обработку.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-79-00240 «Раскрытие механизма взаимодействия микроволнового излучения с отвержденными полимерными композиционными материалами на основе углеродных волокон в сочетании с внедренными в поверхностный слой связанными металлическими элементами, периодически распределенными в плоскости армирования наполнителем, применительно к конструкционным элементам авиационных робототехнических комплексов».

Библиографический список:

1. Кошкин Р.П. – Основные направления развития и совершенствования беспилотных авиационных систем: <http://spmagazine.ru/420>, дата последнего обращения 28.01.2017 г.
2. Мирный М. Мировой рынок углепластиков достигнет отметки в \$23 млрд к 2022 году URL: <https://mplast.by/novosti/2016-04-29-mirovoy-ryinok-ugleplastikov-dostignet-otmetki-v-23-mlrd-k-2022-godu/>, (дата последнего обращения 20.09.2016 г.).
3. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
4. Композитный мир 2011 спецвыпуск – Авиация и космос: Издательский дом «Мир композитов», -36 с. www.kompomir.ru.
5. Садовская Т.Г. Проблемы и перспективы реализации политики импортозамещения при формировании производственной кооперации по применению композиционных материалов в отечественном гражданском авиастроении на примере ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» / Т.Г. Садовская, Е.А. Лукина // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. Вып. 11. С. 1-12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/indust/hidden/1221.html>.
6. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – 2-е изд. – СПб.: Научные основы и технологии. – 2010. – 822 с.
7. Brinkmann S. At al. International Plastics Handbook the Resource for Plastics Engineers. – Ed. Hanser. – 2006. – 920 p.
8. Гуняев Г.М. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов / Г.М. Гуняев, Кривонос В.В., Румянцев А.Ф. и др. // Конверсия и машиностроение. - № 4, 2004. URL: www.viam.ru/public.
9. Гусева Р.И., Производство изделий из ПКМ в самолетостроении: учеб. пособие / Р.И. Гусева. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2013. 135 с.

10. Крыжановский, В.К. Технология полимерных материалов / А.Ф. Николаев, В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов (и др.) // СПб.: Профессия. – 2008. – 534 с.
11. Архангельский Ю. С. Справочная книга по СВЧ-электротермии: справочник / Ю. С. Архангельский – Саратов : Научная книга, 2011. - 560 с.
12. Коломейцев, В.А. Экспериментальные исследования уровня неравномерности нагрева диэлектрических материалов и поглощенной мощности в СВЧ устройствах резонаторного типа / В.А. Коломейцев, Ю.А. Кузьмин, Д.Н. Никуйко, А.Э. Семенов // Электромагнитные волны и электронные системы, 2013. – Т. -18.- № 12. – С. 25-31.;
13. Estel, L. Microwave assisted blow molding of polyethylene-terephthalate (PET) bottles / L. Estel, Ph. Lebaudy, A. Ledoux, C. Bonnet, M. Delmotte // Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications. – 2004. – № 11. – P. 33.
14. Комаров, В. В. Формулировки математических моделей процессов взаимодействия электромагнитных волн с диссипативными средами в СВЧ- нагревательных системах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. - 2010. - Т. 13. - № 4. - С. 57-63.
15. V.N. Studentsov, I.V.Pyataev. Effect of vibration in Processes of structure Formation in Polymers / Russian Journal of Applied Chemistry, 2014 , vol. 87, №3, p-p 352-354.- Pleiades Publishing, Ltd. 2014.
16. The influence of electromagnetic field microwave on physical and mechanical characteristics of CFRP (carbon fiber reinforced polymer) structural / Zlobina, I.V., Bekrenev, N. V. // Solid State Phenomena. 2016. V. 870, p.p. 101-106.
17. Злобина И.В. Прочностные испытания модифицированных в СВЧ электромагнитном поле композиционных материалов / И.В. Злобина, Н.В. Бекренев, С.П. Павлов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. – Сер.: Механика предельного состояния, 2017, № 3 (33). – С. 42-57.
18. The Influence of Microwave Electromagnetic Field on Mechanical Properties of Composite Materials / Zlobina I.V., Bekrenev N.V. // Научные технологии. 2016. Т. 17. № 2. С. 25-30.
19. Злобина И.В. Новые конструкторско-технологические методы повышения прочности конструктивных элементов из неметаллических композиционных материалов: монография / И.В. Злобина, Н.В. Бекренев. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2017. – 164 с.

References:

1. Koshkin R.P. – Osnovnyye napravleniya razvitiya i sovershenstvovaniya bespilotnykh aviatsionnykh sistem: <http://spmagazine.ru/420>, data poslednego obrashcheniya 28.01.2017 g. [Koshkin R.P. - The main directions of development and improvement of unmanned aircraft systems: <http://spmagazine.ru/420>, the date of the last appeal 01/28/2017(in Russ.)]
2. Mirnyy M. Mirovoy rynek ugleplastikov dostignet otmetki v \$23 mlrd k 2022 godu URL: <https://mplast.by/novosti/2016-04-29-mirovoy-ryinok-ugleplastikov-dostignet-otmetki-v-23-mlrd-k-2022-godu/>, (data poslednego obrashcheniya 20.09.2016 g.). [Mirny M. The global carbon-fiber market will reach \$ 23 billion by 2022 URL: <https://mplast.by/novosti/2016-04-29-mirovoy-ryinok-ugleplastikov-dostignet-otmetki-v-23-mlrd-k-2022-godu/>, (the date of the last appeal was 20.09.2016). (in Russ.)]
3. Kablov Ye.N. Materialy i khimicheskiye tekhnologii dlya aviatsionnoy tekhniki // Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530. [Kablov E.N. Materials and chemical technologies for aviation technology // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2012. T. 82. №6. Pp. 520–530. (in Russ.)]
4. Kompozitnyy mir 2011 spetsvypusk – Aviatsiya i kosmos: Izdatel'skiy dom «Mir kompozitov», -36 s. www.kompomir.ru [Composite World 2011 Special Issue - Aviation and Space: World of Composites Publishing House, - 36 p. www.kompomir.ru. (in Russ.)]
5. Sadovskaya T.G. Problemy i perspektivy realizatsii politiki importozameshcheniya pri formirovani proivodstvennoy kooperatsii po primeneniyu kompozitsionnykh materialov v otechestvennom grazhdanskom aviastroeni na primere OAO «Ob'yedinennaya aviastroitel'naya korporatsiya» / T.G. Sadovskaya, Ye.A. Lukina // Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii. 2014. Vyp. 11. S. 1-12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/indust/hidden/1221.html>. [Sadovskaya T.G. Problems and prospects of implementing the policy of import substitution in the formation of industrial cooperation on the use of composite materials in the domestic civil aircraft industry as an example of United Aircraft Building Corporation / T.G. Sadovskaya, E.A. Lukin // Engineering Journal: Science and Innovation. 2014. Vol. 11. P. 1-12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/indust/hidden/1221.html>. (in Russ.)]
6. Mikhaylin, YU.A. Konstruktsionnyye polimernyye kompozitsionnyye materialy. – 2-ye izd. – SPb.: Nauchnyye osnovy i tekhnologii. – 2010. – 822 s. [Mikhaylin, Yu.A. Structural polymer composites. - 2nd ed. - SPb.: Scientific fundamentals and technologies. - 2010. - 822 s. (in Russ.)]
7. Brinkmann S. At al. International Plastics Handbook the Resource for Plastics Engineers. – Ed. Hanser. – 2006. – 920 p. [Brinkmann S. At al. International Plastics Handbook the Resource for Plastics Engineers. - Ed. Hanser. - 2006. - 920 p. (in Russ.)]
8. Gunyayev G.M. Polimernyye kompozitsionnyye materialy v konstruktsiyakh letatel'nykh apparatov / G.M. Gunyayev, Krivonos V.V., Rumyantsev A.F. i dr. // Konversiya i mashinostroyeniye. - № 4, 2004. URL: www.viam.ru/public. [Gunyaev G.M. Polymer composite materials in the structures of aircraft / G.M. Gunyaev, Krivonos V.V., Rumyantsev A.F. et al. // Conversion and engineering. - № 4, 2004. URL: www.viam.ru/public. (in Russ.)]

9. Guseva R.I., *Proizvodstvo izdeliy iz PKM v samoletostroyenii: ucheb. posobiye* / R.I. Guseva. Kom-somol'sk-na-Amure: FGBOU VPO «KNAGTU», 2013. 135 s. [Guseva, R.I., *Manufacture of articles from PCM in aircraft construction: studies. manual* / R.I. Gusev. Kom-somolsk-on-Amur: KNAGTU Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education, 2013. 135 p. (in Russ.)]
10. Kryzhanovskiy, V.K. *Tekhnologiya polimernykh materialov* / A.F. Nikolayev, V.K. Kryzhanovskiy, V.V Burlov (i dr.) // SPb.: Professiya. – 2008. – 534 s. [Kryzhanovsky, V.K. *Technology of polymeric materials* / A.F. Nikolaev, V.K. Kryzhanovsky, V.V. Burlov (and others) // SPb. : Profession. - 2008. - 534 s. (in Russ.)]
11. Arkhangel'skiy YU. S. *Spravochnaya kniga po SVCH-elektrotermii: spravochnik* / YU. S. Arkhangel'skiy – Saratov : Nauchnaya kniga, 2011. - 560 s. [Arkhangel'sky Yu. S. *Reference book on microwave electrothermal: a reference book* / Yu. S. Arkhangel'sky - Saratov: Scientific book, 2011. - 560 p. (in Russ.)]
12. Kolomeytsev, V.A. *Eksperimental'nyye issledovaniya urovnya neravnomernosti nagreva dielektriche-skikh materialov i pogloshchennoy moshchnosti v SVCH ustroystvakh rezonatornogo tipa* / V.A. Kolomeytsev, YU.A. Kuz'min, D.N. Nikuyko, A.E. Semenov // *Elektromagnitnyye volny i elektronnyye sistemy*, 2013. – Т. -18.- № 12. – S. 25-31.; [Kolomeitsev, V.A. *Experimental studies of the level of uneven heating of dielectric materials and absorbed power in microwave devices of a resonator type* / V.A. Kolomeitsev, Yu.A. Kuzmin, D.N. Nikuiko, A.E. Semenov // *Electromagnetic Waves and Electronic Systems*, 2013. - Т. -18.- No. 12. - P. 25-31 (in Russ.)]
13. Estel, L. *Microwave assisted polyethylene-terephthalate (PET) bottles* / L. Estel, Ph. Leb-audy, A. Ledoux, C. Bonnet, M. Delmotte // *Proceedings of the Fourth World Congress*. - 2004. - № 11. - R. 33.
14. Komarov, V. V. *Formulirovki matematicheskikh modeley protsessov vzaimodeystviya elektromagnit-nykh voln s dissipativnymi sredami v SVCH- nagrevatel'nykh sistemakh* // *Fizika volnovykh protsessov i ra-diotekhnicheskiye sistemy*. - 2010. - Т. 13. - № 4. - S. 57-63. [Komarov, V. V. *Formulations of mathematical models of the processes of interaction of electromagnetic waves with dissipative media in microwave heating systems* // *Physics of wave processes and radio-engineering systems*. - 2010. - V. 13. - № 4. - P. 57-63. (in Russ.)]
15. V.N. Studentsov, I.V.Pyataev. *The effect of vibration in polymers* / *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014, vol. 87, No. 3, pp p 352-354.- Pleiades Publishing, Ltd. 2014
16. *Influence of the carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and Z.Vlobina, I.V., Bekrenev, N.V.* // *Solid State Phenomena*. 2016. V. 870, p.p. 101-106.
17. Zlobina I.V. *Prochnostnyye ispytaniya modifitsirovannykh v SVCH elektromagnitnom pole kompozi-tsiyonnykh materialov* / I.V. Zlobina, N.V. Bekrenev, S.P. Pavlov // *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I.YA. Yakovleva*. – Ser.: *Mekhanika predel'nogo sostoyaniya*, 2017, № 3 (33). – S. 42-57. [Zlobina I.V. *Strength tests of composite materials modified in a microwave electromagnetic field* / I.V. Zlobina, N.V. Bekrenev, S.P. Pavlov // *Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University. AND I. Yakovlev*. - Ser. : *Mechanics of ultimate state*, 2017, No. 3 (33). - pp. 42-57. (in Russ.)]
18. *The Influence of Microwave Electromagnetic Field on Mechanical Properties of Composite Materials* / Zlobina I.V., Bekrenev N.V. // *Naukoyemkiye tekhnologii*. 2016. T. 17. № 2. S. 25-30. [*The Influence of Microwave Electromagnetic Field Effects* / Zlobina I.V., Bekrenev N.V. // *High technology*. 2016. V. 17. № 2. P. 25-30. (in Russ.)]
19. . Zlobina I.V. *Novyye konstruktorsko-tekhnologicheskkiye metody povysheniya prochnosti konstruktsi-onnykh elementov iz nemetallicheskikh kompozitsionnykh materialov: monografiya* / I.V. Zlobina, N.V. Bekre-nev. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2017. – 164 s.
[Zlobina I.V. *New design and technological methods to increase the strength of structural elements from non-metallic composite materials: monograph* / I.V. Zlobina, N.V. Bekrev-nev. Saratov: Sarat. state tech. Univ., 2017. - 164 p. (in Russ.)]

Сведения об авторах.

Злобина Ирина Владимировна – кандидат технических наук, доцент, кафедра «Техническая механика и детали машин»

Information about the authors.

Irina V. Zlobina– Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Technical mechanics and machine parts.

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 10.11.2018.

Received 10.11.2018.

Принята в печать 15.12.2018.

Accepted for publication 15.12.2018.

Для цитирования: Морозов С.А., Чукарин А.Н. Экспериментальные исследования процесса виброакустической динамики при местном упрочнении деталей шарико-стержневым упрочнителем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(4):52-58. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-52-58

For citation: Morozov S. A., Chukarin A.N. Pilot studies of process of vibroacoustic dynamics at local hardening of details a shariko-rod uprochnitel. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45(4): 52-58. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-52-58

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 62-922.4

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-52-58

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ПРИ МЕСТНОМ УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ШАРИКО-СТЕРЖНЕВЫМ УПРОЧНИТЕЛЕМ

Морозов С.А.¹, Чукарин А.Н.²

¹Институт сферы обслуживания предпринимательства, филиал ДГТУ в г. Шахты,
¹346500, Ростовская область, г. Шахты, ул. Шевченко, 147, Россия,

²Ростовский государственный университет путей сообщения,

²344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного ополчения,
2, Россия,

¹e-mail: morozov-sergey@sssu.ru, ²e-mail: OPM@rgups.ru

Резюме. Цель. Одной из важнейших задач современного машиностроения является повышение долговечности изделий, их эффективности и конкурентоспособности на мировом рынке. В настоящее время закономерности формирования акустических характеристик изучены в основном для металлорежущих и деревообрабатывающих станков различных типов. Формирование звукового поля при шарико-стержневом упрочнении (ШСУ) изучено недостаточно. Цель исследований, результаты которых приведены в данной статье, заключалась в изучении закономерностей спектрального состава шума и вибраций при обработке шарико-стержневом упрочнении деталей с различными способами закрепления. **Метод.** В процессе экспериментальных исследований использовались известные методы измерения и обработки экспериментальных данных применительно к акустическим и вибрационным характеристикам. **Результат.** Установлено, что спектры шума при шарико-стержневом упрочнении деталей с различными способами закрепления имеют идентичные закономерности шумообразования и характеризуются ярко выраженным высокочастотным характером. Доказано, что доминирующими источниками являются упрочняемая деталь и упрочнитель. **Вывод.** Установлены величины превышений уровней звукового давления системы «упрочнитель-деталь» в высокочастотной части спектра 500-8000Гц. Установленные закономерности формирования спектрального состава являются основой для выбора средств снижения уровней шума. Статья выполнена в рамках инициативной научно-исследовательской работы.

Ключевые слова: динамика, виброакустика, машиностроение, шарико-стержневой упрочнитель

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

PILOT STUDIES OF PROCESS OF VIBROACOUSTIC DYNAMICS AT LOCAL HARDENING OF DETAILS A SHARIKO-ROD UPROCHNITEL

Sergey A. Morozov¹, Alexander N. Chukarin¹

¹*Institute of Services Industry of Business, Branch of the Don State Technical University, Shakhty, Russia,*

¹*147 Shevchenko Str., Rostov region, Shakhty 1346500, Russia,*

²*Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia,*

²*2 Rostov Rifle Regiment of the People's Militia, Rostov-on-Don 2344000, Russia,*

¹*e-mail: morozov-sergey@sssu.ru, ²e-mail: OPM@rgups.ru*

Abstract Objectives *The most important problem of modern mechanical engineering is increase in durability of products, their efficiency and competitiveness in the world market. The equipment for machining creates the increased noise levels in a working zone of operators. Now regularities of formation of acoustic characteristics are studied generally for metal-cutting and woodworking machines of various types. Formation of the sound field at shariko-rod hardening is studied insufficiently. The purpose of researches which results are given in this article consisted in studying of regularities of spectral structure of noise and vibrations when processing ShSU of details with various ways of fixing. **Method.** In the course of pilot studies the known methods of measurement and processing of experimental data in relation to acoustic and vibration characteristics were used. **Results.** It is established that noise ranges at ShSU of details with various ways of fixing have identical regularities of a shumoobrazovaniye and are characterized by pronounced high-frequency character. It is proved that the dominating sources yaa-lyatsya the strengthened detail and an uprochnitel. **Conclusion.** Sizes of excesses of levels of sound pressure systems "up-rochnitel-detal2 in a high-frequency part of a range 500-8000gts are installed. The established regularities of formation of spectral structure are a basis for the choice of means of decrease in noise levels. Work is performed within initiative research work*

Keywords: *dynamics, vibroacoustics, mechanical engineering, ball-rod hardener*

Введение. Важнейшей задачей современного машиностроения является повышение долговечности изделий, их эффективности и конкурентоспособности на мировом рынке. Одним из основных путей решения этой задачи является использование методов упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД). Такие методы позволяют повысить ресурс зоны действия концентрации напряжений (отверстий, галтелей, пазов, переходных поверхностей и т.п.) до ресурса участков деталей с гладкой поверхностью, что дает возможность полнее использовать высокие механические свойства металлов и обеспечить равнопрочность поверхностей деталей по критерию усталостной долговечности. Особенно эффективным является местное упрочнение ППД участков концентраторов напряжений, которое значительно производительней и дешевле, чем повсеместно используемое.

Одним из наиболее эффективных устройств для местного упрочнения является шарико-стержневой упрочнитель (ШСУ), который объединяет технологические возможности вибрационной ударной обработки (гибкость обрабатываемой среды) и достоинства простой чеканки (высокая интенсивность воздействия). ШСУ может использоваться для упрочнения как плоских, так и лекальных поверхностей, создания сжимающих остаточных напряжений, сглаживания каверн, нанесения регулярного микрорельефа.

Оборудование для механической обработки создает повышенные уровни шума в рабочей зоне операторов. В настоящее время закономерности формирования акустических характеристик изучены в основном для металлорежущих и деревообрабатывающих станков различ-

ных типов [1-6]. Формирование звукового поля при шарико-стержневом упрочнении изучено недостаточно.

Постановка задачи. Цель исследований, результаты которых приведены в данной статье, заключалась в изучении закономерностей спектрального состава шума и вибраций при обработке ШСУ деталей с различными способами закрепления.

Методы исследования. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с методами специальной оценки условий труда [7-10] операторов технологического оборудования для механической обработки деталей. Измерения проводились акустическим комплектом «Экофизика».

При экспериментальных исследованиях процесса обработки ШСУ определялись уровни звукового давления для сварных швов следующих типов деталей: короткие сплошные с использованием заднего центра, короткие полые с задним центром, короткие сплошные с консольным закреплением, короткие полые с консольным закреплением, полые детали с внутренней воздушной полостью с консольным закреплением и с задним центром, длинные сплошные и полые детали с использованием заднего центра.

Акустическая система включает следующие элементы: компрессор, несущую систему токарного станка, упрочнитель, упрочняемую деталь. Испытаниям подвергались детали различных диаметров и длины.

Обсуждение результатов. Анализ результатов измерений показал, что у однотипных деталей с соответствующими способами закрепления характер спектров шума практически идентичен. Различия наблюдаются только в интенсивности звукового излучения, что, в первую очередь, связано с конфигурацией упрочняемых деталей. Поэтому на спектрах шума приведены данные, соответствующие наиболее и наименее шумоактивным режимам упрочнения.

На рисунках 1 (а и б), приняты следующие обозначения: 1 – наиболее шумоактивный режим; 2 – наименее шумоактивный; 3 – предельный спектр.

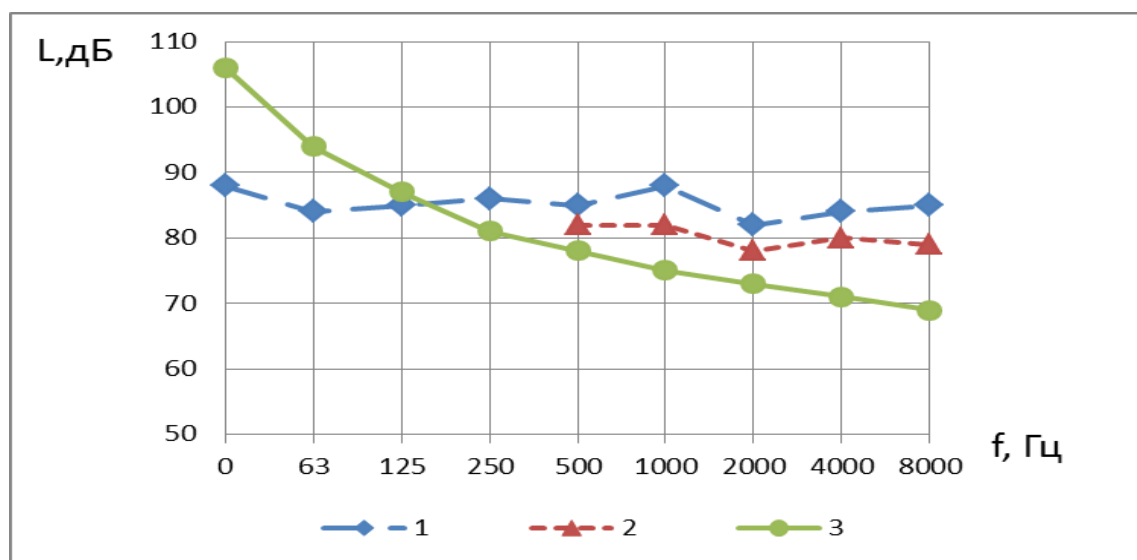
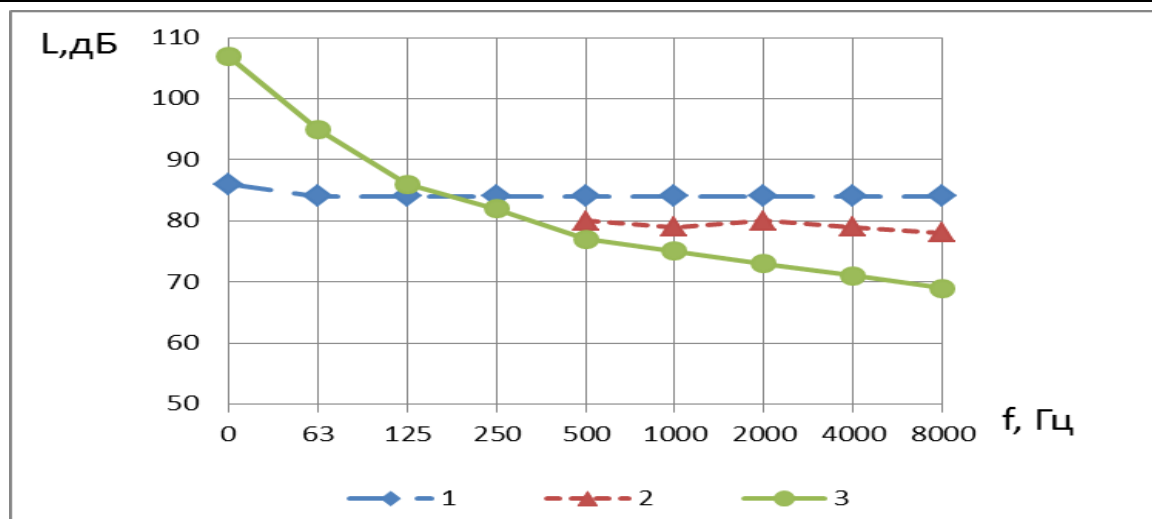


Рис. 1 Спектры шума при шарико-стержневом упрочнителе
а) коротких сплошных заготовок с использованием заднего центра
Fig. 1 Noise spectra with ball-rod hardener
a) short solid blanks with the use of the rear centre

Результаты измерений показали, что изменение технологических режимов обработки приводит к изменениям интенсивности звукового излучения при неизменном характере спектра.



б)

Рис. 1 Спектры шума при шарико-стержневом упрочнителе б) сплошных деталей и консольным креплением

Fig. 1 Noise spectra with ball-rod hardener b) solid parts and cantilever fastening

Следует отметить, что очень большую разницу в интенсивности звукового излучения имеют сплошные и полые детали. Увеличение уровней шума у полых заготовок составляет 16-18 дБ. Этот факт объясняется тем, что при равной площади, излучающей звук поверхности сплошной и полый заготовки, последняя имеет жесткость намного меньше (пропорционально соотношению осевых моментов инерции) и, следовательно, намного больше значения уровней вибрации и шума. Кроме этого, внутренний воздушный объем полый заготовки является также источником акустического излучения.

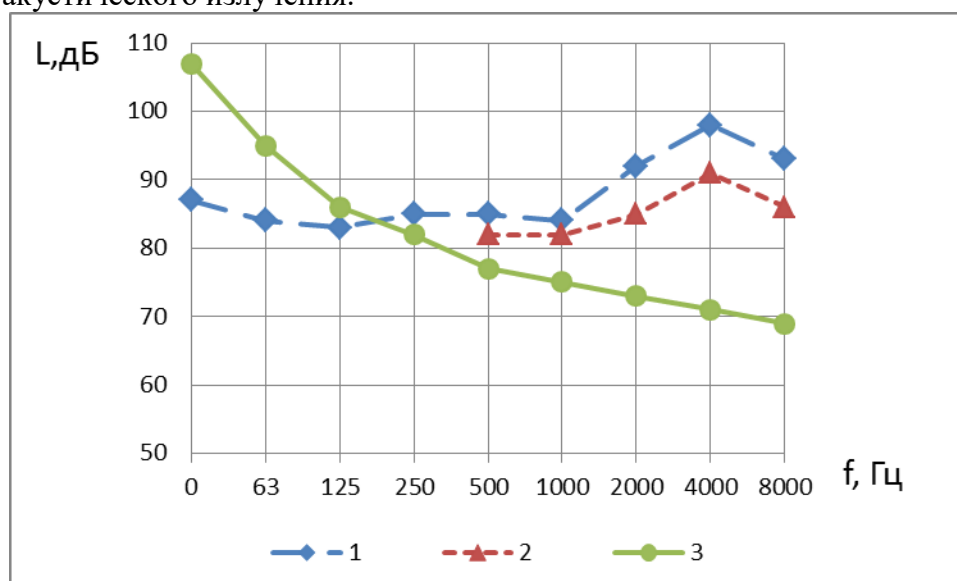


Рис. 2 Спектр шума при шарико-стержневом упрочнителе полый заготовки с задним центром

Fig. 2 Noise spectrum with a ball-core hardener of a hollow billet with a rear center

При обработке коротких заготовок с консольным креплением превышение уровней шума над предельно-допустимыми значениями наблюдается и в среднечастотной части спектра 250-500 Гц. Величины превышений не составляют более 5-8 дБ и этот факт объясняется вкладом самого станка.

Возможности снижения шума в самом источнике проверялись на полых деталях, у которых внутренняя полость заполнялась резиновыми пробками, устанавливаемыми с натягом по наружному диаметру. Этот способ демпфирования (вследствие возможности задемпфировать наружную поверхность, которая подвергается упрочнению) позволил ненамного понизить

уровни шума. Снижение уровней шума составило 3-6 дБ что, крайне недостаточно для решения задачи обеспечения санитарных норм шума в рабочей зоне оператора.

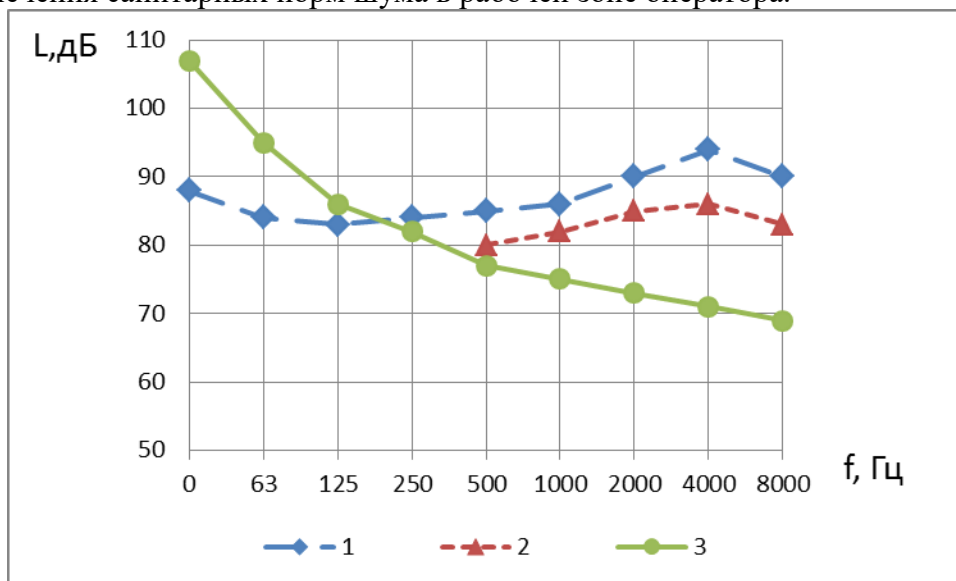


Рис. 3. Спектры шума полой заготовки с демпфирующими элементами с задним центром
 Fig. 3. Noise spectra of a hollow billet with damping elements with rear center

При исследовании акустических характеристик при обработке ШСУ длинных деталей зафиксированы наиболее высокие уровни шума, которые достигают 110 дБ в высокочастотной части спектра. Увеличение уровней шума в сравнении с обработкой коротких деталей достигает 10 дБ и более. Этот факт объясняется увеличением площади излучающей звук поверхности заготовки, т.к. уровень технологической нагрузки не изменился в сравнении с обработкой коротких заготовок. В остальном характер спектра не претерпел изменений. Введение демпфирующих элементов позволило понизить уровни шума только на 2-4 дБ.

При измерениях уровней звукового давления определить количественный вклад акустического излучения отдельно заготовки и инструмента очень затруднительно. Поэтому в следующей серии экспериментов измерялись уровни вибрации для косвенного подтверждения сделанных выводов о закономерностях формирования звукового поля. Измерения вибраций производится на невращающейся заготовке. Результаты измерений приведены на рис. 4-5.

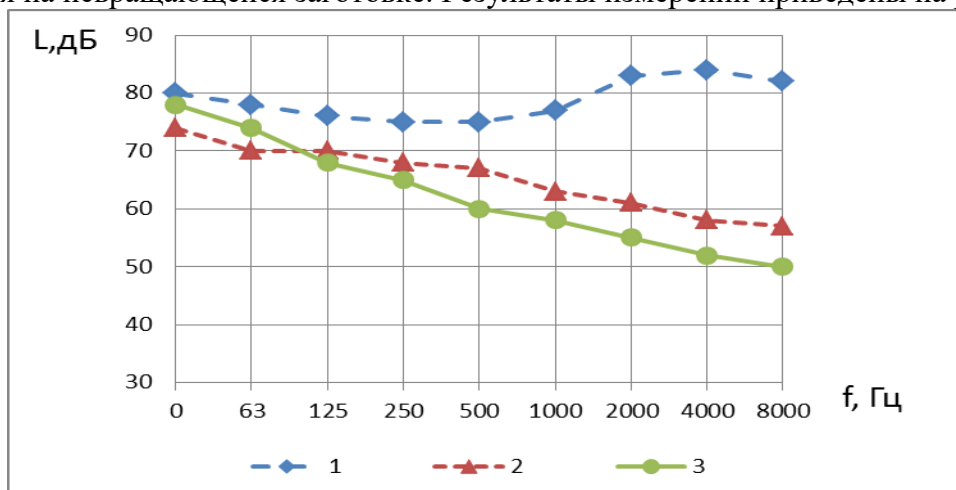


Рис. 4. Спектры вибраций: 1- на упрочнителе; 2- на шпиндельной бабке; 3- на стенде
 Fig. 4. Vibration spectra: 1- on the hardener; 2- on the spindle stock; 3- at the stand

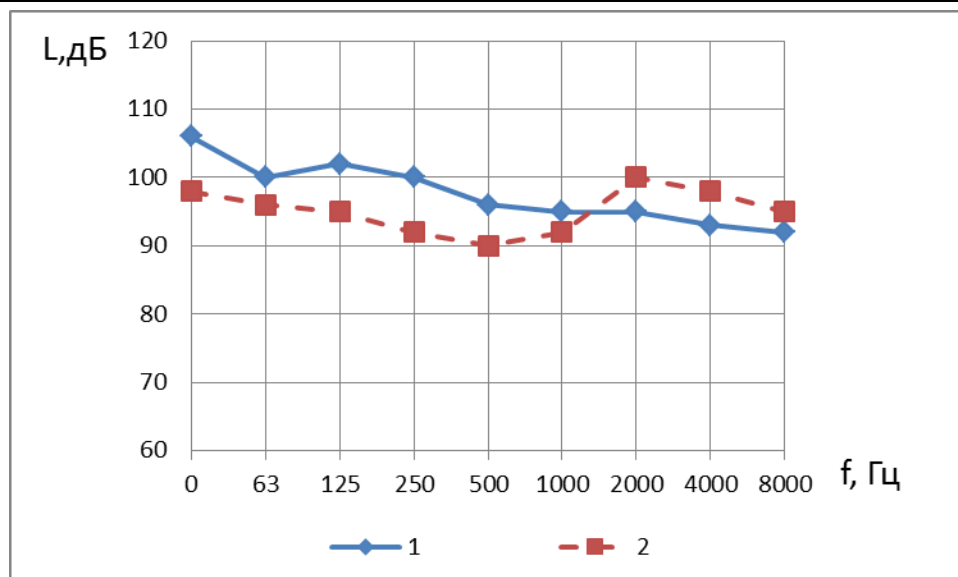


Рис 5. Спектры вибраций на заготовке: 1- на длинной; 2- на короткой.

Fig. 5. Vibration spectra on the workpiece: 1- for long; 2- in short.

Уровни вибраций на детали очень высоки и достигают 90-100 дБ даже в области высоких частот 2000-8000 Гц. Следует отметить, что это на 15-18 дБ больше, чем на инструменте. В связи с этим установлено, что в системе деталь-инструмент вклад звукового излучения детали намного больше чем от инструмента.

Вывод. Экспериментальные исследования показали, что для широкого класса номенклатуры размеров заготовок, подвергаемых обработке ШСУ, процесс формирования шума имеет идентичный характер, что позволяет подойти к решению задачи обеспечения санитарных норм в рабочей зоне оператора с единых позиций. При столь высокой шумоактивности данного метода обработки и невозможности добиться существенного снижения шума в самом источнике, а именно, системе инструмент-заготовка, добиться выполнения санитарных норм возможно только за счёт расчёта и проектирования звукозащитной конструкции с требуемой величиной звукоизоляции.

Библиографический список:

1. Litvinov, A.E. and Chukarin, A.N., Investigation of noise and vibration of cutting circular saws, Nauch. Zh. Kuban. Gos. Agrar. Univ., 2016, no. 122 (8), pp. 357-365.
2. Litvinov, A.E. and Kornienko, V.G., Study of cutting on band saw machines, Nauch. Zh. Kuban. Gos. Agrar. Univ., 2013, no. 9 (91), pp. 570-579.
3. Litvinov, A.E., Calculations for band saws for strength and tensile force to ensure sustainable cutting, Nauch. Zh. Kuban. Gos. Agrar. Univ., 2015, no. 113 (9), pp. 492-501.
4. Litvinov, A.E., The estimation of the impact of the "saw-saw guide" resonant frequency system on the process of cutting with band saws, Nauch. Zh. Kuban. Gos. Agrar. Univ., 2014, no. 96 (2), pp. 432-441.
5. Litvinov, A.E., Sukhonosov, N.I., and Kornienko, V.G., RF Patent 2548853, Byull. Izobret., 2015, no. 11
6. Litvinov, A.E., Theoretical study of the process of noise formation on band saws, World Appl. Sci. J., 2013, vol. 27, no. 12, pp. 1566-1573.
7. Чубарь, Е.П. Об особенностях аттестации рабочих мест по условиям труда (по опыту работы кафедры БЖД РГУПС)/ Е.П. Чубарь, В.М. Гарин, И.Г. Переверзев, Т.А. Финоченко// Всероссийская научно-практическая конференция "Транспорт-2004". – 2004. – С. 77
8. Чубарь, Е.П. Приоритетное направление охраны труда в современных условиях – аттестация рабочих мест/ Е.П. Чубарь, В.М. Гарин, И.Г. Переверзев, Т.А. Финоченко// Международная научная конференция "Актуальные проблемы развития транспорта России". – 2004. – С. 328-330.
9. Приложение №16 к Методике проведения специальной оценки условий труда, утвержденной приказом Минтруда России от 24 января 2014 №33н (Зарегистрировано в Минюсте России 21 марта 2014 №31689) [Электронный ресурс]: Приказ Министерства труда и социальной защиты России от 24 января 2014 г. №33н. – Режим доступа: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/>.
10. Приложение №20 к Методике проведения специальной оценки условий труда, утвержденной приказом Минтруда России от 24 января 2014 №33н (Зарегистрировано в Минюсте России 21 марта 2014 №31689) [Элек-

тронный ресурс]: Приказ Министерства труда и социальной защиты России от 24 января 2014 г. №33н. – Режим доступа: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/>.

References:

1. Litvinov A.Ye., Chukarin A.N., Issledovaniye shuma i vibratsii rezhushchikh diskovykh pil, Nauch. Zh. Kuban'. Gos. Agrar. Univ., 2016, № 122 (8), s. 357-365. [Litvinov, A.E. and Chukarin, A.N., Investigation of noise cutting, Nauch. Zh. Kuban Gos. Agrar. Univ., 2016, no. 122 (8), pp. 357-365. (in Russ.)]
2. Litvinov A.Ye., Korniyenko V.G. Issledovaniye rezki na lentochnopil'nykh stankakh, Nauch. Zh. Kuban'. Gos. Agrar. Univ., 2013, № 9 (91), str. 570-579. [Litvinov, A.E. and Kornienko, V. G., Nauch. Zh. Kuban Gos. Agrar. Univ., 2013, no. 9 (91), pp. 570-579. (in Russ.)]
3. . Litvinov A.Ye. Raschety dlya lentochnykh pil na prochnost' i rastyagivayushcheye usiliye dlya obespecheniya ustoychivoy rezki, Nauch. Zh. Kuban'. Gos. Agrar. Univ., 2015, net. 113 (9), s. 492-501. [Litvinov, A.E. Zh. Kuban Gos. Agrar. Univ., 2015, no. 113 (9), pp. 492-501. (in Russ.)]
5. Litvinov A.Ye., Sukhonosov N.I. i Korniyenko V.G. Patent RF 2548853, Byul. Izobr., 2015, № 11 [Litvinov, A.E., Sukhonosov, N.I., and Kornienko, V.G., RF Patent 2548853, Byull. Izobret., 2015, no. eleven(in Russ.)]
6. Litvinov A.Ye. Teoreticheskoye issledovaniye protsessa formirovaniya shuma na lentochnykh pilakh, World Appl. Sci. J., 2013, vol. 27, net. 12, s. 1566-1573. [Litvinov, A.E., Theoretical study on band saws, World Appl. Sci. J., 2013, vol. 27, no. 12, pp. 1566-1573. (in Russ.)]
7. Chubar', Ye.P. Ob osobennostyakh attestatsii rabochikh mest po usloviyam truda (po opytu raboty ka-fedry BZHD RGUPS) / Ye.P. Chubar', V.M. Garin, I.G. Pereverzev, T.A. Finochenko // Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Transport -2004". - 2004. - S. 77 [Chubar, E.P. About the features of certification of workplaces for working conditions (according to the experience of the department of Belarusian Railways RGUPS) / E.P. Chubar, V.M. Garin, I.G. Pereverzev, TA Finochenko // All-Russian Scientific-Practical Conference "Transport-2004". - 2004. - p. 77(in Russ.)]
8. Chubar', Ye.P. Prioritetnoye napravleniye okhrany truda v sovremennykh usloviyakh - attestatsiya ra-bochikh mest / Ye.P. Chubar', V.M. Garin, I.G. Pereverzev, T.A. Finochenko // Mezhdunarodnaya nauchnaya konfe-rentsia "Aktual'nyye problemy razvitiya transporta Rossii". - 2004. - S. 328-330. [Chubar, E.P. The priority direction of labor protection in modern conditions is the certification of workplaces / E.P. Chubar, V.M. Garin, I.G. Pereverzev, TA Finochenko // International Scientific Conference "Actual problems of the development of transport of Russia". - 2004. - pp. 328-330. (in Russ.)]
9. Prilozheniye №16 k Metodike provedeniya spetsial'nykh otsenok usloviy truda, utverzhdennym prikazom Mintruda Rossii ot 24 yanvarya 2014 goda №33n (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 21 marta 2014 goda №31689) [Elektronnyy resurs]: Prikaz Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity Rossii ot 24 yanvarya 2014 goda g. №33n. - Rezhim dostupa: [http:// www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/](http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/). [Appendix No. 16 to the Methodology for conducting a special assessment of working conditions, approved by Order of the Ministry of Labor of Russia No. 33n of January 24, 2014 (Registered in the Ministry of Justice of Russia on March 21, 2014 No. 31898) [Electronic resource]: Order of the Ministry of Labor and Social Protection of Russia of January 24, 2014 city number 33n. - Access mode: [http:// www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/](http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/).(in Russ.)]
10. Prilozheniye №20 k Metodike provedeniya spetsial'nykh otsenok usloviy truda, utverzhdennykh prikazom Mintruda Rossii ot 24 yanvarya 2014 goda №33n (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 21 marta 2014 goda №31689) [Elektronnyy resurs]: Prikaz Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity Rossii ot 24 yanvarya 2014 goda g. №33n. - Rezhim dostupa: [http:// www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/](http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/). [Appendix No. 20 to the Methodology for conducting a special assessment of working conditions, approved by Order of the Ministry of Labor of Russia No. 33n of January 24, 2014 (Registered in the Ministry of Justice of Russia on March 21, 2014 No. 31898) [Electronic resource]: Order of the Ministry of Labor and Social Protection of Russia of January 24, 2014 city number 33n. - Access mode: [http:// www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/](http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/170/).(in Russ.)]

Сведения об авторах:

Морозов Сергей Анатольевич - старший преподаватель кафедры «Информационные системы и радиотехника».

Чукарин Александр Николаевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основы проектирования машин».

Information about the authors:

Sergey A. Morozov - Senior Lecturer, Department "Information Systems and Radio Engineering"

Alexander N. Chukarin - Dr. Sci. (Technical), Prof., Head of the Department "Fundamentals of Machine Design"

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила в редакцию 22.10.2018.

Принята в печать 12.12.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 22.10.2018.

Accepted for publication 12. 12.2018.

Для цитирования: Пурусова И. Ю. Энергетически оптимальная работа водозаборных сооружений из подземных источников. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45(4):59-67. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-59-67

For citation: Purusova I.Y. Energetically optimal work of water intake structures from underground sources. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45(4):59-67. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-59-67

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 628.12

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-59-67

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНАЯ РАБОТА ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Пурусова И.Ю.

Воронежский государственный технический университет,
394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14, Россия,
e-mail: yvs_na@list.ru

Резюме: *Цель.* Совершенствование существующих схем подачи воды в резервуар чистой воды по напорным трубопроводам и повышение производительности погружных насосов на водозаборных сооружениях из подземных источников. Рассматриваются негативные проявления при функционировании водозаборных сооружений из подземных источников. На режим работы каждого погружного насоса оказывают влияние внешние и внутренние характеристики системы скважина – погружной насос – сборный водовод – резервуар чистой воды. **Метод.** Математическое моделирование процесса управления совместной работы системы водозаборная скважина – сборный водовод с определёнными формами граничных условий. Показаны схемы расположения водозаборных скважин и сборного водовода. **Результат.** Изучено взаимное влияние режима работы отдельных скважин и сборного водовода, определена неустойчивая работа погружных насосов. Представлена схема подачи воды в резервуар чистой воды по отдельным напорным линиям. Для обеспечения устойчивости работы насосного оборудования характеристики диаметра водовода (его гидравлическое сопротивление) определяют в зависимости от суммарного гидравлического сопротивления оборудования скважины (фильтра скважины, насоса, арматуры) и скважинного трубопровода. Мониторинг водозаборных сооружений позволяет установить технические показатели для выбора независимой схемы, правильно подобрать оборудования с учётом совместной работы системы скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ. **Вывод.** Энергетически оптимальная работа водозаборных сооружений с отдельными напорными линиями, способствует снижению потерь воды, при этом достигается значительная экономия электроэнергии. Наиболее благоприятной для погружного насоса является работа на резервуар чистой воды, а не на сборный водовод.

Ключевые слова: водозаборные сооружения, подача воды, водозаборная скважина, погружной насос, сборный водовод.

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICALLY OPTIMAL WORK OF WATER INTAKE STRUCTURES FROM UNDERGROUND SOURCES

Irina Yu. Purusova

Voronezh State Technical University,
14 Moscow Ave., Voronezh 394026, Russia,
e-mail: vps_na@list.ru.

Abstract Objectives Perfecting of the existing schemes of water delivery in the pure tank on a pressure piping and increase in efficiency of submersible pumps on water intaking constructions from underground sources. Discusses the negative manifestations in the operation of water intaking constructions from underground. In the mode of operation of each pump is influenced by external and internal characteristics of the system wells – submersible pump – common culvert – the clean water tank. **Methods** Mathematical model operation of management process of collaboration of system a water well – a prefabricated conduit with definite forms of boundary conditions. Schemes of an arrangement are shown of water wells and a prefabricated conduit. **Results** Interference of a duty of certain wells and a prefabricated conduit is studied, unstable work of submersible pumps is defined. The scheme of water delivery is presented to the pure tank on separate pressure pressure lines. To ensure the stability of the pumping equipment, the characteristics of the diameter of the water conduit (its hydraulic resistance) are determined depending on the total hydraulic resistance of the well equipment (well filter, pump, fittings) and the well pipeline. Monitoring of water intake structures allows you to set technical indicators for choosing an independent scheme, to choose the right equipment, taking into account the joint operation of the system borehole - submersible pump - collecting water conduit - RFI. **Conclusion** Energetically optimal work of water intake structures with separate pressure lines, helps to reduce water losses, while achieving significant savings in electricity. The most favorable for the submersible pump is work on the clean water tank, and not on the prefabricated conduit.

Keywords: water intake structures, water feed, water well, submersible pumps, prefabricated conduit

Введение. Проблема снабжения водой потребителей, при рациональном использовании энергетических ресурсов, должна решаться в процессе управления оптимальным режимом работы водозаборных сооружений из подземных источников [1, 5-20].

В водозаборных скважинах устанавливаются погружные насосы с завышенными характеристиками.

Анализ данных, отражающих работу оборудования в условиях изменения подачи и напора, показывает, что большую часть времени погружные насосы работают при средних, а чаще низких значениях КПД с существенным перерасходом электроэнергии. Замена погружных насосов с низкой производительностью вовремя не производится. Такие негативные проявления приводят к необходимости совершенствования функционирования водозаборных сооружений.

Изучением водозаборных сооружений из подземных источников занимались отечественные ученые: Н.Н. Абрамов, В.Я. Карелин, В.В. Алексеев, А.П. Авсюкевич, Н.И. Сердюк и др.

Постановка задачи. Основным условием эффективной и надежной эксплуатации погружных насосов является их согласованная работа в системе скважина – погружной насос – сборный водовод. Поэтому такая система должна рассматриваться как единая, а выбор погруж-

ных насосов и схемы подачи воды в РЧВ (резервуар чистой воды) должны решаться на основании расчета совместной работы элементов системы.

Целью настоящей работы является совершенствование существующих схем [1-4] подачи воды в РЧВ по напорным трубопроводам и повышение производительности погружных насосов на водозаборных сооружениях.

Методы исследования. Наиболее распространённая в практике эксплуатации схема расположения водозаборных сооружений из подземных источников [1-2, 4], приведена на рис. 1.

Вода из водоносного пласта поступает в скважины 1, откуда с помощью погружных насосов (типа ЭЦВ), подаётся по напорным трубопроводам 2 в сборный водовод 3. Далее вода направляется в РЧВ.

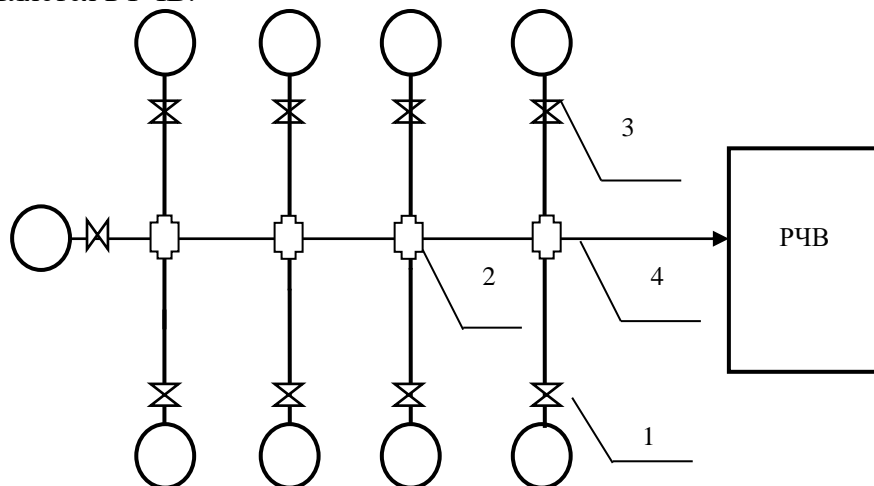


Рис. 1. Схема расположения водозаборных сооружений

1 – водозаборные скважины с погружными насосами; 2 – сборные узлы; 3 – запорно-регулирующая арматура; 4 – сборный водовод

Fig. 1. The scheme of location of water intake structures

1 – water well with submersible pumps; 2 – prefabricated units; 3 – locking-regulating fittings; 4 – submersible pumps

По результатам теоретических [5-6, 8-10, 12, 14-16] и практических исследований предлагается математическая модель энергетической эффективности работы водозаборных сооружений. Для аналитического решения задачи совместной работы системы скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ разработана линейная модель потокораспределения [6, 8-9] возмущённого состояния, так как такая система имеет определённые формы граничных условий, что позволяет получить однозначное решение задачи.

Математическая модель управления работой водозаборными сооружениями строится для одномерного квазистационарного течения вязкой несжимаемой жидкости в трубах.

Она включает систему уравнений Д. Бернулли с определенной правой частью, в форме цепных уравнений для системы линейно-независимых цепей, где в качестве функциональных ограничений используется первый закон Киргофа в форме узловых балансовых уравнений для множества узлов с заданным потенциалом [8]:

$$\sum_{j \in J_p} \sum_{j \in J_\gamma} \operatorname{sgn} \Delta P_{ij} = \sum_{j \in J_p} \sum_{j \in J_\gamma} \operatorname{sgn} S_{ij} Q_{ij}^2 = \sum_{j \in J_p} [(Z + H)_N - Z_R]_j, \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J_\mu} \left(\sum_{j \in J_\varepsilon} \operatorname{sgn} Q_{ij} + q_j^z \right) = 0, \quad (2)$$

где J_p, J_γ – множество независимых цепей и множество участков в составе независимой цепи j ;

S_{ij}, Q_{ij} – коэффициент гидравлического сопротивления и расчётный расход напорного трубопровода i в составе цепи j ;

J_μ, J_ϵ – множество узлов с заданным потенциалом и множество участков, инцидентных узлу j ;

q_j^z – сосредоточенный заданный отбор (приток) от узла j ; $(Z+H)_N$ – геодезический уровень насоса и напор, вырабатываемый погружным насосом в составе цепи j ,

Z_R – геодезический уровень расположения РЧВ в составе цепи j .

Правило присвоения положительных знаков слагаемым (1), (2): $\text{sgn}\Delta P_{ij} = + \Delta P_{ij} -$ в случае совпадения направления течения потока на участке i с положительной ориентацией по цепи j ; $\text{sgn}\Delta Q_{ij} = + \Delta Q_{ij} -$ в случае притока участкового потока к узлу j . Отрицательные знаки присваиваются в противоположных случаях.

Слагаемому q_j^z присваивается знак (+) в случае притока воды к узлу j от источника, отрицательный – в случае стока от узла к потребителю.

Для формирования обратной связи, реализующей режим подачи воды от скважин, задаваемый пользователем, необходимы дополнительные (избыточные по отношению к уравнениям (1), (2)), аналитические связи. С этой целью предлагается использовать суррогатный (не основанный на физических законах) принцип Лежандра– Гаусса, получивший известность как метод наименьших квадратов (МНК).

Квадратичный функционал, составленный на основе МНК, представляет остаточную функцию F , составленную путём сопоставления подачи воды, поступающей из скважины согласно компьютерной версии и версии пользователя, формирующих совокупность режима подачи воды в РЧВ.

$$F = \sum_{i \in I_\pi} (Q_i^\pi - Q_i^\pi)^2 + \lambda \left(\sum_{i \in I_\pi} Q_i^\pi - \sum_{i \in I_R} Q_i^\pi \right), \quad (3)$$

где Q_i^π, Q_i^π – расчётный расход напорного трубопровода i , подающего воду из скважины согласно версии пользователя и компьютерной версии соответственно;

Q_i^π – расчётный расход сборного водовода i , подающего воду в РЧВ;

I_π – множество участков (напорные трубопроводы), подающих воду от погружных насосов;

I_R – множество приёмных РЧВ (сборный водовод);

λ – неопределённый множитель Лагранжа.

Вторая группа слагаемых (3) отражает сохранение сплошности потоков воды в условиях произвольно задаваемых значений расчётного расхода напорного трубопровода подающего воду из скважины (согласно версии пользователя), который должен быть ограничен указанным условием сплошности.

В отличие от МНК, оперирующим с различными погрешностями измерений искомой величины, значения весовой функции W_k в составе целевого функционала (3) принимаются одинаковыми и не влияющими на положение экстремума (3).

Модель управления работой водозаборных сооружений:

$$\begin{bmatrix} C_{n1 \times P} \\ C_{n1D \times P} \end{bmatrix}^t \times \begin{bmatrix} h_{n1 \times 1} \\ h_{n1D \times 1} \end{bmatrix} = [M_{p \times g}] \times [\hat{H}_{g \times 1}], \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{A}_{n1 \times \mu} \\ \dot{A}_{n1D \times \mu} \end{bmatrix}^t \times \begin{bmatrix} Q_{n1 \times 1} \\ Q_{n1D \times 1} \end{bmatrix} = [0], \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} E_{n1 \times (e-1)} \\ 0_{n1D \times (e-1)} \end{bmatrix}^t \times \begin{bmatrix} Q_{n1 \times 1}^\pi \\ Q_{n1D \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{n1 \times (e-1)} \\ 0_{n1D \times (e-1)} \end{bmatrix}^t \times \begin{bmatrix} Q_{n1 \times 1}^{\pi z} \\ Q_{n1D \times 1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

где [C], [A], [M], [E] – матрица системы независимых цепей, матрица инцидентов для узлов с заданным потенциалом, матрица смежности участков соединяющих сборные узлы, матрица нормальных уравнений, составленных из единичных элементов соответственно;

n_1 – число участков водозаборных сооружений, исключая участки с присоединёнными управляемыми дросселями;

n_1D – то же для участков с присоединёнными управляемыми дросселями;

$p = (g - 1)$ – число независимых цепей в системе водозаборных сооружений, где $g=(e+1)$ – число узлов с фиксированным потенциалом в составе водозаборных сооружений;

h_i – потеря напора напорного трубопровода i ;

$\hat{H}_j = Z_j + H_j^z$ – фиксированный потенциал скважинного узла j (где H_j^z – напор, вырабатываемый погружным насосом);

μ – число узлов водозаборных сооружений a с заданным потенциалом;

Q_i^π – расчётный расход напорного трубопровода i , подающего воду от погружного насоса, согласно компьютерной версии;

$Q_i^{\pi z}$ – то же, согласно версии пользователя; t – признак транспонирования.

Моделирование процесса управления водозаборными сооружениями позволяет отслеживать переход системы в новое состояние и изменение параметров по отдельным линиям в рамках этого перехода.

Обсуждение результатов. Для схемы расположения водозаборных сооружений (рис. 2) характерна подача воды в один сборный узел от нескольких скважин, который гидравлически связан со всеми скважинами и является передающим звеном режимных возмущений одной группы скважин на другие.

Более привлекательной с точки зрения гидравлики может быть рассмотрена схема подключения напорных трубопроводов погружных насосов в отдельные узлы сборного водовода (рис. 3), с преимущественным расположением скважин с менее мощными погружными насосами ближе к РЧВ, то есть в области пониженных напоров в сборных узлах.

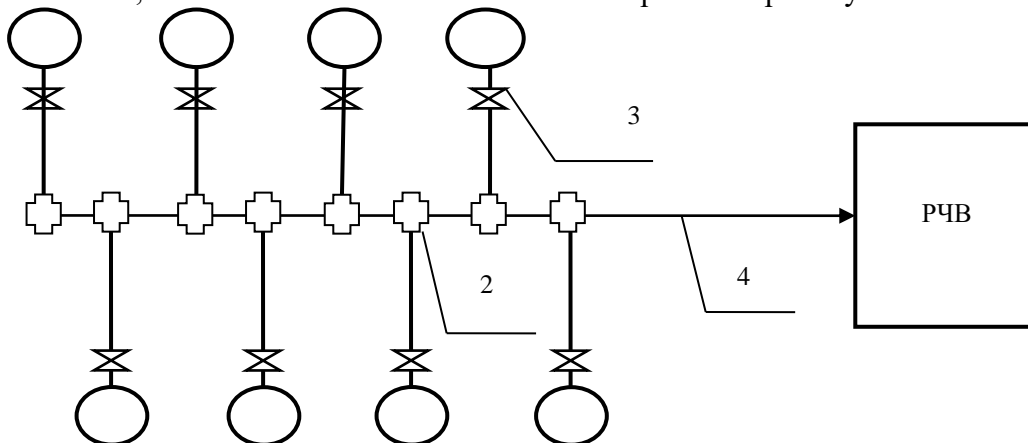


Рис. 2. Схема подключения напорных трубопроводов в отдельные узлы сборного водовода
 1 – скважины с погружными насосами; 2 – сборные узлы; 3 – запорно-регулирующая арматура; 4 – сборный водовод

Fig. 2. The scheme of connection of a pressure pipings in separate nodes the water conduit
 1 – water well with submersible pumps; 2 – prefabricated units; 3 – locking-regulating fittings; 4 – submersible pumps

Причем, по таким схемам подачи воды, сборный водовод выступает не только как передающее, но и как тормозящее звено.

Насосы не могут развивать напор по паспортным характеристикам. Следствием этого является противодействие насосного оборудования, усугубляемое различием напоров, так как при увеличении подачи воды от одних скважин сопротивление сборного водовода возрастает и тормозит подачу воды от остальных скважин [8, 14].

Суммарная подача воды всеми погружными насосами, работающими на один сборный водовод, значительно ниже расчетной, определенной по паспортным данным насосов. Подача воды по таким схемам приводит к снижению напора и уменьшению количества поступающей воды в РЧВ по сравнению с ожидаемыми значениями. При этом соответствующая часть насосов отклоняется от оптимальных режимов работы и увеличением затрат электроэнергии.

Водозаборные сооружения работают по схеме подключения напорных трубопроводов скважин в сборные узлы водовода, который связан со всеми скважинами и является передающим звеном режимных возмущений одной группы скважин на другие.

Одной из главных причин снижения энергетической эффективности работы водозаборных сооружений, является способы подачи воды от скважин к сборному водоводу (рис. 1, 2). При некоторых условиях эксплуатации могут возникнуть не только неэкономичные, но даже опасные для погружных насосов и системы трубопроводов режимы работы.

Наиболее предпочтительной с гидравлической точки зрения представляется схема подачи воды в РЧВ по отдельным напорным линиям (рис. 3), в которой исключено взаимное влияние режима работы отдельных скважин.

Погружные насосы в системе могут быть настроены на собственный энергетически оптимальный режим функционирования водозаборных сооружений.

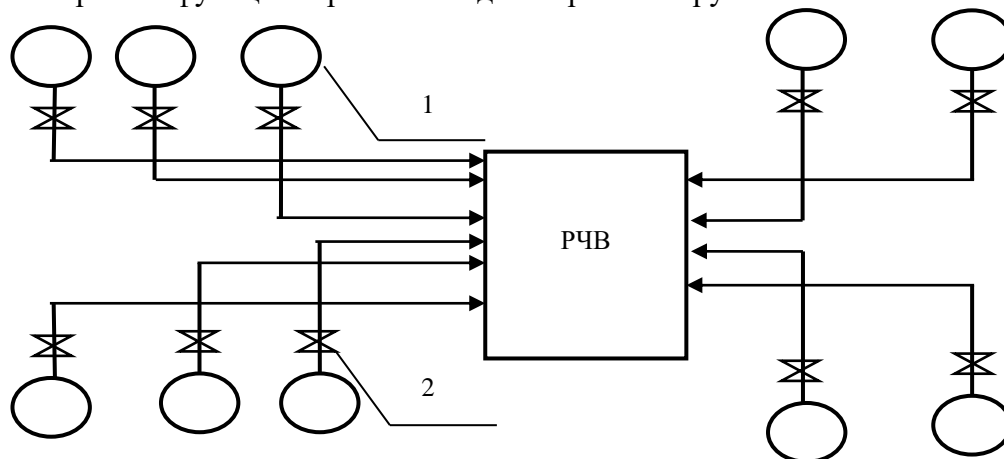


Рис. 3. Схема подачи воды в РЧВ по отдельным напорным линиям
1 – скважины с погружными насосами; 2 – запорно-регулирующая арматура
Fig. 3. Schemes of water delivery in the pure tank on a pressure piping
1 – water well with submersible pumps; 2 – locking-regulating fittings

С целью сокращения капитальных затрат на строительство водозабора подземных вод предлагается соединять скважины 1 водозабора через напорную емкость (рис.4).

Причем, гидравлические сопротивления трубопроводов 2 должны быть примерно равны. Такое решение обеспечивает равномерное распределение дополнительной нагрузки между скважинами в случае нарушения нормального режима их работы.

Для обеспечения устойчивости работы насосного оборудования характеристики диаметра водовода (его гидравлическое сопротивление) определяют в зависимости от суммарного гидравлического сопротивления оборудования скважины (фильтра скважины, насоса, арматуры) и скважинного трубопровода.

Мониторинг водозаборных сооружений позволяет установить технические показатели для выбора независимой схемы, правильно подобрать оборудования с учётом совместной работы системы скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ.

Вывод. Энергетически оптимальная работа водозаборных сооружений с отдельными напорными линиями способствует увеличению подачи воды. Очевидно, что в связи с наблюдаемой тенденцией роста стоимости электроэнергии, независимая схема (рис. 3) становится всё более привлекательной. Эта схема позволяет добиваться минимальных затрат электроэнергии при подаче воды в РЧВ.

Однако при реконструкции существующих водозаборных сооружений и проектировании новых, следует учитывать, что подачи воды в РЧВ по отдельным напорным линиям потребует больших капитальных затрат по прокладке напорных трубопроводов.

При подаче воды по схеме (рис. 3), необходимо правильно подбирать диаметры труб и определять границы наиболее эффективного использования насосных агрегатов. Экономический анализ такой схемы подачи воды в РЧВ должен оцениваться на основании сравнения потребления электроэнергии по традиционной схеме с учетом укрупненных объемов строительных работ, стоимости труб и их гидравлического сопротивления.

Библиографический список:

1. Щербаков В. И Акульшин А. А. Водозаборные сооружения из подземных источников. LAP Lambert Academic Publishing, 2017. 192 с.
2. Тугай А.М. Расчёт и конструирование водозаборных узлов. Киев: Будевельник. 1978. 160 с.
3. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. Москва: Стройиздат, 1986. 320 с.
4. Бочеввер Ф.М. Основы гидрогеологических расчётов. Москва, 1969. 252 с.
5. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Пути повышения производительности водозаборных сооружений подземных вод. В сборнике: Яковлевские чтения сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2017. С. 248-252.
6. Панов М.Я., Пурусова И.Ю., Щербаков В.И. Моделирование потокораспределения и управление водоподъемными станциями // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2007. Т. 3. № 6. С. 182-185.
7. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходувных установках. Москва: Энергопромиздат, 2006. 360 с.
8. Панов М.Я., Пурусова И.Ю., Щербаков В.И. Разработка математической модели управления функционированием водоподъемной станции // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2009. № 1. С. 176– 182.
9. Панов М.Я., Щербаков В.И., Петров Ю.Ф. Модели управления функционированием систем подачи и распределения воды. Воронеж: ВГАСУ, 2012. 271 с.
10. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Выбор расположения сооружений для забора подземных вод. В сборнике: Яковлевские чтения XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. М-во образования и науки Рос. Федерации, Московский государственный строительный университет. 2018. С. 140-144.
11. Твердохлеб И.Б., Костюк А. В. Энергоэффективная эксплуатация насосного оборудования // Водоснабжение и канализация. 2010. №1. С. 124– 127.
12. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Исследование работы системы водозаборная скважина - сборный водовод. Энергосбережение и водоподготовка. 2017. № 2 (106). С. 27-32.
13. Онищенко Г.Б., Горюнов А.Н. Энергетическая эффективность станций водоподготовки систем водоснабжения // Энергосбережение и Водоподготовка. 2015. № 6. С. 48-51.
14. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Анализ совместной работы водозаборных сооружений из подземных источников. В книге: Методология безопасности среды жизнедеятельности Программа и тезисы IV Крымской Международной научно-практической конференции. Под редакцией: А.Т. Дворецкого, Т.В. Денисовой, А.Е. Максименко. 2017. С. 85.
15. Фисенко В. Н. Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22–33.
16. Алексеев В. С., Мартинцов С. М. К оценке жизненного цикла скважин на действующих водозаборах // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 2. С. 16–24.
17. Шабанова М.М. Анализ современного состояния жилищно-коммунального хозяйства и тарифной политики в республике Дагестан. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2014;35(4)

18. Лобачёв П.В. Насосы и насосные станции. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1983. 192 с.
19. Nool P. Determining the real cost of powering a pump // World pumps. 2008. Issue 496. P. 32– 34
20. Vogelesang Hans. An introduction to energy consumption in pumps // World pumps. 2008, Issue 496, pp. 28– 31.

References:

1. Shcherbakov V. I., Akulshin A.A. Water intake structures from underground sources. LAP Lambert Academic Publishing, 2017. 192 p. [Shcherbakov V. I., Akulshin A. A. Vodozabornye sooruzheniya iz podzemnyh istochnikov. LAP Lambert Academic Publishing, 2017. 192 s.]
2. Tugay A.M. Design and analysis of intake nodes. Kiev. [Budeveinik. 1978. 160 p. Tugaj A.M. Raschyot i konstruirovaniye vodozabornyyh uzlov.: Budevel'nik. 1978. 160 s. (In Russ.)]
3. Karelin V. Y., Minaev A.V. Pumps and pumping stations. Moscow: Stroyizdat 1986. 320p. [Karelin V.YA., Minaev A.V. Nasosy i nasosnye stancii. Moskva: Strojizdat, 1986. 320 s. (In Russ.)]
4. Bochever F.M. The basis of the hydrogeological calculations. Moscow: Nedra. 1969. 252 p. [Bochever F.M. Osnovy gidrogeologicheskikh raschyotov. Moskva, 1969. 252 s. (In Russ.)]
5. Shcherbakov V. I., Purusova I. Y. Ways of enhancing the performance of intake structures groundwater. The book Yakovlevskaya reading a collection of papers of the XII International scientific-technical conference dedicated to the memory of academician S. V. Yakovlev. The National Research University "Moscow State University of Civil Engineering". 2017, pp. 248-252. [Shcherbakov V.I., Purusova I.YU. Puti povysheniya proizvoditel'nosti vodozabornyyh sooruzhenij podzemnyh vod. V sbornike: Yakovlevskie chteniya sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati akademika RAN S.V. Yakovleva. Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet. 2017. S. 248-252. (In Russ.)]
6. Panov M.Y., Purusova I.Y., Shcherbakov V.I. Modeling of flow distribution and management of pumping stations. Herald of the Voronezh State Technical University. 2007, V.3, № 6, pp 182-185. [Panov M.YA., Purusova I.YU., SHCHerbakov V.I. Modelirovaniye potokoraspredeleniya i upravleniye vodopod"yomnymi stanciyami // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2007. T. 3. № 6. S. 182-185. (In Russ.)]
7. Leznov B. S. Energy saving and regulated in the electric pump and blower installations. Moscow: Energopromizdat. 2006. 360 p. [Leznov B.S Ehnergoberezhenie i reguliruemyy ehlektroprivod v nasosnyh i vozduhoduvnyh ustanovkah. Moskva: EHnergopromizdat, 2006. 360 s.]
8. Panov M. Y., Purusova I. Y., Shcherbakov V. I. Development of mathematical model of management of functioning pumping stations. Scientific journal. Engineering systems and facilities]. 2009, no. 1, pp. 176– 182. [Panov M.YA., Purusova I.Yu., Shcherbakov V.I. Razrabotka matematicheskoy modeli upravleniya funkcionirovaniem vodopod"yomnoy stancii // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. 2009. № 1. S. 176– 182. (In Russ.)]
9. Panov M. Y., Shcherbakov V. I., Petrov Y. F. Models of management systems functioning water supply and distribution. Voronezh. VSABU. 2012. 271 p. [Panov M.Ya., SHCHerbakov V. I., Petrov Yu.F Modeli upravleniya funkcionirovaniem sistem podachi i raspredeleniya vody. Voronezh: VGASU, 2012. 271 s. (In Russ.)]
10. Shcherbakov V. I., Purusova I. Y. Selection of the location of facilities for underground water intake. The book Yakovlevskaya a read of the XIII international scientific-technical conference dedicated to the memory of academician S. V. Yakovlev. Of education and science of Russian Federation. Federation, Moscow state University of civil engineering. 2018. P. S. 140-144. (In Russ.)]
11. Tverdohleb I. B., Kostyuk A. V. Energy– efficient operation of the pump equipment. Water supply and sanitary engineering 2010, no. 1, pp. 124– 127. [Tverdohleb I.B., Kostyuk A. V. EHnergoehffektivnaya ehkspluataciya nasosnogo oborudovaniya // Vodosnabzhenie i kanalizaciya. 2010. №1. S. 124– 127. (In Russ.)]
12. Shcherbakov V. I., Purusova I. Y. A study of work systems water wells - precast conduit. Energy saving and water treatment. 2017, no. 2, (106), pp. 27-32. [Shcherbakov V.I., Purusova I.YU. Issledovaniye raboty sistemy vodozabornaya skvazhina - sbornyy vodovod. EHnergoberezhenie i vodopodgotovka. 2017. № 2 (106). S. 27-32. (In Russ.)]
13. Onischenko G.B. Goryunov A.N. Energy Efficiency of Water Treatment Stations in Water Supply Systems // Energy Saving and Water Treatment, 2015, no 6. pp. 48-51. [Onishchenko G.B., Goryunov A.N. EHnergeticheskaya ehffektivnost' stancij vodopodgotovki sistem vodosnabzheniya // EHnergoberezhenie i Vodopodgotovka. 2015. № 6. S. 48-51. (In Russ.)]
14. Shcherbakov V. I., Purusova I. Y. Mathematical modeling of operational management of pumping stations. Actual research directions of the XXI century: Theory and Practice]. 2014, no. 2, pp. 310-313. [Shcherbakov V.I., Purusova I.YU. Analiz sovместnoy raboty vodozabornyyh sooruzhenij iz podzemnyh istochnikov. V knige: Metodologiya bezopasnosti sredy zhiznedeyatel'nosti Programma i tezisy IV Krymskoj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Pod redakciej: A.T. Dvoreckogo, T.V. Denisovoj, A.E. Maksimenko. 2017. S. 85. (In Russ.)]
15. Fisenko V.N. Energy saving in operation of well water intakes of underground waters // Water supply and sanitary engineering. 2016, no. 11. pp. 22-33. [Fisenko V. N. EHnergoberezhenie pri ehkspluatacii skvazhinnyh vodozaborov podzemnyh vod // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2016. № 11. S. 22–33. (In Russ.)]

16. Alekseev V. S., Martincov S. M. To the well life cycle assessment on existing water intakes // water Supply and sanitary engineering. 2016. No. 2. С. 16-24. [Alekseev V. S., Martincov S. M. K oцenke zhiznennogo cikla skva-zhin na dejstvuyushchih vodozaborah // Vodосnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2016. № 2. S. 16–24. (In Russ.)]
17. Shabanova M. M. The analysis of the current state of housing and communal services and tariff policy in the republic of Daghestan. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2014;35(4) [Shabanova M.M. Analiz sovremennogo sostoyaniya zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva i tarifnoj politiki v respublike Daghestan. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskие науки. 2014; 35(4) (In Russ.)]
18. Lobachev P.V. Pumps and pump stations. - 2 nd ed., Pererab. and additional. Moscow: Stroizdat, 1983. 192 p. [Lobachyov P.V. Nasosy i nasosnye stancii. – 2-e izd., Pererab. i Dop. M.: Strojizdat, 1983. 192 s. (In Russ.)]
19. Nool P. Determining the real cost of powering a pump // World pumps. 2008. Issue 496. 32– 34 pp.
20. Vogelesang Hans. An introduction to energy consumption in pumps // World pumps. 2008, Issue 496, pp. 28– 31.

Сведения об авторе:

Пурусова Ирина Юрьевна – ассистент.

Information about the author:

Irina Yu. Purusova – Assistant.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 09.11.2018.

Принята в печать 23.12.2018.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 09.11.2018.

Accepted for publication 23. 12.2018.

Для цитирования: Алехин И.В., Бокова О.И., Коробкин Д.И., Rogozin E.A. К вопросу о вероятности наступления ущерба в результате атаки на информационный ресурс информационно-технических систем органов внутренних дел типа «отказ в обслуживании». Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (4): 68-77. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-68-77

For citation: Alekhin I.V., Bokova O.I., Korobkin D.I., Rogozin E. A. To the question of the probability of the attack of damage as a result of attack on the information resource of information and technical systems of internal affairs type «Refusal in Service». Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 68-77. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-68-77

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.7: 004.05

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-68-77

К ВОПРОСУ О ВЕРОЯТНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ УЩЕРБА В РЕЗУЛЬТАТЕ АТАКИ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ РЕСУРС ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ ТИПА «ОТКАЗ В ОБСЛУЖИВАНИИ»

Алехин И.В.¹, Бокова О.И.¹, Коробкин Д.И.², Rogozin E.A.¹

¹ Воронежский институт МВД России,

394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия,

² Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского
и Ю. А. Гагарина,

²394064, г Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 А, Россия,

¹e-mail: ialekhin2@mvd.ru, ¹e-mail: obokova2@mvd.ru,

¹e-mail: aevgenirogozin@yandex.ru, ²e-mail: 516420@mail.ru

Резюме. Цель. В целях повышения защищенности ведомственных информационно-технических систем и рациональности финансовых затрат на аппаратные решения в таких системах, целесообразно провести разработку имитационной модели информационно-технической системы органа внутренних дел (ИТС ОВД), имеющей подключение к сети Интернет, для определения вероятности наступления ущерба в результате атаки типа «отказ в обслуживании». Привести и уточнить для ИТС ОВД классификацию современных сложных ИТС, что позволит на основании открытых федеральных и ведомственных нормативных документов определить вероятные угрозы информационному ресурсу ИТС ОВД, в связи с подключением к сети Интернет. Дальнейшая разработка модели ИТС ОВД произведена в среде имитационного моделирования Anylogic, что позволяет смоделировать процесс атаки типа «отказ в обслуживании» на ведомственный ресурс и исследовать вероятность наступления ущерба. Приведены выражения из аппарата систем массового обслуживания, позволяющие произвести моделирование атаки и расчет вероятности наступления ущерба, что целесообразно применить при проектировании подобных систем в ОВД. **Метод.** Аналитическое и математическое моделирование с применением аппарата систем массового обслуживания. **Результат.** Предложена имитационная модель ИТС ОВД, позволяющая определить вероятность деструктивного воздействия на ведомственные ресурсы подобных систем. **Вывод.** Направление данного исследования актуально и требует дальнейшего развития с целью разработки методики оценки наступления ущерба в ИТС ОВД.

Ключевые слова: информационно-техническая система органа внутренних дел, система массового обслуживания, вероятность наступления ущерба, ресурс, Интернет, угроза, «отказ в обслуживании»

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

TO THE QUESTION OF THE PROBABILITY OF THE ATTACKMENT OF DAMAGE AS A RESULT OF ATTACK ON THE INFORMATION RESOURCE OF INFORMATION AND TECHNICAL SYSTEMS OF INTERNAL AFFAIRS TYPE "REFUSAL IN SERVICE"

Igor V. Alekhin¹, Oksana I. Bokova¹, Dmitry I. Korobkin, Evgeny A. Rogozin¹

¹Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation,

¹53 Patriotov Str., Voronezh 394065, Russia,

²Military Educational and Scientific Center of the Air Force named after N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin,

⁴54A Starykh Bolshevikov Str., Voronezh 394064, Russia

¹e-mail: ialekhin2@mvd.ru, ¹e-mail: obokova2@mvd.ru,

¹e-mail: aevgenirogozin@yandex.ru, ²e-mail: 516420@mail.ru

Abstract Objectives In order to improve the security of departmental information technology systems and the rationality of the financial costs of hardware solutions in such systems, it is advisable to develop a simulation model of the information technology system of an internal affairs authority (ITS ATS) connected to the Internet to determine the likelihood of damage occurring denial of service attacks. Lead and clarify for the ITS ATS a classification of modern-time complex ITS, which will allow identifying possible threats to the ITS information resource ATS based on open federal and departmental regulatory documents in connection with Internet connection. Further development of the ATS ITS model was done in the Anylogic simulation environment, which makes it possible to simulate a denial of service attack on a departmental resource and investigate the likelihood of damage occurring. The expressions from the apparatus of queuing systems are given, which allow modeling the attack and calculating the probability of damage occurrence, which is advisable to use when designing such systems in ATS. **Method.** Analytical and mathematical modeling using the apparatus of queuing systems. **Result.** A simulation model of ITS ATS is proposed, which allows to determine the probability of a destructive impact on the departmental resources of such systems. **Conclusion.** The direction of this study is relevant and requires further development in order to develop a methodology for assessing the occurrence of damage in ITS ATS.

Keywords: information and technical system of the internal affairs authority, queuing system, probability of damage occurrence, resource, Internet, threat, "denial of service"

Введение. Актуальность темы данного научного исследования определяется в рамках деятельности МВД России путём проведения анализа открытых литературных источников. Из текста статьи № 11 федерального закона «О полиции» следует, что Министерство внутренних дел Российской Федерации обязано использовать в процессе выполнения возложенных государственных функций широкий набор информационных технологий и информационных систем (ИС) с целью получения, накопления и обработки информации [1]. Тем самым, создавая большой объём дополнительных задач по обеспечению бесперебойного функционирования вверенных ИС.

Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» определяет термин информационной системы в соответствии с ГОСТ Р 50922-2006: «Защита информации. Основные термины и определения», как совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств [2]. При рассмотрении вышеописанной проблематики следует дополнить определение ИС словом «технические» в связи с высокой важностью обширных распределенных технических сетей, обеспечивающих функционирование ИТС ОВД.

В настоящий момент все существующие ИТС можно разделить на четыре основные класса: корпоративные ИТС, системы оперативного управления и учета, аналитические ИТС, справочные правовые системы [3].

Постановка задачи. Анализируя вышеприведенную классификацию современных сложных ИТС можно сделать вывод о том, что ИТС ОВД является крупной корпоративной ИТС с поддержанием функционала систем оперативного управления и учета, аналитических ИТС и справочно-правовых систем. Данное обстоятельство значительно увеличивает вероятность возникновения атак со стороны злоумышленников и требует обширного комплекса мероприятий по обеспечению информационной безопасности в ИТС ОВД.

Можно выделить следующие особенности современных ИТС ОВД:

1. Комплексный подход. Современные ИТС ОВД характеризуются понятием комплексности. Это подразумевает целостный подход к автоматизации технологических процессов. Если раньше в каждом территориальном отделе была своя отдельная локальная вычислительная сеть, то сейчас в МВД России функционирует в единой ИТС. Такое построение ИТС позволяет использовать информацию одного подразделения в работе других подразделений МВД России, получать сводную информацию и повышать скорость информационных потоков внутри Министерства.

2. Оперативность. В современных условиях очень важным параметром в работе МВД становится скорость обработки и доступность информации. Поэтому современные ИТС проектируются таким образом, чтобы пользователи могли получать максимум информации, доступной на текущий момент. Особое внимание уделяется оперативности информации, то есть процессам получения самой «свежей» информации, так как от этого во многом зависит эффективность принимаемых решений (например, проведение видеоконференций и т.д.).

3. Гибкость. Наиболее распространенными способами реализации этого принципа являются модульность системы (при необходимости различные функциональные модули могут отключаться или подключаться к системе) и система настроек (т.е. присутствует возможность коррекции основных параметров).

4. Распределенность. Распределенная ИТС ОВД подразумевает многоуровневую структуру и наличие иерархии серверов.

5. Взаимосвязь с другими ИТС. МВД России работает в условиях тесного взаимодействия и интенсивного информационного обмена с другими органами государственной власти, поэтому, важное значение имеет способность ИТС ОВД взаимодействовать с ИТС других организаций. В современных ИТС предусмотрена возможность импортировать и экспортировать массивы данных в общепринятых форматах обмена данными (текстовые файлы или электронные таблицы), обеспечивая широкий спектр предоставляемых государственных услуг.

6. Доступность информации извне. В последнее время значительно увеличилась степень информационной открытости МВД России для граждан. Современная ИТС ОВД должна иметь механизмы публикации различных сервисов и данных в Интернет. Естественно, не все данные МВД России делает общедоступными, поэтому большое внимание уделяется защите ИТС от несанкционированного доступа и правильной организации уровней доступа к информации.

В ИТС ОВД также существует потенциальная опасность возникновения ущерба, связанного с использованием уязвимостей злоумышленниками, причем, потерями от реализации могут являться не только финансовый, но и репутационный ущерб.

Статья 11 Концепции обеспечения информационной безопасности органов внутренних дел Российской Федерации до 2020 года, указывает как направление деятельности по обеспечению информационной безопасности ОВД проведение оценки уязвимости и рисков информации при имеющемся множестве угроз и каналов утечки.

Конечной целью в соответствии со статьей 27 является использование технологии «облачных вычислений» и обеспечение требуемого уровня защиты, катастрофоустойчивости и доступности информации [2].

В соответствии с требованиями приказа МВД России «Об утверждении Правил организации доступа к информационно-телекоммуникационной сети Интернет в органах внутренних дел Российской Федерации» сотрудникам для выполнения служебных задач обеспечивается подключение к сети Интернет [3]. В соответствии с данным приказом безопасность подключения обеспечивается путем использования своевременно обновляемого лицензионного программного обеспечения, а также применения антивирусных средств защиты информации. Данный перечень мер по защите информации нельзя назвать исчерпывающим и следует провести анализ угроз в соответствии со спецификой МВД России.

Как отмечено в [4], если по тем или иным причинам получение доступа к сервисам пользователями становится невозможным, это наносит ущерб всем субъектам информационных отношений. Поэтому важнейшим элементом информационной безопасности является доступность тех или иных сервисов ИТС.

В соответствии с исследованиями известной отечественной компании в области защиты информации Positivetechnologies за 2017 год - на государственные организации были направлены 13% всех атак. С атаками на госсектор часто связывают хакерские группировки (например, OilRig, Turla, Lazarus). В различных исследованиях можно встретить характеристику действий одной и той же группировки, но под разными названиями. В 2017 году их действующих группировок было не менее 70 [6].

Неотъемлемой составляющей обеспечения информационной безопасности в ИТС ОВД является определение вероятных рисков наступления ущерба подобным системам. По определению, данному в рекомендациях ГОСТ ISO 15408 [3], риск – это вероятность реализации угрозы информационной безопасности. В классическом представлении оценка рисков включает оценку угроз, уязвимостей и наносимого ущерба.

Неотъемлемой составляющей обеспечения информационной безопасности в ИТС ОВД является определение вероятных рисков наступления ущерба подобным системам.

По определению, данному в рекомендациях ГОСТ ISO 15408 [3], риск – это вероятность реализации угрозы информационной безопасности. В классическом представлении оценка рисков включает оценку угроз, уязвимостей и наносимого ущерба.

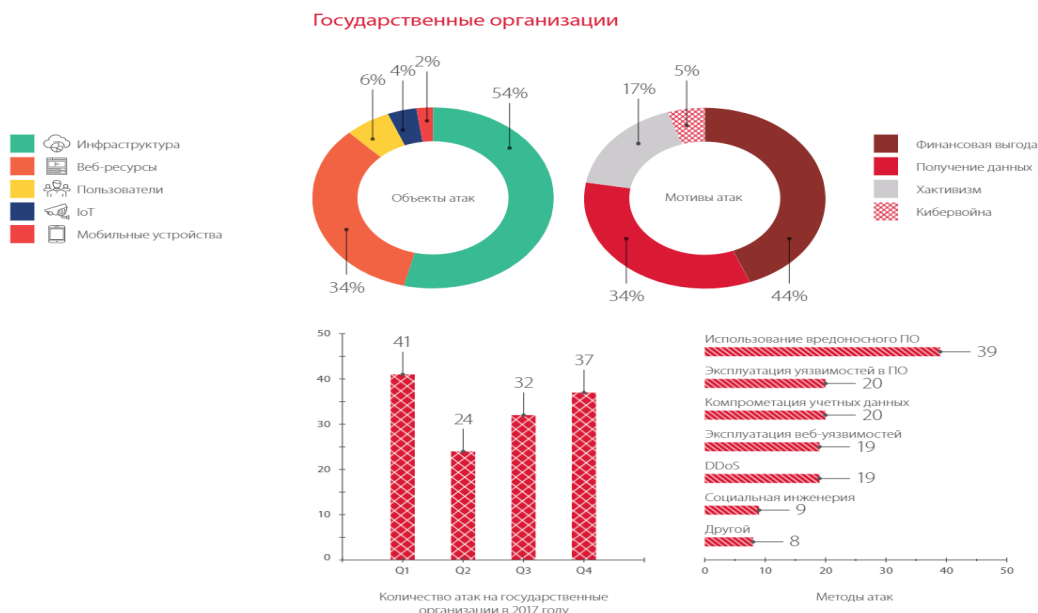


Рис. 1. Статистика по угрозам в государственном секторе
 Fig. 1. Statistics on public sector threats

Как видно из рис. 1, угроза «отказ в обслуживании» (DDoS) является одной из наиболее распространенных для государственного сектора.

Анализируя список угроз ФСТЭК России [4] при нарушении доступности применимо к ИТС ОВД, предположим, что основную опасность представляют внешние нарушители со средним потенциалом, поэтому актуальными для рассмотрения являются следующие угрозы: УБИ.140: угроза приведения системы в состояние «отказ в обслуживании»; УБИ.164: угроза распространения состояния «отказ в обслуживании» в облачной инфраструктуре.

Так как величина риска является произведением величины ущерба и вероятности наступления данного ущерба, соответственно к явным рискам ИТС ОВД, имеющих подключение к сети Интернет и находящимся под Ddos-атакой, отнесем следующие:

- затрудненное подключение и передача данных, как для внешних, так и для внутренних пользователей;
- полная блокировка подключения и передачи данных;
- переход инфраструктуры ИТС ОВД в аварийное состояние, сопровождающееся продолжительными восстановительными работами.

Метод исследования. С целью разработки рекомендаций по анализу и снижению рисков наступления ущерба в случае реализации угрозы типа «отказ обслуживания» в информационно-технических системах органов внутренних дел рассмотрим структурно-функциональную модель информационно-технической системы органа внутренних дел (СФМ ИТС ОВД), предоставляющую различные сервисы, используемые сотрудниками и работниками в своей повседневной служебной деятельности.

Состав предлагаемой модели включает в себя:

- программный или аппаратный firewall: используется для контроля доступа из сети Интернет, т.к. эксплуатируется ряд сервисов, например, электронная почта, использующие данное подключение;
- сервер-балансировщик: необходим для распознавания входящих пакетов и маршрутизации обработки запросов;
- веб-сервер: применяется для предоставления доступа к различным сервисам через браузер;
- сервер управления: предоставляет обслуживающему персоналу возможность конфигурирования и обслуживания данного сегмента ИТС ОВД;
- сервер электронной почты: применяется для отправки и получения электронной почты;
- сервер БД: используется для управления массивом, состоящим из основной и нескольких ведомых БД.

Состав и архитектура СФМ ИТС ОВД представлены на рис.2:

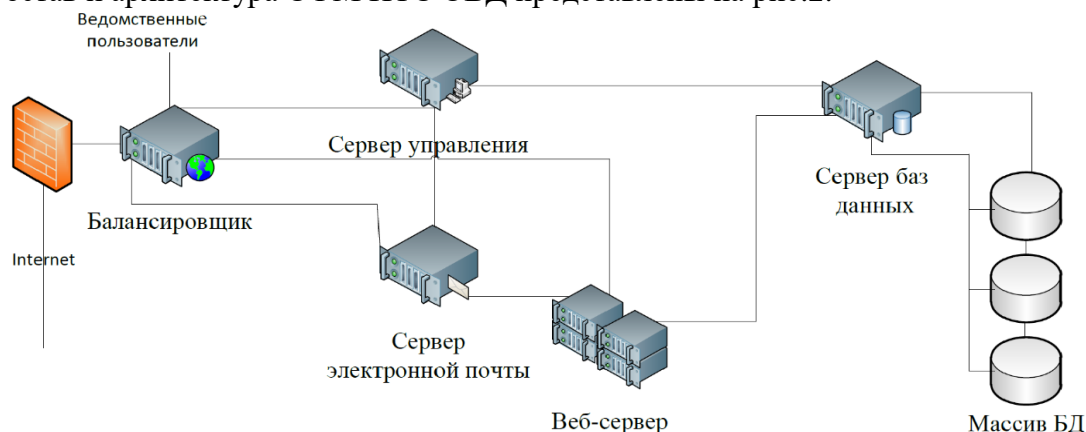


Рис. 2. Состав и архитектура ИТС ОВД
Fig. 2. Composition and architecture of ITS ATS

На рис. 3 представлена структура модели, разработанной в программном продукте AnyLogic. Данная модель отражает процесс DDOS атаки ботнет-сети на сервер.

В левой части представлена ботнет-сеть под управлением задающего узла злоумышленника (perpetrator), направляющего в ботнет-сеть запросы для последующего умножения по вы-

бранному закону распределения и отправке на сетевой адрес сервера жертвы. Преимуществом имитационного моделирования является возможность математической формализации модели с высокой степенью анализируемости протекающих внутри процессов.

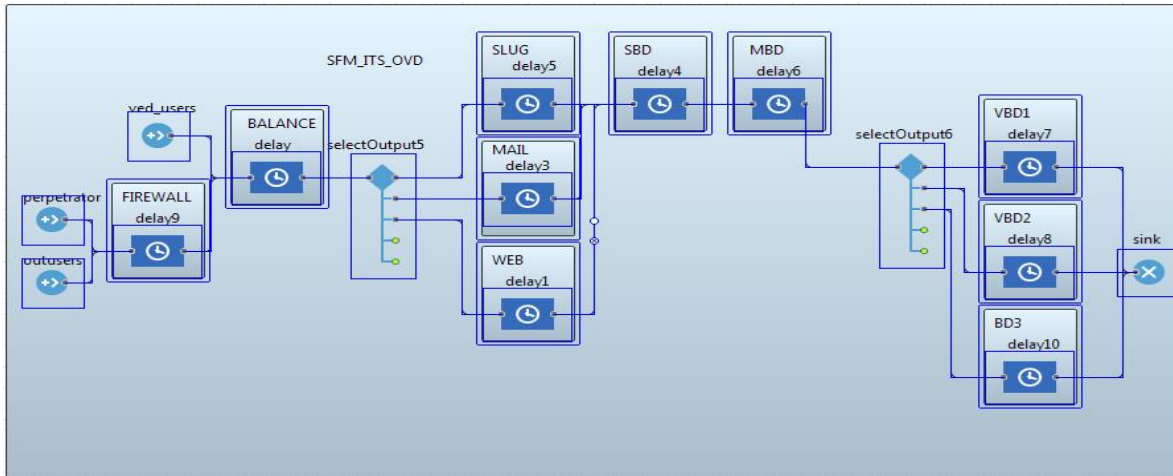


Рис. 3. Структура модели DDoS-атаки ботнет-сети на сервер
Fig. 3. Model structure of the botnet's DDoS attack on the server

Рассматриваемую модель следует определить, как типичную многоканальную систему массового обслуживания с ограниченной очередью и временем ожидания, состоящую из сети устройств, отправляющих пакеты, создаваемые в источнике perpetrator.

Следующими элементами сети является группировка серверов (обслуживающих устройств), являющихся для данного случая жертвами атаки.

Серверы в определенный момент времени могут обслуживать только одну заявку, являющуюся запросом к серверу, и, следовательно, быть в свободном или занятом состоянии. Если сервер занят, то при условии, что в буфере есть свободное место новая заявка (пакет) ставится в очередь и ждет своего выполнения. Когда обслуживание заявки на сервере завершается, одна из заявок, находящихся в очереди, выбирается для обслуживания. Элементарная теория очередей рассматривает входные потоки, описываемые последовательностью случайных величин – интервалов времени между прибытиями $\{A_1, A_2, \dots\}$. Наиболее применимым и удобным для расчетов является экспоненциальное распределение интервалов, соответственно, интенсивность входного потока λ в этом случае имеет распределение Пуассона [5,6].

Заметим, в связи с тем, что входные потоки от сети злоумышленника и сети легальных пользователей представлены пуассоновскими потоками, следовательно, возможно применение свойства суперпозиции двух пуассоновских процессов с интенсивностями λ_1 и λ_2 . Интенсивность результирующего потока $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ является также пуассоновским процессом.

Для описания широкого класса ИТС рассмотрим объединенный параметр «производительность сервера», все запросы пользователей полагаются однородными, а для определения последовательности их выполнения используется дисциплина обслуживания FCFS (FirstCome – FirstServed) – обслуживание в порядке поступления [7]. Обычно, эта дисциплина используется по умолчанию, если ничего иного не сказано.

Группировка серверов представлена элементами задержки delay, куда стекаются пакеты с запросами из ботнет-сети и сети легальных пользователей.

Элемент delay позволяет смоделировать процесс обработки запросов сервером, задавая время обработки, которое коррелируется с производительностью реального сервера. Элемент delay обладает собственной очередью (буфером), позволяя представить количество мест очереди определенным типом ресурса сервера, например, оперативной памяти. Обслуживание входящих заявок происходит по нормальному закону распределения [8], причем параметрами нормального распределения являются S_1 – математическое ожидание (оп.), S_2 – среднеквадрати-

ческое отклонение (оп.) и Q – производительность сервера (оп./с.). Таким образом, время задержки определенного сервера:

$$\mu(t) = \left(\frac{1}{S_1 \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t - S_2)^2}{2S_1^2}\right) \right) / Q \quad (1)$$

Отдельно стоит отметить возможность вытеснения из очереди на обработку пакетов при достижении максимального времени жизни пакета, что соответствует параметру реальных сетевых пакетов в сетях TTL и параметру Timeout при обращении на сайт в веб-браузере [9].

Нагрузка на атакуемый сервер (или интенсивность трафика на сервер):

$$\rho = \lambda / \mu. \quad (2)$$

Среднее число запросов на сервере:

$$\bar{N} = \frac{\rho}{1 - \rho}. \quad (3)$$

Среднее время, которое запрос проводит во всей сети массового обслуживания (фактически, следует из теоремы Литтла):

$$\bar{T} = \frac{N}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda}. \quad (4)$$

В случае атак типа «отказ в обслуживании», усредненный ущерб находим в виде произведения интенсивности атаки (λ) на время наблюдения системы $\bar{u} = \lambda t$, где λ – интенсивность атаки при $\lambda(t) = \lambda \equiv const..$

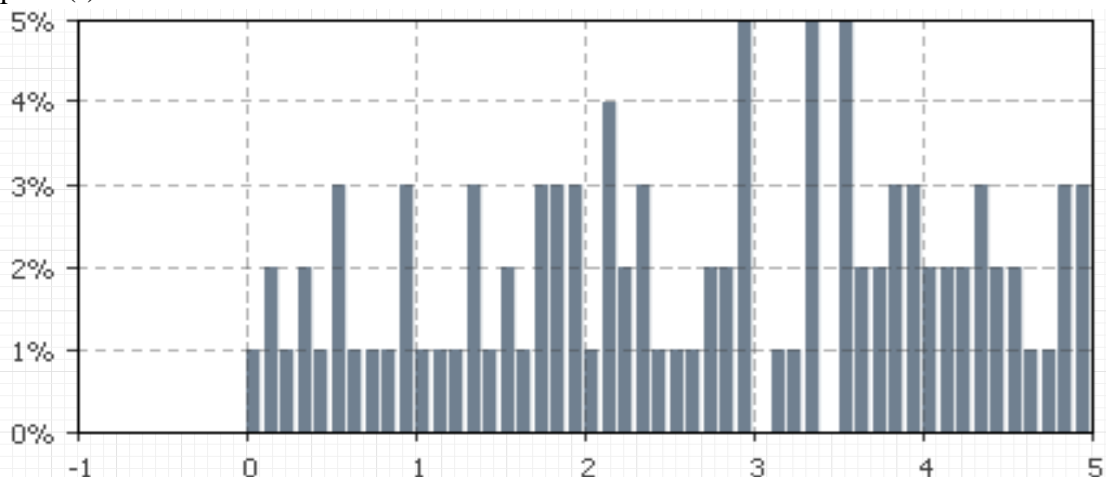


Рис. 4. Гистограмма распределения плотности вероятности обработки запросов в зависимости от времени при заданных значениях интенсивности поступления и обработки запросов

Fig. 4. Histogram of the distribution of the probability density of processing requests as a function of time for given values of the intensity of receipt and processing of requests

Параметр μ - время обработки в среде моделирования, представленный блоком delay, непосредственно зависит от производительности данного сервера (Q). В аспекте атаки «отказ в обслуживании» как правило, выполняемой однотипными сетевыми пакетами.

Результирующая диаграмма времени обработки запроса рис. 4 изображает зависимость нагрузки от времени, т.е. количество пакетов, находящихся на сервере в обрабатываемый момент времени. Данная диаграмма также отображает среднее значение нагрузки и строит кривую функции распределения.

Таким образом, оценив группировку серверов и направив в сеть исследуемый уровень потока, моделирующего процесс атаки, можно определить вероятность наступления успеха «атаки отказ в обслуживании» и деструктивного воздействия на функционирование сети в результате образования достаточно большой очереди:

$$P_{оч} = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}{1 - \frac{\rho}{n}} P_0 \quad (5)$$

и вероятность отказа вычисляется по следующей формуле:

$$P_{отк} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} \cdot P_0. \quad (6)$$

Обсуждение результатов. Вычислительный эксперимент, связанный с моделированием и получением статистических данных, характеризующих количество необработанных заявок, скопившихся в очереди, показал следующие результаты заданными в данном эксперименте параметрами- в случае, если количество необработанных заявок в очереди стремится к 4000 происходит частичная потеря заявок, а при очереди в 8213 процесс моделирования останавливается и мы можем конкретно определить вероятностью наступившего ущерба.

Для измерения величины ущерба в количественных единицах, например, рублях, требуется разработка соответствующей методики.

Вывод. Таким образом, предложена имитационная модель с рядом математических выражений, которую целесообразно использовать при проектировании ИТС ОВД, имеющих подключение к сети Интернет на предмет её устойчивости к деструктивному воздействию типа «отказ в обслуживании». Реализация подобной атаки ведет к снижению оперативности и блокированию выполнения служебных функций сотрудниками ОВД.

Библиографический список:

1. Федеральный закон "О полиции" от 7 февраля 2011 г. N 3-ФЗ.
2. Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
3. Приказ МВД РФ от 14.03.2012 г. №169 «Об утверждении Концепции обеспечения информационной безопасности органов внутренних дел Российской Федерации до 2020 года». Об утверждении Правил организации доступа к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в органах внутренних дел Российской Федерации». Приказ МВД России от 24.12.2015 № 1228.
4. Зеленский В.А. Проектирование сложных систем. Учебное пособие. — Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2012. — 96 с.
5. Кабанов А.С. Модель оценки риска нарушения информационной безопасности / А.С.Кабанов, А.Б. Лось, В.И. Трунцев // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. Т. 1. № 25. С. 87-91.
6. <https://bdu.fstec.ru/threat>.
7. Труб И. И. Объектно-ориентированное моделирование на C++ / И. И. Труб. – СПб.: Питер, 2006. –411 с.
8. Вишневецкий В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневецкий. — М.: Техносфера, 2003.— 506 с.
9. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 600с.
10. Ремезова Е. М. Имитационное моделирование в среде AnyLogic : лаб. практикум / Е. М. Ремезова ; Владимир. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. Владимир : Изд-во ВлГУ, 2017. 87 с.
11. Syed R.A. Next generation and advanced network reliability analysis / R.A.Syed – Springer, 2018. – 311 p.
12. Стельмашонок Е.В. Возможности имитационного моделирования для исследования функционирования системы защиты информации / Е.В. Стельмашонок, В.Л. Стельмашонок // Петербургский экономический журнал. — 2017. — №4. — С. 57–68.
13. Алгоритм имитационной модели противодействия несанкционированному доступу к автоматизированной информационной системе специального назначения средствами защиты информации / С.С. Кочедыков [и др.] // Математические методы и информационные технологии управления в науке, образовании и правоохранительной сфере. — 2017. — С. 98–103.
14. Бугров Ю.Г. Повышение качества имитационной модели системы защиты информации / Ю.Г. Бугров, В.В. Мирошников, Д.В. Кочергин // Информация и безопасность. — 2008. — Т. 11. — № 1. — С. 69–73.
15. Рогозин Е.А. Модель функционирования типовой системы защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных информационных системах ОВД / Е.А. Рогозин, А.Д. Попов // Вестник Воронежского института МВД России. — 2016. — № 4. — С. 122–132.

16. Синегубов С.В. Моделирование систем и сетей телекоммуникаций / С.В. Синегубов. — Воронеж: Воронеж. ин-т МВД России, 2016. — 336 с.
17. Моделирование многоуровневых систем защиты информации REDS / А.В. Володько [и др.] // Телекоммуникационные устройства и системы. — 2014. — С. 423–426.
18. Климов С.М. Имитационные модели испытаний критически важных информационных объектов в условиях компьютерных атак / С.М. Климов // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2016. — № 8 (181). — С. 27–36.

References:

1. Federal'nyy zakon "O politsii" ot 7 fevralya 2011 g. N 3-FZ. [The Federal Law "On Police" of February 7, 2011 N 3-FZ. (In Russ.)]
2. Federal'nyy zakon «Ob informatsii, informatsionnykh tekhnologiyakh i o zashchite informatsii». [Federal Law "On Information, Information Technologies and Information Protection" (In Russ.)]
3. Prikaz MVD RF ot 14.03.2012 g. №169 «Ob utverzhdenii Kontseptsii obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti organov vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda». Ob utverzhdenii Pravil organizatsii dostupa k informatsionno-telekommunikatsionnoy seti «Internet» v organakh vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii». Prikaz MVD Rossii ot 24.12.2015 № 1228. [Order of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation of March 14, 2012 No. 169 "On approval of the Concept for ensuring information security of the internal affairs bodies of the Russian Federation until 2020". On approval of the Rules for organizing access to the information and telecommunication network "Internet" in the internal affairs bodies of the Russian Federation. "Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia of December 24, 2015 No. 1228. (In Russ.)]
4. Zelenskiy V.A. Proyektirovaniye slozhnykh sistem. Uchebnoye posobiye. — Samara: Samarskiy gosudarstvennyy aerokosmicheskiy universitet, 2012. — 96 s. [Zelenskiy V.A. Designing complex systems. Tutorial. - Samara: Samara State Aerospace University, 2012. - 96 p. (In Russ.)]
5. Kabanov A.S. Model' otsenki riska narusheniya informatsionnoy bezopasnosti / A.S.Kabanov, A.B. Los', V.I. Truntsev // Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i ra-dioelektroniki. 2012. T. 1. № 25. S. 87-91. [Kabanov A.S. Model for assessing the risk of breach of information security / A.S.Kabanov, A.B. Los, V.I. Truncev // Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics. 2012. V. 1. Number 25. P. 87-91. (In Russ.)]
6. <https://bdu.fstec.ru/threat>. (In Russ.)
7. Trub I. I. Ob'yektno-oriyentirovannoye modelirovaniye na S++ / I. I. Trub. — SPb.: Piter, 2006. —411 s. [Trub I. I. Object-Oriented Modeling in C ++ / I. I. Trub. - SPb. : Peter, 2006. —411 p. (In Russ.)]
8. Vishnevskiy V. M. Teoreticheskiye osnovy proyektirovaniya komp'yuternykh setey / V.M. Vishnevskiy. — M.: Tekhnosfera, 2003.— 506 s [Vishnevskiy V. M. Theoretical bases of computer networks design / V.M. Vishnevskiy. - M. : Technosphere, 2003. 506 p. (In Russ.)]
9. Kleynrok L. Vychislitel'nyye sistemy s ocheredyami / L. Kleynrok: Per. s angl. — M.: Mir, 1979. — 600s. [Kleynrok L. Computing systems with queues / L. Kleynrock: Trans. from English - M. : Mir, 1979. - 600s. (In Russ.)]
10. Remezova Ye. M. Imitatsionnoye modelirovaniye v srede AnyLogic : lab. praktikum / Ye. M. Remezova ; Vladimir. gos. un-t im. A. G. i N. G. Stoletovykh. Vladimir : Izd-vo VIGU, 2017. 87 s. [Remezova EM. AnyLogic simulation modeling: lab. workshop / E.M. Remezova; We hold. state un-t them. G. G. and N. G. Stoletovs. Vladimir: VISU Publishing House, 2017. 87 p. (In Russ.)]
11. Syed R.A. Next generation and advanced network reliability analysis / R.A.Syed - Springer, 2018. 311 p.
12. Stel'mashonok Ye.V. Vozmozhnosti imitatsionnogo modelirovaniya dlya issledovaniya funktsionirovaniya sistemy zashchity informatsii / Ye.V. Stel'mashonok, V.L. Stel'mashonok // Peterburgskiy ekonomicheskiy zhurnal. — 2017. — №4. — S. 57–68. [Stelmashonok E.V. Possibilities of simulation modeling for the study of the functioning of an information protection system / E.V. Stelmashonok, V.L. Stelmashonok // Petersburg Economic Journal. - 2017. - №4. - pp. 57–68. (In Russ.)]
13. Algoritm imitatsionnoy modeli protivodeystviya nesanktsionirovannomu dostupu k avtomatizirovannoy informatsionnoy sisteme spetsial'nogo naznacheniya sredstvami zashchity informatsii / S.S. Kochedykov [i dr.] // Matematicheskiye metody i informatsionnyye tekhnologii upravleniya v nauke, obrazovanii i pravookhranitel'noy sfere. — 2017. — S. 98–103. [Algorithm of a simulation model of countering unauthorized access to a special-purpose automated information system by means of information protection / S.S. Kochedykov [et al.] // Mathematical methods and information technology management in science, education and law enforcement. - 2017. - pp. 98–103. (In Russ.)]
14. Bugrov YU.G. Povysheniye kachestva imitatsionnoy modeli sistemy zashchity informatsii / YU.G. Bugrov, V.V. Miroshnikov, D.V. Kochergin // Informatsiya i bezopasnost'. — 2008. — T. 11. — № 1. — S. 69–73. [Bugrov Yu.G. Improving the quality of the simulation model of information security systems / Yu.G. Bugrov, V.V. Miroshnikov, D.V. Kochergin // Information and Security. - 2008. - V. 11. - № 1. - P. 69–73. (In Russ.)]
15. Rogozin Ye.A. Model' funktsionirovaniya tipovoy sistemy zashchity informatsii ot nesanktsionirovannogo dostupa v avtomatizirovannykh informatsionnykh sistemakh OVD / Ye.A. Rogozin, A.D. Popov // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2016. — № 4. — S. 122–132. [Rogozin E.A. Model of functioning of a typical system of information protection from unauthorized access in automated information systems of ATS / Ye.A.

- Rogozin, A.D. Popov // Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. - 2016. - № 4. - P. 122–132. (In Russ.)]
16. Sinegubov S.V. Modelirovaniye sistem i setey telekommunikatsiy / S.V. Sinegubov. — Voronezh: Voronezh. in-t MVD Rossii, 2016. — 336 s. [Sinegubov S.V. Simulation of telecommunication systems and networks / S.V. Sinegubov. - Voronezh: Voronezh. Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2016. - 336 p. (In Russ.)]
17. Modelirovaniye mnogourovnevnykh sistem zashchity informatsii REDS / A.V. Volod'ko [i dr.] // Tele-kommunikatsionnyye ustroystva i sistemy. — 2014. — S. 423–426. [Modeling of multi-level information security systems REDS / A.V. Volodko [et al.] // Tele-communication devices and systems. - 2014. - p. 423–426. (In Russ.)]
18. Klimov S.M. Imitatsionnyye modeli ispytaniy kriticheski vazhnykh informatsionnykh ob"yektov v usloviyakh komp'yuternykh atak / S.M. Klimov // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki. — 2016. — № 8 (181). — S. 27–36. [Klimov S.M. Simulation models of testing critical information objects in the conditions of computer attacks / S.M. Klimov // News SFU. Technical science. - 2016. - № 8 (181). - p. 27–36. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Алехин Игорь Викторович – адъюнкт кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел Воронежского института МВД России.

Бокова Оксана Игоревна – доктор технических наук, профессор, заместитель начальника Воронежского института МВД России по научной работе.

Коробкин Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательского отдела (информационных технологий).

Рогозин Евгений Алексеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел.

Information about the authors:

Igor V. Alekhin – Adjunct, Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Automated Information Systems of Internal Affairs.

Oksana I. Bokova – Dr.Sci. (Technical), Prof., Deputy Head of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia for Scientific Work.

Dmitry I. Korobkin – Cand.Sci., Assoc. Prof., Head of the Research Department (Information Technology).

Evgeny A. Rogozin - Dr.Sci. (Technical), Prof., Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Automated Information Systems of Internal Affairs.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 05.10.2018.

Принята в печать 30.11.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 05.10.2018.

Accepted for publication 30.11.2018.

Для цитирования: Асланов Г.К., Асланов Т.Г., Мусаева У.А. Аномальные ошибки в определении координат очага землетрясений и предложения по их устранению. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(4): 78-88. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-78-88

For citation: Aslanov G.K., Aslanov T.G., Musaeva U.A. Anomalous errors in determining focus coordinates earthquakes and suggestions for their elimination. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 78-88. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-78-88

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 550.34.016

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-78-88

АНОМАЛЬНЫЕ ОШИБКИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ

Асланов Г.К.¹, Асланов Т.Г.², Мусаева У.А.³

¹⁻³ Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻³ 367026, г. Махачкала, пр.И.Шамиля,70, Россия,

¹ e-mail: uits@dstu.ru, ² e-mail: tabasik@gmail.com, ³ e-mail: uma9@list.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка метода оценки скоростей сейсмических волн по различным направлениям их распространения, а также уменьшение ошибки в определении координат очага землетрясения за счет учета габаритов очага. **Метод.** В работе приводится метод, позволяющий оценить скорости сейсмических волн по различным направлениям распространения и/или габариты очага землетрясения и за счет учета габаритов очага уменьшить ошибку в определении координат гипоцентра. Для нахождения гипоцентра землетрясения используются данные разности времен прихода сейсмических волн на сейсмодатчики и ошибка в определении разности времен. По данным сейсмодатчика определяются координаты гипоцентра с учетом ошибок и использованием комбинаций с различных комбинаций сейсмодатчиков. Обработкой полученного массива координат производится оценка скоростей сейсмической волн/или определяется пространственная форма очага землетрясения и координаты гипоцентра. По координатам киноцентра корректируются разности времен пробега сейсмических волн и уточняются расстояния до сейсмодатчиков. **Результат.** После предварительного определения координат и формы очага землетрясения при наличии большого количества сейсмодатчиков имеется возможность уточнить координаты гипоцентра землетрясения с учетом рекомендаций приведенных в работе. **Вывод.** Использование предложенного метода подразумевает наличие большого количества датчиков для определения сложной формы, очага землетрясения.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмодатчик, сфера, уравнение, ошибка.

ANOMALOUS ERRORS IN DETERMINING FOCUS COORDINATES EARTHQUAKES AND SUGGESTIONS FOR THEIR ELIMINATION

Gaidarbek K.Aslanov¹, Tagirbek G. Aslanov², Uma A.Musaeva³

¹⁻³Daghestan State Technical University,

¹⁻³70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: uits@dstu.ru, ²e-mail: tabasik@gmail.com, ³e-mail: uma9@list.ru

Abstract Objectives The aim of the study is to develop a method for estimating the speed of seismic waves in different directions of propagation and by taking into account the dimensions of the focus, reducing the error in determining the coordinates of the hypocenter. **Method** To find the hypocenter of the earthquake, the data of the seismic wave velocities, the differences in the times of arrival of seismic waves on seismic sensors and the error in determining the time difference are used. The data with an error determine the coordinates of the hypocenter using information from various combinations of seismic sensors. Processing the resulting array of coordinates, estimates the seismic wave velocities / or determines the spatial shape of the earthquake source and the coordinates of the hypocenter. According to the coordinates of the cinema center, the differences in the travel time of seismic waves are corrected and the distances to the seismic sensors are refined. **Results** After preliminary determination of the coordinates and shape of the earthquake source, if there are a large number of seismic sensors, it is possible to clarify the coordinates of the earthquake hypocenter taking into account the recommendations given in the works. **Conclusion** Using the proposed method implies the presence of a large number of sensors to determine the complex shape, the earthquake source.

Keywords: earthquake, seismic sensor, sphere, equation, error.

Введение. В настоящее время разработаны программы [1], позволяющие по магнитуде землетрясения, глубине его очага, плотности населения в районе землетрясения, типам застроек, времени суток и т.д. оценить людские потери, что позволяет оперативно решить вопрос о количестве привлекаемых к спасательным работам людских, материальных и технических ресурсов. Однако оценки потерь иногда не соответствуют действительности, в основном, из-за неверного определения глубины очага и эпицентра землетрясения.

В частности, потери во время Иранского землетрясения (с эпицентром в районе г. Бам 2004 году) Федеральным центром науки МЧС России были оценены как без потерь, хотя потери были. Ошибка возникла в связи с тем, что геофизическими службами Ирана глубина очага была определена неверно (сначала считалось, что глубина равна 33 км, а в последующем - 15,13 км). После корректировки величины глубины очага землетрясения в исходных данных в программе, расчетные потери были оценены в количестве 30 000 человек. При этом фактические потери были равны 35 000 человек, поэтому возникла необходимость выполнения этой работы, позволяющей определить координаты гипоцентра, с точностью, превосходящей существующие аналоги.

Постановка задачи. Определение координат очага землетрясения, в основном, производится по разности времен пробега поперечной и продольной сейсмических волн к сейсмодатчикам.

Основными причинами возникновения ошибок в определении координат очага землетрясения являются влияние на точность определения глубины очага землетрясения взаимного расположения сейсмодатчиков и очага.

Рис. 1 поясняет влияние на точность определения глубины очага землетрясения от взаимного расположения сейсмодатчиков и очага.

Здесь, для удобства анализа сказанного, рассмотрен случай, когда очаг землетрясения и два сейсмодатчика лежат на одной плоскости, например XZ .

На рис.1 через R_1 и R_2 обозначены соответственно, расстояния от сейсмодатчиков 1 и 2 до очага землетрясения, Δ_1 и Δ_2 – погрешности определения расстояний R_1 и R_2 , возникающие при их расчете по временам задержки сейсмических волн; O_u и O_p - соответственно, истинное и расчетное местоположения очага землетрясения; γ - угол между направлениями на очаг землетрясения от сейсмодатчиков 1 и 2.

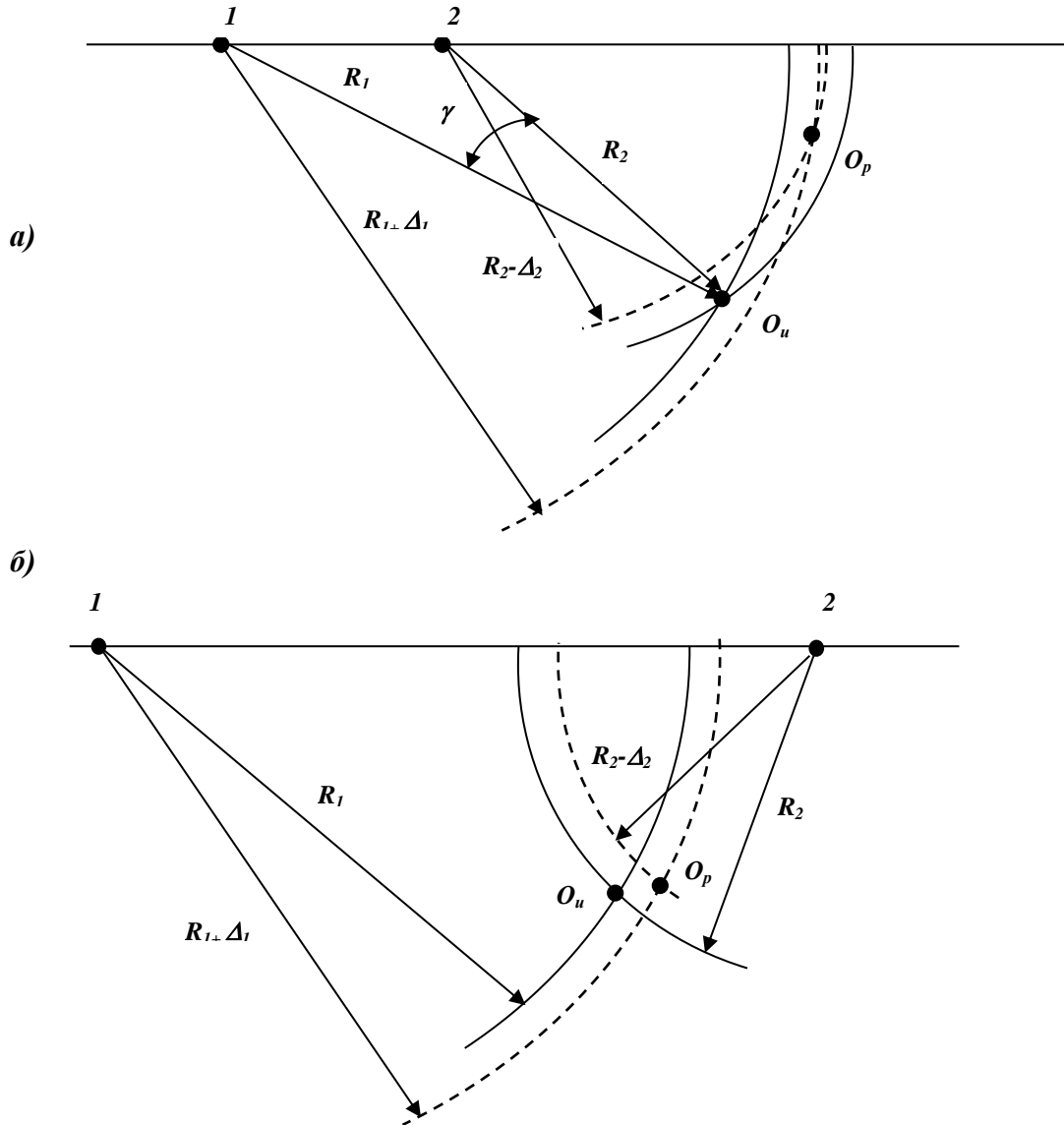


Рис.1. К пояснению причин возникновения ошибок в определении глубины очага землетрясения
Fig.1. To clarify the causes of errors in determining the depth of the earthquake source

Анализ рис. 1 показывает, что погрешность в определении глубины очага землетрясения тем выше, чем меньше угол γ . А это происходит, когда все сейсмодатчики находятся по одну сторону от очага землетрясения.

На рис. 1 а) приведен пример, когда оба сейсмодатчика находятся по одну сторону от очага землетрясения, а на рис. 1 б) по разные стороны.

Другой причиной возникновения аномальных ошибок является неверный выбор по сейсмограмме начала отсчета возникновения сейсмической волны.

По используемым сейсмологами методикам, при расчете координат очага землетрясения гипоцентр принимается за материальную точку, структура земли считается однородной, а скорости сейсмических волн считаются известными.

В работе приводится метод, позволяющий оценить скорости сейсмических волн по различным направлениям распространения и/или габариты очага землетрясения и за счет учета габаритов очага уменьшить ошибку в определении координат гипоцентра.

Для нахождения гипоцентра землетрясения используются данные скоростей сейсмических волн, разности времен прихода сейсмических волн на сейсмодатчики и ошибка в определении разности времен. По данным с ошибкой определяются координаты гипоцентра с использованием информации с различных комбинаций сейсмодатчиков. Обработкой полученного массива координат производится оценка скоростей сейсмической волн/или определяется пространственная форма очага землетрясения и координаты гипоцентра. По координатам гипоцентра корректируются разности времен пробега сейсмических волн и уточняются расстояния до сейсмодатчиков.

Методы исследования. При определении координат очага землетрясения время прихода волны определяется по сейсмограмме по фронту волны. Но данный метод приводит к ошибкам, связанным с определением глубины очага землетрясения.

Рассмотрим пример, когда два сейсмодатчика S_1 и S_2 , а также очаг землетрясения Z_H располагаются на вертикальной плоскости.

На рис. 2 приведен случай, когда форма очага землетрясения представляет собой шар. Очевидно, в этом случае волна до первого сейсмодатчика сначала дойдет до точки 1, в то же время как на второй сейсмодатчик из точки 2. Это приводит к тому, что расстояния R_1 и R_2 до очага землетрясения Z_H вычислены с ошибкой, и глубина очага определяется с погрешностью в точке Z_p

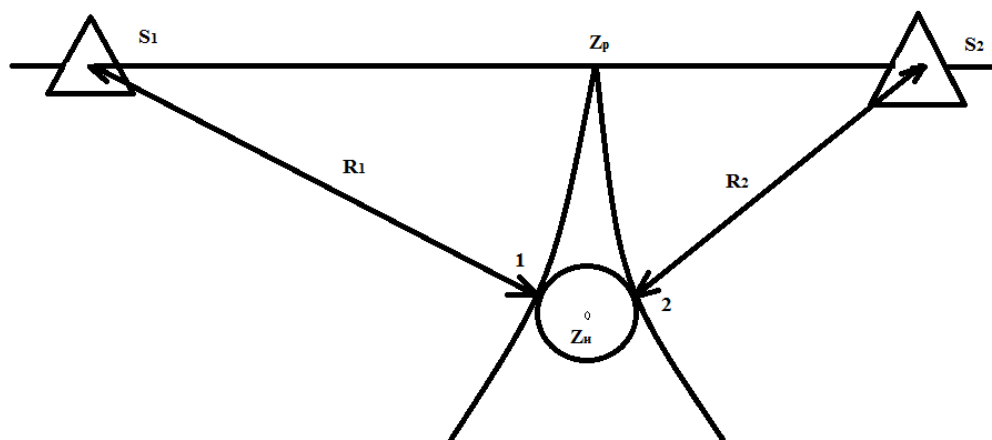


Рис. 2. Влияние размеров очага землетрясения на точность определения гипоцентра землетрясения

Fig. 2. The influence of the size of the earthquake focus on the accuracy of determining the hypocenter of the earthquake

Другой причиной неверного определения координат гипоцентра может быть неверное задание в исходных данных скоростей сейсмических волн для данного региона.

Тогда длина отрезка от точки 1 до Z_H будет являться образованной из-за неверно заданных скоростей для определения расстояния до сейсмодатчика S_1 , а отрезок от точки 2 до Z_H будет являться невязкой до сейсмодатчика S_2 .

Поэтому целесообразнее использование центра масс шара в качестве точки, от которой следует определять расстояние до сейсмодатчиков.

Для удобства рассуждений рассмотрим задачу на горизонтальной плоскости. В связи с тем, что методика решения задач невязки скоростей и формы очага идентичны, рассмотрим только задачу с определением формы очага.

Так как очаг землетрясения имеет размеры, то к каждому сейсмодатчику, фронт сейсмической волны приходит от ближайшей к нему точки очага, которая является локальным или глобальным максимумом кривой разрывов земной поверхности. При этом возможны два варианта пересечения двух окружностей (определяемых расстояниями от сейсмодатчиков до вышеупомянутых точек). В первом случае оба сейсмодатчика фиксируют сейсмическую волну от одного и того же максимума (от одной и той же точки), во втором случае – сейсмическая волна от двух различных максимумов(точек).

Во втором случае координаты пересечения двух окружностей будут располагаться на удалении от обоих локальных максимумов.

Для определения координат локальных максимумов необходимо ввести третий сейсмодатчик. Если третий сейсмодатчик расположен между первыми двумя, то в идеальном случае три окружности могут пересекаться в одной точке, что означает, что во все три сейсмодатчика сейсмическая волна пришла от одного и того же локального максимума (в реальности вместо точки будем иметь треугольник).

Если же образуются две точки пересечения, это означает, что обнаружены два локальных максимума. При этом одно из пересечений находится на одном из локальных максимумов. При расположении третьего сейсмодатчика слева или справа от двух других сейсмодатчиков будут фиксироваться соответственно левый и правый локальные максимумы, а также иные локальные максимумы, локализация которых возможна при большом количестве сейсмодатчиков.

Для перехода из плоскости в объем следует сделать несколько замечаний. Во-первых, идентифицировать сейсмические волны из нижней части очага землетрясения невозможно, т.к. первоначально фиксируются колебания с верхней или боковых участков очага землетрясения. Во-вторых, при больших расстояниях от очага землетрясения до сейсмодатчика задачу определения формы очага можно свести к решению задачи на плоскости, т.к. ошибки из-за радиуса не существенны. В-третьих, для получения информации о локальных максимумах гипоцентра, расположенных на вертикальной плоскости, целесообразно использовать удаленные от очага сейсмодатчики.

При определении координат очага в пространстве необходима информация от трех сейсмодатчиков. Принимая один из сейсмодатчиков за опорный, используя теорему пространственную Пифагора, можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} X^2 + Y^2 + Z^2 = R_1^2; \\ (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + Z^2 = R_2^2; \\ (X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + Z^2 = R_3^2. \end{cases} \quad (1)$$

где X, Y, Z – координаты очага землетрясения; X_2, Y_2, X_3, Y_3 – координаты сейсмодатчиков; R_1, R_2, R_3 - расстояния от сейсмодатчиков до ближайшего локального максимума очага землетрясения.

После некоторых преобразований (1) можно записать в виде:

$$\begin{cases} X = \frac{R_2^2 Y_3 - Y_3 X_2^2 - Y_2^2 Y_3 + Y_2 X_3^2 + Y_3^2 Y_2 + R_1^2 Y_2 - R_3^2 Y_2 - R_1^2 Y_3}{2(Y_2 X_3 - X_2 Y_3)}; \\ Y = \frac{X_3 Y_2^2 - R_2^2 X_3 + X_2^2 X_3 - X_2 Y_3^2 - X_3^2 X_2 - R_1^2 X_2 + R_3^2 X_2 + R_1^2 X_3}{2(Y_2 X_3 - X_2 Y_3)}; \\ Z = \sqrt{R_1^2 - X^2 - Y^2}. \end{cases} \quad (2)$$

где: $R_i = t_i V_1 V_2 / (V_1 - V_2)$

t_i - разность времени регистрации сейсмических волн на i -ом сейсмодатчике; V_1 и V_2 – скорости продольной и поперечной сейсмических волн.

Для примера зададим форму очага землетрясения, координаты гипоцентра и сейсмодатчиков. Глубину очага землетрясения примем равным 10 км. На рис. 3 показаны расположение эпицентра землетрясения и сейсмодатчиков (в скобках приведены координаты в километрах).

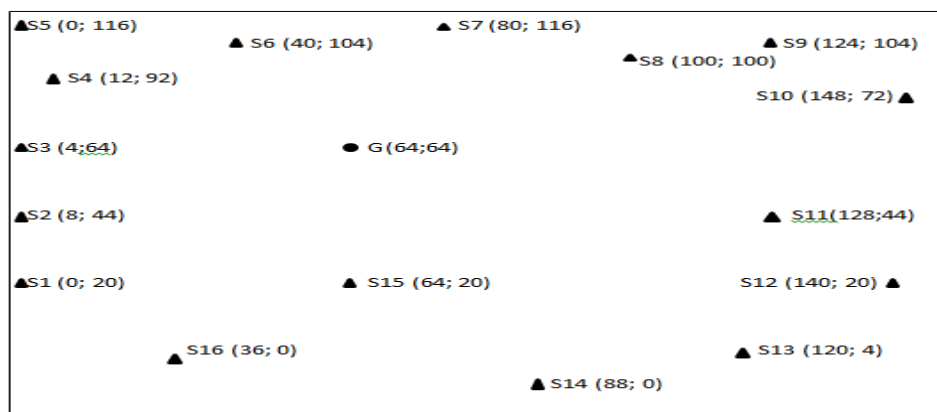


Рис. 3. Расположение эпицентра землетрясения и сейсмодатчиков
Fig.3. The location of the epicenter of earthquakes and seismic sensors

При этом форма и координаты землетрясения в горизонтальной плоскости приведены на рис. 4.

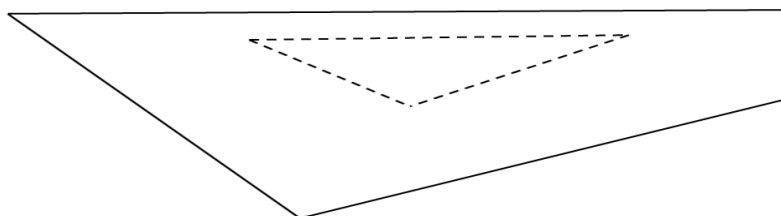


Рис. 4. Координаты и форма очага землетрясения
Fig. 4. The coordinates and shape of the earthquake source

Зададимся значениями ошибок в определении разностей времен прихода сейсмических волн и в соответствии работами [2-3] и по значениям разностей времен прихода сейсмических волн, используя данных трех ближайших, друг относительно друга, сейсмодатчиков, определим координаты очага землетрясения.

На рис. 5 приведены расчетные координаты X, Y и Z для различных комбинаций сейсмодатчиков. При этом ошибка в определении разностей времен пробега сейсмических волн принята равной 0.5 с. На рис. 5а приведены координаты проекций эпицентра землетрясения на ось абсцисс, полученные для различных комбинаций сейсмодатчиков.

На рис.5 выделены три участка, в которых вариации изменения координат очага не превышают значения 0,5 км (выделены пунктирной линией), эти три отрезка определяют границы очага землетрясения. Выделим эти промежутки на оси ординат (рис.5б) и на вертикальной оси (рис.5в).

Найдем средние арифметические значения координат точек, входящих в эти отрезки. Причем в случае выхода координаты какой-либо точки за выделенные пределы они исключаются из рассмотрения (например, отрицательный выброс четвертой комбинации сейсмодатчиков на одной из осей, необходимо исключать из рассмотрения эту комбинацию и на других осях системы координат).

На рис. 5 приведена форма очага землетрясения, в горизонтальной плоскости вычисленная по предложенному методу. Расчетные координаты очага крайних точек очага землетрясения (на рис.5 имеет вид треугольника) G1p (63.056;64.3228), G2p (64.5962;64.3056), G3(63.3070;63.9999)

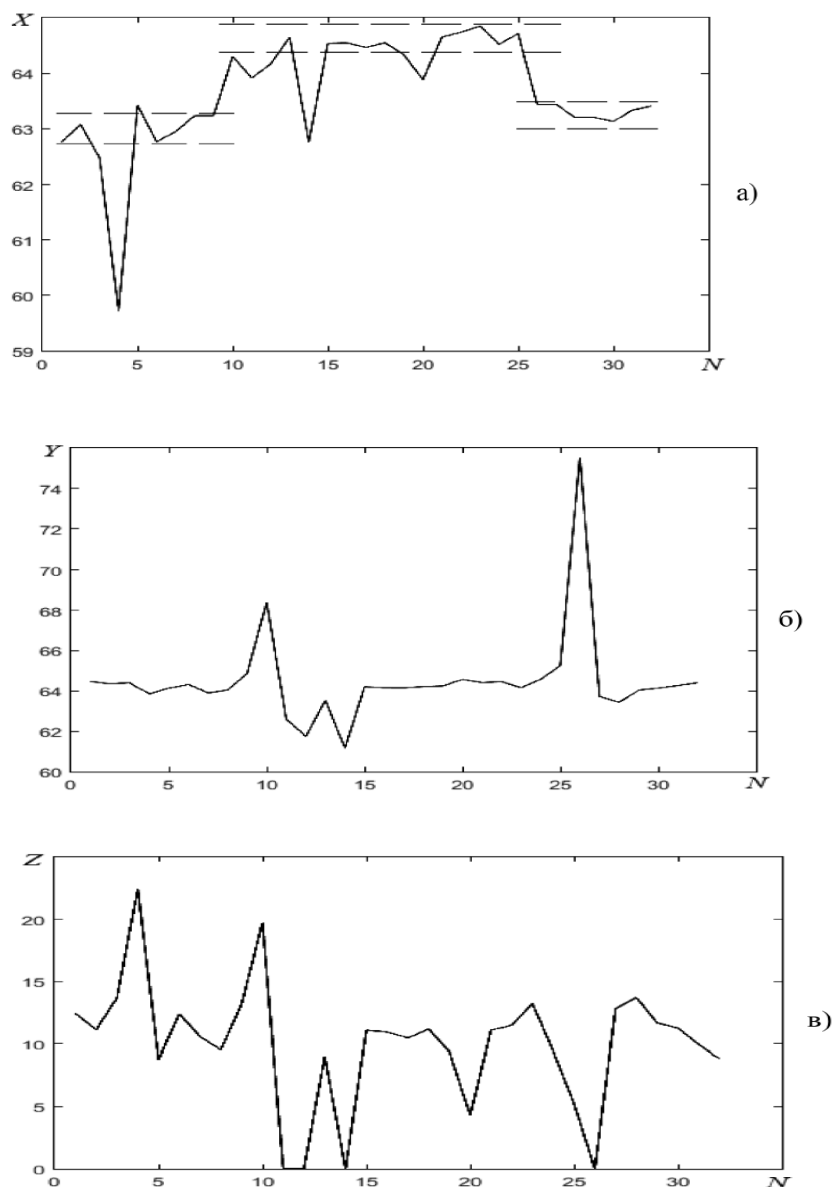


Рис.5. Координаты очага землетрясения, вычисленные для различных комбинаций сейсмодатчиков

Fig.5. The coordinates of the earthquake source calculated for various combinations of seismic sensors

Центр масс очага землетрясения рассчитанный по теореме Паппа-Гульдина — $X = 63,8225$ км, $Y = 64,6455$ км. Расчетная глубина очага землетрясения — $11,2041$ км.

Обсуждение результатов. В результате выполненной работы предложен метод, позволяющий оценить значения скоростей сейсмических волн по различным направлениям от очага землетрясения, оценить формы и координаты очага землетрясения.

Применение предложенного метода позволяет определять координаты очага землетрясения при отсутствии возможности определять их обычными методами, возникшей из-за специфического расположения очага и сейсмодатчика друг относительно друга (в случаях отсутствия пересечения сфер). Следует отметить, что после предварительного определения координат и формы очага землетрясения при наличии большого количества сейсмодатчиков имеется возможность уточнить координаты гипоцентра землетрясения с учетом рекомендаций приведенных в работах [2, 3].

Использование предложенного метода подразумевает наличие большого количества датчиков для определения сложной формы, очага землетрясения.

При решении задачи оптимального выбора сейсмодатчиков, для определения координат гипоцентра, скоростей сейсмических волн или формы очага землетрясения, задача решается методом итераций, что может потребовать больших затрат времени.

Вывод. Результаты исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Во избежание влияния формы очага землетрясения на определении его глубины на рис. 2 сейсмодатчики выбраны на значительном удалении от эпицентра землетрясения, (в данной статье в качестве формы очага рассмотрен плоский горизонтальный четырехугольник).
2. При расчете использован наихудший из вариантов расположения сейсмодатчиков [2] - по одну сторону от эпицентра и в непосредственной близости друг от друга.
3. На рис. 5 а), б) и в) большие всплески обусловлены захватом одним из сейсмодатчиков информации сейсмической волны от другого локального минимума.
4. На рис. 5 в) возникновение нулевых значений глубин очага землетрясения связаны с появлением комплексных корней при расчете.
5. Расстояние между заданными координатами эпицентра землетрясения (центра масс), и расчетными составляет 557,4 м, а разность глубин равна 1204,1 м.
6. Слияние локальных максимумов G2 и G3 на рис. 3, объясняется их относительно близким расположением, и большим разбросом ошибки в определении времен пробега сейсмических волн.

Библиографический список:

1. Шахриманьян М.Л., Нигметов Г.М., Сосунов И. В. Математическое моделирование как способ поддержки принятия решений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций // Каталог «Пожарная безопасность» — 2003. - С. 240-241.
2. Асланов Т.Г., Магомедов Х.Д., Мусаева У.А., Тагиров Х.Ю. Влияние пространственного расположения сейсмодатчиков на точность определения гипоцентра землетрясения // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. N.4 (43), 2016 Махачкала: ДГТУ, 2016. С. 73-84.
3. Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения с использованием комбинированного метода // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. N.2 (44), 2017 — Махачкала: ДГТУ, 2017. С. 118-125.
4. Асланов Г.К., Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г.. Ошибки в определении координат очага аномальных землетрясений. Системные технологии. 2018. № 28. С. 58—64.
5. Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б., Остапчук А.А. Сейсмогенная ширина разломной зоны // ДАН. 2011. Т. 437, № 2. С. 254-257.
6. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и области триггерного механизма возникновения землетрясений // Физическая мезомеханика. 2007. Т. 10, № 1 С. 25-37.
7. Садовский М.А., Кочарян Г.Г., Родионов В.Н. О механика блочного горного массива // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302, № 2. С. 306-307.
8. Соболев Г.А., Завьялов А.Д. О концентрационном критерии сейсмогенных разрывов // Докл. АН СССР. 1980. Т. 252, № 1. С. 69-71.
9. Grunthal G., Stromeyer D. The recent crustal stress field in Central Europe: Trajectories and finite element modeling // J. Geoph. Res. 1996. V. 80, № 8. P. 11805–11820.v.
10. Iinuma T., et al. Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0)
11. Refined by means of seafloor geodetic data // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. P. 0740.
12. Ikari M.J., Marone C., Saffer D.M., Kopf A.J. Slip weakening as a mechanism for slow earthquakes // Nature Geosci. 2013. V. 6. P. 468-472.
13. Jafari M.A. Spatial distribution of seismicity parameters in the Persian Plateau // EPS. 2013. V. 65. P. 863-869.
14. Kanamori H, Brodsky E. The physics of earthquakes // Rep.Prog.Phys. 2004. V. 67. P. 1429-1496.
15. Keylis-Borok V.I. On the estimation of the displacement in an earthquake source and source dimensions // Annals of Geophysics. 1959. V. 12, №2. P. 205–214.
16. Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Ostapchuk A.A. Seismic Picture of a Fault Zone. What Can Be Gained From the Analysis of Fine Patterns of Spatial Distribution of Weak Earthquake Centers? // Geodynam. Tectonophys. 2010. V. 1, № 4. P. 419–440.
17. Kocharyan G.G., Kulyukin A.A., Pavlov D.V. Specific dynamics of interblock deformation in the Earth's crust // Russian Geology and Geophysics. 2006. V. 47, №5. P. 669-683.

18. Kocharyan G.G., Vinogradov E.A., Gorbunova E.M., Markov V.K., Markov D.V., Pernik L.M. Hydrological Response of Underground Reservoirs to seismic Vibrations // *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. 2011. V. 47, № 12. P. 1071-1082
19. Powers P.M., Jordan T.H. Distribution of seismicity across strike-slip faults in California // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115. P. 05-305.
20. Shapiro S.A., Dinske C., Rothert E. Hydraulic-fracturing controlled dynamics of microseismic clouds // *Geophysical Research letters*. 2006. V. 33. L14312.
21. Reid H.F. The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906 // Report of the State Investigation Commission (2), Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C. 1910.
22. Rousset B., Barbot S., Avouac J.-P., Hsu Y.-J. Postseismic deformation following the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan: Implication for lower-crust rheology // *J. Geophys. Res.* 2012. V. 117. B12405.
23. Waldhauser F., Schaff D.P. Large-scale relocation of two decades of Northern California seismicity using cross-correlation and double-difference methods // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. B08311.
24. Касимова А.Г., Завойская И.Н. Ионосферный эффект вранчского землетрясения в Киеве, Геофизический журнал, 1989, т. II, N 1, с.76-80.
25. Мильнис М. Р. Метеорологические предвестники землетрясений, Известия АН СССР, Физика Земли, 1986, N 3, с.36-37.
26. Инструкция по составлению карт ожидаемых землетрясений, ИФЗ АН СССР, ИГ АН ГССР, М., 1987.
27. Развитие исследований в области современной геодинамики и прогноза землетрясений на территории УССР [Текст] : научное издание / А. В. Чекунов [и др.] // Сейсмопрогност. исслед. на территории УССР. - Киев, 1988. - С. 3-8
28. Распределение интенсивности сотрясений на территории Украины от Карпатского землетрясения 30 августа 1986 г. [Текст] : научное издание / Б. Г. Пустовитенко [и др.] // Сейсмол. бюл. Зап. террит. зоны Един. системы сейсм. наблюдений СССР, 1986 г. - Киев, 1989. - С. 132-135
29. Пулинец С.А., Лью Й.Я. Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью наземно-космических методов. Доклады конференции. Москва, 2-3 октября 1997. С.27-44.
30. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений // М.:Наука, 1992. 304 с.
31. Гохберг М.Б., Пилипенко В.А., Похотелов О.А. О сейсмических предвестниках в ионосфере // Физика Земли, 1983. Т.10. С.17-21.
32. Пулинец С.А., Боярчук К.А., Ломоносов А.М., Хегай В.В., Лю Й.Я. Ионосферные предвестники землетрясений: предварительный анализ данных критических частот foF2 наземной станции вертикального зондирования ионосферы Чунг-Ли (о. Тайвань). // Геомагнетизм и аэрономия, 2002. Т.42. №4. С.435-447.
33. Пулинец С.А., Легенька А.Д., Зеленова Т.И. Зависимость сейсмо-ионосферных вариаций в максимуме слоя F от местного времени // Геомагнетизм и аэрономия, 1998. Т.38. С.178-183.
34. Смирнов В.М. Вариации ионосферы в период землетрясений по данным навигационных систем //Электронный журнал "Исследовано в России", 2001. № 153. С.1759-1767.
35. Бондур В.Г., Смирнов В.М. Метод мониторинга сейсмоопасных территорий по ионосферным вариациям, регистрируемым спутниковыми навигационными системами // Доклады Академии наук, 2005. Т.402. №5. С.675-679.

References:

1. Shakhriyan'yan M.L., Nigmatov G.M., Sosunov I. V. Matematicheskoye modelirovaniye kak sposob podderzhki pri-nyatiya resheniy v sluchaye vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy // Katalog «Pozharnaya bezopasnost» — 2003. - S. 240-241. [Shakhriyan'yan M.L., Nigmatov G.M., Sosunov I.V. Mathematical modeling as a way to support decision-making in case of emergency situations // Fire Safety Catalog - 2003. - P. 240-241. (In Russ.)]
2. Aslanov T.G., Magomedov K.H.D., Musayeva U.A., Tagirov K.H.YU. Vliyaniye prostranstvennogo raspolozheniya seysmodat-chikov na tochnost' opredeleniya gipotsentra zemletryaseniya // Vestnik Dagestansko-go gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. N«4 (43), 2016 Makhachkala: DGTU, 2016. S. 73-84. [Aslanov T. G., Magomedov Kh. D., Musayeva U. A., Tagirov Kh. Yu. The influence of the spatial location of seismic sensors on the accuracy of determining the earthquake hypocenter // Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical science. N «4 (43), 2016 Makhachkala: DGTU, 2016. P. 73-84. (In Russ.)]
3. Aslanov T.G. Opredeleniye koordinat ochaga zemletryaseniya s ispol'zovaniyem kombiniro-vannogo metoda // Vestnik Dagestansko-go gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. N>2 (44), 2017 — Makhachkala: DGTU, 2017. — S. 118-125. [Aslanov T.G. Determining the coordinates of the earthquake source using the combined method // Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science. N2 (44), 2017 - Makhachkala: DGTU, 2017. - p. 118-125. (In Russ.)]
4. Aslanov G.K., Shakhtarin B.I., Aslanov T.G.. Oshibki v opredelenii koordinat ochaga ano-mal'nykh zemletryaseniya. — Sistemnyye tekhnologii. 2018. № 28. S. 58- 64. [Aslanov G.K., Shakhtarin B.I., Aslanov T.G. Errors in determining the coordinates of the source of anomalous earthquakes. - System technology. - 2018. - № 28. - p. 58-64. (In Russ.)]

5. Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Ostapchuk A.A. Seismogennaya shirina razlomnoy zony // DAN. 2011. T. 437, № 2. S. 254-257. [Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Ostapchuk A.A. Seismogenic width of the fault zone // DAN. 2011. T. 437, No. 2. P. 254-257. (In Russ.)]
6. Rebetskiy YU.L. Tektonicheskiye napryazheniya i oblasti trigger'nogo mekhanizma vozniknoveniya zemletryaseniy // Fizicheskaya mezomekhanika. 2007. T. 10, № 1 S. 25-37. [Rebetsky Yu.L. Tectonic stresses and areas of the trigger mechanism for the occurrence of earthquakes // Physical mezomechanika. 2007. V. 10, No. 1, pp. 25-37. (In Russ.)]
7. Sadovskiy M.A., Kocharyan G.G., Rodionov V.N. O mekhanika blochnogo gornogo massiva // Dokl. AN SSSR. 1988. T. 302, № 2. S. 306-307. [Sadovsky MA, Kocharyan GG, Rodionov V.N. On the mechanics of block rock mass, Dokl. Academy of Sciences of the USSR. 1988. T. 302, No. 2. S. 306-307. (In Russ.)]
8. Sobolev G.A., Zav'yalov A.D. O kontsentratsionnom kriterii seismogennykh razryvov // Dokl. AN SSSR. 1980. T. 252, № 1. S. 69-71. [Sobolev G.A., Zavyalov A.D. On the concentration criterion of seismogenic discontinuities, Dokl. Academy of Sciences of the USSR. 1980. T. 252, No. 1. S. 69-71. (In Russ.)]
9. Grunthal G., Stromeyer D. The recent crustal stress field in Central Europe: Trajectories and finite element modeling // J. Geoph. Res. 1996. V. 80, № 8. P. 11805–11820.v. (In Russ.)]
10. Iinuma T., et al. Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) (In Russ.)]
11. Refined by means of seafloor geodetic data // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. P. 0740.
12. Ikari M.J., Marone C., Saffer D.M., Kopf A.J. Slip weakening as a mechanism for slow earthquakes // Nature Geosci. 2013. V. 6. P. 468-472.
13. Jafari M.A. Spatial distribution of seismicity parameters in the Persian Plateau // EPS. 2013. V. 65. P. 863-869.
14. Kanamori H., Brodsky E. The physics of earthquakes // Rep.Prog.Phys. 2004. V. 67. P. 1429-1496.
15. Keylis-Borok V.I. On the estimation of the displacement in an earthquake source and source dimensions // Annals of Geophysics. 1959. V. 12, №2. P. 205–214.
16. Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Ostapchuk A.A. Seismic Picture of a Fault Zone. What Can Be Gained From the Analysis of Fine Patterns of Spatial Distribution of Weak Earthquake Centers? // Geodynam. Tectonophys. 2010. V. 1, № 4. P. 419–440.
17. Kocharyan G.G., Kulyukin A.A., Pavlov D.V. Specific dynamics of interblock deformation in the Earth's crust // Russian Geology and Geophysics. 2006. V. 47, №5. P. 669-683.
18. Kocharyan G.G., Vinogradov E.A., Gorbunova E.M., Markov V.K., Markov D.V., Pernik L.M. Hydrological Response of Underground Reservoirs to seismic Vibrations // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2011. V. 47, № 12. P. 1071-1082
19. Powers P.M., Jordan T.H. Distribution of seismicity across strike-slip faults in California // J. Geophys. Res. 2010. V. 115. P. 05-305.
20. Shapiro S.A., Dinske C., Rothert E. Hydraulic-fracturing controlled dynamics of microseismic clouds // Geophysical Research letters. 2006. V. 33. L14312.
21. Reid H.F. The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906 // Report of the State Investigation Commission (2), Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C. 1910.
22. Rousset B., Barbot S., Avouac J.-P., Hsu Y.-J. Postseismic deformation following the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan: Implication for lower-crust rheology // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. B12405.
23. Waldhauser F., Schaff D.P. Large-scale relocation of two decades of Northern California seismicity using cross-correlation and double-difference methods // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. B08311.
24. A.G.Kasymova, I.N.Zavoyskaya. Ionosfernyy effekt vranchesnogo zemletryaseniya v Kiyeve, Geofizicheskiy zhurnal, 1989, t. II, N 1, s.76-80. [Kasymova A.G., Zavoyskaya I.N. The ionospheric effect of a vranic earthquake, Geophysical Journal, 1989, Vol. II, N 1, pp.76-80. (In Russ.)]
25. M. R.Mil'nis. Metereologicheckeykiye predvestniki zemletryaseniy, Izvestiya AN SSSR, Fi-zika Zemli, 1986, N 3, s.36-37. [Milnys M.R. Meteorological precursors of earthquakes, News of the Academy of Sciences of the USSR, Earth Science, 1986, no. 3, pp.36-37. (In Russ.)]
26. Instruksiya po sostavleniyu kart ozhidayemykh zemletryaseniy, IFZ AN SSSR, IG AN GSSR, M., 1987. [Instructions for mapping the expected earthquakes, IPE USSR Academy of Sciences, IG AN GSSR, M., 1987. (In Russ.)]
27. Razvitiye issledovaniy v oblasti sovremennoy geodinamiki i prognoza zemletryaseniy na territorii USSR [Tekst] : nauchnoye izdaniye / A. V. Chekunov [i dr.] // Seismoprognoz. issled. na territorii USSR. - Kiyev, 1988. - S. 3-8 [Development of research in the field of modern geodynamics and earthquake prediction in the territory of the Ukrainian SSR [Text]: scientific publication / A.V. Chekunov [and others] // Seismoprognoz. researches on the territory of the USSR. - Kiev, 1988. - p. 3-8(In Russ.)]
28. Raspredeleniye intensivnosti sotryaseniy na territorii Ukrainy ot Karpatskogo zemle-tryaseniya 30 avgusta 1986 g. [Tekst] : nauchnoye izdaniye / B. G. Pustovitenko [i dr.] // Seysmol. byul. Zap. ter-rit. zony Yedin. sistemy seysm. nablyudeniy SSSR, 1986 g. - Kiyev, 1989. - S. 132-135 [Distribution of intensity of tremors on the territory of Ukraine from the Carpathian earthquake on August 30, 1986 [Text]: scientific publication / B. G. Pustov-

- itenko [and others] // Seismol. bullet Zap ter rit zone one seismic systems Observations of the USSR, 1986 - Kiev, 1989. pp. 132-135 (In Russ.)]
29. Pulinets S.A., Lyu Y.YA. Kratkosrochnyy prognoz katastroficheskikh zemletryaseny s pomo-shch'yu nazemno-kosmicheskikh metodov. Doklady konferentsii. Moskva, 2-3 oktyabrya 1997. S.27-44. [[Pulinets S.A., Lew Y.Ya. Short-term forecast of catastrophic earthquakes using ground-space methods. Conference reports. Moscow, October 2-3, 1997. P.27-44. (In Russ.)]
30. Liperovskiy V.A., Pokhotelov O.A., Shalimov S.L. Ionosfernyye predvestniki zemletryase-niy // M.:Nauka, 1992. 304 s. [Liperovsky V.A., Pokhotelov O.A., Shalimov S.L. Ionospheric precursors of earthquakes // Moscow: Nauka, 1992. 304 p. (In Russ.)]
31. Gokhberg M.B., Pilipenko V.A., Pokhotelov O.A. O seysmicheskikh predvestnikakh v ionosfere // Fizika Zemli, 1983. T.10. S.17-21. [Gokhberg, MB, Pilipenko, V.A., Pokhotelov, O.A. On seismic precursors in the ionosphere // Physics of the Earth, 1983. T.10. P.17-21. (In Russ.)]
32. Pulinets S.A., Boyarchuk K.A., Lomonosov A.M., Kheday V.V., Lyu Y.YA. Ionosfernyye predvest-niki zemletryaseny: predvaritel'nyy analiz dannykh kriticheskikh chastot foF2 nazemnoy stantsii verti-kal'nogo zondirovaniya ionosfery Chung-Li (o. Tayvan'). // Geomagnetizm i aeronomiya, 2002. T.42. №4. S.435-447. [S. Pulinets, A. Boyarchuk, A. Lomonosov, V. Kheday, V.Yu. Liu Ionospheric precursors of earthquakes: a preliminary analysis of the data on the foF2 critical frequencies of a ground station of a vertical probe sounding of the Chung-Li ionosphere (island of Taiwan). // Geomagnetism and Aeronomy, 2002. V.42. №4. P.435-447. (In Russ.)]
33. Pulinets S.A., Legen'ka A.D., Zelenova T.I. Zavisimost' seysmo-ionosfernykh variatsiy v maksimume sloya F ot mestnogo vremeni // Geomagnetizm i aeronomiya, 1998. T.38. S.178-183. [Pulinets SA, Legenka A.D., Zelenova T.I. Dependence of seismic-ionospheric variations at the maximum of the F layer on local time // Geomagnetism and Aeronomy, 1998. V.38. P.178-183. (In Russ.)]
34. Smirnov V.M. Variatsii ionosfery v period zemletryaseny po dannym navigatsionnykh si-stem //Elektronnyy zhurnal "Issledovano v Rossii", 2001. № 153. S.1759-1767. [Smirnov V.M. Variations of the ionosphere in the period of earthquakes according to the navigation systems // Electronic Journal "Researched in Russia", 2001. No. 153. P.1759-1767. (In Russ.)]
- Bondur V.G., Smirnov V.M. Metod monitoringa seysmoopasnykh territoriy po ionosfer-nym variatsiyam, registriruyemym sputnikovymi navigatsionnymi sistemami // Doklady Akademii nauk, 2005. T.402. №5. S.675-679.
35. [Bondur V.G., Smirnov V.M. The method of monitoring seismically dangerous territories by ionospheric variations recorded by satellite navigation systems // Doklady Akademii nauk, 2005. T.402. №5. P.675-679. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Асланов Гайдарбек Тагирбекович – доктор технических наук, профессор, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Асланов Тагирбек Гайдарбекович – кандидат технических наук, докторант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Мусаева Ума Алиевна – кандидат технических наук, доцент, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Information about the authors.

Gaidarbek K.Aslanov – Dr.Sci. (Technical), Prof., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Tagirbek G.Aslanov – Cand. Sci. (Technical), Doctoral cand., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Uma A.Musaeva - Cand. Sci. (Technical), Prof., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 26.11.2018.

Принята в печать 19.12.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 26.11.2018.

Accepted for publication 19.12.2018.

Для цитирования: Баламирзоев Н.Л. Построение интегрального показателя эффективности системы микрокредитования на основе анализа моделей качества жизни. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(4): 89-101. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-89-101

For citation: Balamirzoev N.L. Building an integral indicator of the effectiveness of the microcredit system based on the analysis of models of quality of life. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 89-101. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-89-101

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 657.6

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-89-101

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МИКРОКРЕДИТОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

Баламирзоев Н.Л.

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр.И.Шамиля,70, Россия,
e-mail: fisfia@dgtu.ru

Резюме. Цель. Политика государственной системы микрокредитования должна быть нацелена на достижения максимально возможного значения индикаторов $I_{Э.МФО}$, I_B , $I_{СВ}$ и $I_{НВ}$. Чем больше значение всех введенных индикаторов $I_{Э.МФО}$, I_B , $I_{СВ}$ и $I_{НВ}$, тем более эффективна с точки зрения государственных интересов система микрокредитования. **Метод.** Используются модели ВЛ и Динера для оценки качества жизни с точки зрения возможностей и целесообразности их применения для оценки эффективности системы микрокредитования. **Результат.** В данной работе проводится формирование состава показателей для оценки эффективности системы микрокредитования на основе показателей, рассматриваемых в предложенных моделях. Предложен вариант построения интегрального показателя для оценки эффективности, как системы микрокредитования в целом, так и отдельной микрофинансовой организации (МФО). Составлен перечень из 21 показателя, на основе которых построен интегральный показатель эффективности функционирования системы МФО. **Вывод.** Сформирован состав показателей для оценки эффективности системы микрокредитования. Сформированы соотношения для оценки значения интегрального показателя эффективности системы микрокредитования, как на уровне всего государства, так и на уровне отдельного региона, что позволяет сравнивать отдельные регионы и государства по степени эффективности в них систем микрокредитования.

Ключевые слова: микрокредитование, микрофинансовые организации, модель качества жизни, эффективность, микрозаймы, налоги, индикаторы, коэффициенты

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

**BUILDING AN INTEGRAL INDICATOR OF THE EFFECTIVENESS
OF THE MICROCREDIT SYSTEM BASED ON THE ANALYSIS OF MODELS
OF QUALITY OF LIFE**

Nazim L. Balamirzoev

*Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,
e-mail: fisfia@dgtu.ru*

Abstract Objectives The policy of the state microcredit system should be aimed at achieving the maximum possible value of the indicators I.MFO, IB, IFO and IBH. The greater the value of all of the introduced indicators IB, IFO, IB, IB and IB, the more effective from the point of view of state interests is the system of micro crediting. **Method.** The BLI and Diener models were used to assess the quality of life in terms of the possibilities and feasibility of using them to assess the effectiveness of the microcredit system. **Result.** In this paper, the formation of a composition of indicators to assess the effectiveness of the microcredit system based on the indicators considered in the proposed models is carried out. A variant is proposed for constructing an integral indicator for assessing the effectiveness of both the microcredit system as a whole and a separate microfinance organization (MFI). A list of 21 indicators was compiled, on the basis of which an integral indicator of the functioning of the MFO system was built. **Conclusion.** A set of indicators for evaluating the effectiveness of the microcredit system has been formed. Relations have been formed to estimate the value of the integral indicator of the effectiveness of the microcredit system, both at the level of the entire state and at the level of an individual region, which makes it possible to compare individual regions and states according to the degree of effectiveness of microcredit systems in them.

Key words: microcredit, microfinance institution, model of quality of life, efficiency, micro-loans, taxes, indicators, coefficients

Введение. Система микрокредитования в настоящее время является неотъемлемой составной частью финансовой системы большинства государств, несмотря на многочисленные претензии и нарекания к ней. Более того, эффективное развитие финансово-экономической системы современного государства в значительной степени опирается на институт микрокредитования – прежде всего, малого и среднего бизнеса. Поэтому, необходимо на основе современных организационно-правовых и финансово-экономических методов обеспечить максимальное соответствие системы микрокредитования требованиям и потребностям государства, включая население, поставив систему микрокредитования под адекватный требованиям государственный контроль и государственное регулирование.

Постановка задачи. Одним из важных этапов формирования указанной системы государственного контроля является формирование методологии комплексной оценки эффективности и приемлемости для населения существующей системы микрокредитования, и в случае ее несоответствия по заданным определенным (важным для государства) направлениям (параметрам) - принятие адекватных мер корректирования процесса функционирования этой системы.

Реализация данного подхода предполагает наличие показателей, по которым можно оценить все аспекты функционирования системы микрокредитования. Ранее автором в работе [1] было предложено при формировании набора показателей, по которым следует оценивать систему микрокредитования с точки зрения интересов государства отталкиваться от существующих обширных достижений в другой важной сферы государственной социально-экономической политики – сферы оценки качества жизни.

В работе [1] были проанализированы все основные методики оценки качества жизни с точки зрения возможностей и целесообразности их использования для оценки эффективности системы микрокредитования. По результат анализа были выбраны две из рассмотренных мето-

дик - модель VLI [2], [16], [17] и Динера [3], [18], [19]. Среди работ по данной тематике отметим [10], [11], а также работы автора [1], [12], [13].

Методы исследования. Модель оценки эффективности системы микрокредитования.

Прежде всего, проведем анализ показателей, входящих в модели модель VLI и Динера, и выберем наиболее приемлемые из показателей, видоизменив их применительно к задаче оценки эффективности функционирования системы микрокредитования. Одиннадцать показателей, входящих в модель VLI, были перечислены выше.

Первый из них «1. Жилищные условия» не входит в область исследования, и его опускаем.

Так же поступаем с показателями «3. Работа», «5. Образование», «6. Экология», «7. Гражданские права», «11. Работа/отдых».

Показатель «2. Доходы» разбиваем на два показателя, имеющих следующее содержание: 1) скорректированный чистый доход МФО после уплаты налогов за текущий год; 2) скорректированный чистый доход каждого из клиентов МФО, которые заключили с ней договор о микрокредитовании за отчетный период. Вопрос о формировании данных по указанным показателям обсуждается ниже.

Показатель «4. Общество» следует преобразовать в показатели, характеризующие степень социальной поддержки населения на основе МФО.

Показатель «8. Здоровье» следует учитывать в контексте ухудшения здоровья отдельных клиентов МФО из-за давления на них в связи с проблемами по выплате микрокредита, а также затрат на восстановление физического или психологического состояния здоровья.

Показатель «9. Удовлетворенность» следует видоизменить на показатель степени удовлетворенности/ неудовлетворенности результатами договорной работы с МФО.

Показатель безопасности следует разбить на два показателя: 1) безопасность клиентов МФО, в том числе и в случае невыполнения условий договора с МФО; 2) безопасность МФО, прежде всего, в отношении мошенничества отдельных клиентов и невыполнения условий договора. Таким образом, предварительно на основе анализа модели VLI получаем следующий список показателей:

1. Скорректированный чистый доход МФО после уплаты налогов за текущий год.
2. Скорректированный чистый доход каждого из клиентов МФО, которые заключили с ней договор о микрокредитовании за отчетный период (с учетом возможных штрафных выплат).
3. Участия МФО в системе социальной поддержка населения; в частности, а) среднее количество некоммерческих МФО на 100 000 граждан; б) объем микрофинансовых услуг, оказываемых населению микрофинансовыми организациями на некоммерческой основе; в) число физических лиц, малых и средних предприятий, других организаций (в том числе и государственного подчинения), получивших помощь от МФО на некоммерческой основе, а также результаты этой поддержки.
4. Ухудшение состояния здоровья отдельных клиентов МФО из-за проблем по выплатам микрокредита, а также затрат на восстановление физического или психологического состояния здоровья.
5. Степень удовлетворенности/ неудовлетворенности клиентов результатами договорной работы с МФО.
6. Безопасность клиентов МФО, в том числе и в случае невыполнения условий договора с МФО.
7. Безопасность МФО, прежде всего, в отношении мошенничества отдельных клиентов и невыполнения условий договора.

Полученный перечень в значительной степени покрывает перечисленные выше требования 1 – 5 к показателям микрофинансирования. Однако некоторые из требований недостаточно полно представлены; в частности, требования 2 по социальной значимости микрокредитования и требования 1 по глобальным экономическим показателям.

Поэтому рассмотрим также показатели, входящие в другие из перечисленных выше моделей.

Модель Динера оценки качества жизни опирается на следующие показатели. Основной индекс:

- 1) покупательная способность населения. Данный показатель предлагается видоизменить на среднее количество клиентов МФО на 10000 человек.
- 2) количество убийств. Предлагается заменить на количество тяжких преступлений, связанных с выполнением микрофинансовых договоров.
- 3) базовые физические потребности. Данный показатель не востребован.
- 4) уровень самоубийств. Заменить на показатель числа актов физического насилия и психологических заболеваний в связи с заключением договоров с МФО;
- 5) уровень грамотности. Данный показатель не востребован.
- 6) грубые нарушения прав человека. Предлагается заменить на количество противоправных действий в процессе выполнения договоров по микрокредитованию.
- 7) вырубка лесов. Данный показатель не востребован.

Расширенный индекс:

- 1) количество врачей на душу населения. Заменяем показателем числа МФО на 100000 человек;
- 2) уровень сбережений. Заменяем на показатель средний уровень микрозаймов.
- 3) доходы на душу населения. Данный показатель оставим без изменения;
- 4) личное благополучие (мироощущение) граждан. Заменяем на показатель «уровень положительных или отрицательных эмоций клиентов МФО и других граждан, имевших договорные отношения с МФО»;
- 5) процент посещающих колледж. Заменить на показатель «процент лиц, нуждающихся в кредитах».
- 6) степень неравенства и дифференциации доходов. Следует уточнить как показатель степени дифференциации доходов среди потенциальных клиентов МФО.
- 7) подписанные экологические договоры. Заменить на показатель «количество договоров по микрокредитованию на 10000 человек».

Таким образом, на основе анализа модели Динера выделено 10 показателей (нумерация показателей продолжает нумерацию выделенной совокупности показателей, полученных выше на основе модели VLI):

8. Среднее количество клиентов МФО на 10000 человек.
9. Количество тяжких преступлений, связанных с выполнением микрофинансовых договоров.
10. Число актов физического насилия и психологических заболеваний в связи с заключением и выполнением договоров с МФО.
11. Количество противоправных действий в процессе выполнения договоров по микрокредитованию.
12. Число МФО на 100000 человек.
13. Средний размер микрозаймов.
14. Уровень положительных или отрицательных эмоций клиентов МФО и других граждан, имевших договорные отношения с МФО.
15. Процент лиц, нуждающихся в микрокредитах.
16. Степень дифференциации доходов среди потенциальных клиентов МФО.
17. Количество договоров по микрокредитованию на 10000 человек.

Часть из полученных показателей близка к показателям, полученным на основе модели VLI; эти показатели необходимо либо объединить, либо более явно отделить.

Сформируем на основе 17 показателей, полученных выше на основе моделей VLI и Динера, единый перечень показателей (при необходимости дополнив их дополнительными пока-

зателями), который бы охватывал полноценно все пять требований к составу показателей эффективности функционирования системы микрокредитования.

Для этого проведем анализ состава показателей отдельно по каждому из указанных требований.

Требование 1. Наличие глобальных финансово-экономических показателей государственного и/или регионального уровня, а также финансово-экономических показателей системы микрокредитования. Среди выделенных выше показателей к данному требованию относятся:

1. Средний скорректированный чистый доход МФО после уплаты налогов за текущий год.

8. Среднее количество клиентов МФО на 10000 человек.

12. Число МФО на 100000 человек.

13. Средний размер микрозаймов.

15. Процент лиц, нуждающихся в микрокредитах.

16. Степень дифференциации доходов среди потенциальных клиентов МФО.

17. Количество договоров по микрокредитованию на 10000 человек.

Данный набор показателей не удовлетворяет свойству минимальности, так как, зная показатели 1 и 17 можно, а также процедуру взимания налогов можно найти значение показателя 13.

Также сильно коррелированы показатели 8 и 17; отношение показателей 17 и 8 указывает на среднее число договоров за регламентный промежуток времени, приходящихся на одного клиента. Поэтому в окончательный список показатели 13 и 8 не будут включены. Отметим также, что среди лиц, пользующихся услугами микрокредитования, можно выделить следующие основные категории: а) лица с малым доходом и бедные слои населения, у которых уровень доходов периодически приводит к ситуациям нехватки финансовых средств; б) представители молодежи, у которых систематически возникает потребность в дополнительных средствах; в) малый бизнес.

Требование 2. Социальные показатели, характеризующие количество физических и юридических субъектов, которым была оказана микрофинансовая помощь на некоммерческой основе.

3. Участия МФО в системе социальной поддержка населения; в частности, а) среднее количество некоммерческих МФО на 100 000 граждан; б) объем микрофинансовых услуг, оказываемых населению микрофинансовыми организациями на некоммерческой основе; в) число физических лиц, малых и средних предприятий, других организаций (в том числе и государственного подчинения), получивших помощь от МФО на некоммерческой основе, а также результаты этой поддержки.

Требование 3. Масштабы негативных результатов деятельности МФО.

4. Ухудшение состояния здоровья отдельных клиентов МФО из-за проблем по выплатам микрокредита, а также затрат на восстановление физического или психологического состояния здоровья.

6. Безопасность клиентов МФО, в том числе и в случае невыполнения условий договора с МФО.

Требование 4. Эмоциональное отношение к МФО на текущий момент времени со стороны всех субъектов, которые воспользовались услугами МФО.

5. Степень удовлетворенности/ неудовлетворенности клиентов результатами договорной работы с МФО.

Требование 5. Финансово-экономические показатели эффективности функционирования отдельных МФО, групп МФО.

Сюда входят показатели 1, 8, 13 и 17, включенную в группу показателей по требованию 1 и относящиеся в деятельности МФО, – эти показатели скорректированы с учетом данного требования.

1. Скорректированный чистый доход МФО после уплаты налогов за текущий год.
8. Количество клиентов МФО за отчетный период.
13. Средний размер микрозаймов в МФО.
17. Количество договоров по микрокредитованию в МФО.

2. Скорректированный чистый доход каждого из клиентов МФО, которые заключили с ней договор о микрокредитовании за отчетный период (с учетом возможных штрафных выплат).

7. Безопасность МФО, прежде всего, в отношении мошенничества отдельных клиентов и невыполнения условий договора.

Анализ приведенной совокупности показателей с точки зрения степени выполнения перечисленных пяти требований к ним, выявил следующие недостатки:

1) Нет показателей, отражающих состояние государственной финансовой сферы (по требованию 1). Показатели же, описывающие состояние сферы микрокредитования, плохо систематизированы, не позволяя оценить степень их полноты – как по требованию 1, так и по требованию 5.

2) Социальная составляющая деятельности МФО отражает не все возможные формы участия МФО в этой сфере и ограничена только деятельности некоммерческих МФО. В частности, возможно участие МФО в совместных проектах с физическими и юридическими лицами на принципах социального партнерства, что может также рассматриваться как одна из возможных форм социальной поддержки населения и малого бизнеса.

3) Показатели по требованиям группы 3 требуют большей детализации и конкретности.

4) В показателях по требованиям 4 необходимо отразить причины недовольства/удовлетворенности и масштабы потерь либо уровень положительного эффекта (если таковые имеются).

С учетом вышесказанного, проведем корректировку сформированного состава показателей.

В качестве глобальных финансовых показателей предлагается ввести следующие.

18. Средний финансовый доход на одного совершеннолетнего гражданина по различным категориям населения, дифференцированным по привлекательности для МФО.

19. Общий объем потенциально востребованных кредитных средств для различных категорий населения.

После корректировки содержания с учетом требования измеримости показателя, перепорядочивания и новой нумерации окончательно получаем следующий набор показателей – будем обозначать их буквой p с индексом, указывающим на его порядковый номер в приведенном ниже перечне показателей.

По требованию 1:

1. Средний финансовый доход на одного совершеннолетнего гражданина по различным категориям населения, дифференцированным по привлекательности для МФО (p_1). Наиболее привлекательные для МФО категории физических и юридических лиц указаны выше.

2. Общий объем потенциально востребованных кредитных средств для различных категорий населения (p_2).

3. Число МФО на 100000 человек (p_3).

4. Количество договоров по микрокредитованию на 10000 человек (p_4).

5. Средний скорректированный чистый доход МФО после уплаты налогов за текущий год (p_5).

6. Процент лиц, нуждающихся в микрокредитах, среди разных категорий населения (p_6). Показатель p_6 может быть дифференцирован по различным категориям, перечисленным выше, и затем интегрирован в виде смеси с весовыми коэффициентами, учитывающими количество клиентов по каждой категории.

7. Степень дифференциации доходов среди потенциальных клиентов МФО (p_7) с учетом среднего размера микрозайма по каждой категории.

По требованию 2:

8. Среднее количество некоммерческих МФО на 100 000 граждан (p_8).

9. Объем микрофинансовых услуг, оказываемых населению микрофинансовыми организациями на некоммерческой основе (p_9).

10. Число физических лиц, малых и средних предприятий, других организаций (в том числе и государственного подчинения), получивших помощь от МФО на некоммерческой основе (p_{10}).

11. Объем участия (в денежных единицах) МФО в совместных проектах с физическими и юридическими лицами на принципах социального партнерства (p_{11}).

По требованию 3:

12. Количество зафиксированных случаев ухудшения физических или психологических показателей состояния здоровья, включая кончины, клиентов МФО из-за проблем по выплатам микрокредита (p_{12}).

13. Число случаев судебного рассмотрения конфликтов между МФО и ее клиентами (p_{13}), в том числе успешного для клиентов разрешения этих конфликтов (p_{14}).

По требованию 4:

14. Число клиентов МФО, неудовлетворенных результатами сотрудничества с МФО (p_{15}).

Требование 5.

15. Скорректированный чистый доход конкретного МФО после уплаты налогов за текущий год (p_{16}).

16. Количество клиентов конкретного МФО за отчетный период (p_{17}).

17. Средний размер микрозаймов в конкретном МФО (p_{18}).

18. Количество договоров по микрокредитованию в конкретном МФО за заданный контрольный промежуток времени (p_{19}).

19. Число случаев (p_{20}) и объем потерянных финансовых средств в конкретном МФО (p_{21}) в результате невыполнения клиентами договорных обязательств, в том числе в результате мошенничества.

20. Объем финансовых средств (p_{22}), затраченных конкретным МФО для поддержки населения и бизнеса на некоммерческой основе.

Ниже для простоты обозначения показателей p_{16} - p_{22} , введенные для характеристики конкретного МФО, будут использоваться также для характеристики типовых МФО.

Обсуждение результатов. Таким образом, сформирован перечень из 21 показателя, на основе которых необходимо построить интегральный показатель эффективности функционирования системы МФО.

Для построения соотношения, которое позволило бы получить значение интегрального показателя, разделим все перечисленные выше показатели на следующие три группы:

1. Важные показатели, малое значение любого из которых при высоких значениях остальных показателей приводит к малому значению интегрального показателя.

2. Группы показателей средней важности, когда отдельные выбросы значений в группе не должны определять общее значение среднего показателя по группе.

3. Группы показателей малой важности, когда важна величина среднего значения по всей группе, в то время как в самой группе могут быть сколь угодно малые или большие значения отдельных показателей.

К первой группе отнесем следующие показатели:

p_5 – чистый доход МФО, так как при низком доходе вся система микрокредитования становится бесперспективной;

p_6 – процент юридических и физических лиц каждой категории, нуждающихся в кредитах; при малом числе потенциальных клиентов система микрокредитования не представляет интереса;

Особое внимание следует обратить на показатели p_9 либо p_{10} , которые в случае, если система микрокредитования рассматривается как социально-экономический (а не чисто экономический) проект, по крайней мере, один из этих показателей должен быть включен в первую группу. То же самое следует сказать о показателе p_{12} . Ниже мы относим показатели p_9 и p_{12} к первой группе.

Показатели второй группы разобьем на микрогруппы таким образом, чтобы совокупность показателей каждой микрогруппы представляла собой важный совокупный показатель, малое значение которого приводит к малости значения индикатора эффективности системы МФО в целом.

В первую микрогруппу второй группы включим следующие показатели, характеризующие общее состояние системы микрокредитования в стране:

p_2 - характеризует потенциальную востребованность в кредитных средствах;

p_3 – удельное количество МФО в государстве (либо в регионе);

p_4 – удельный объем договоров по микрокредитованию;

Во вторую микрогруппу второй группы включим следующие показатели, характеризующие несовершенство системы МФО в стране и ее проблемность:

p_{13} - число случаев судебного рассмотрения конфликтов между МФО и ее клиентами;

p_{14} – число случаев успешного для клиентов разрешения конфликтов с МФО при судебном рассмотрении;

p_{15} – число неудовлетворенных клиентов МФО;

p_{20} – удельное число договоров по микрокредитованию, неудачных для МФО, усредненное по всем МФО с учетом объема их операций и социальной значимости МФО;

p_{21} – объем финансовых средств, потерянных в МФО в результате невыполненных обязательств со стороны клиентов;

В третью микрогруппу включим показатели, характеризующие социально-экономическую систему МФО:

p_8 - удельное число некоммерческих МФО;

p_{10} – число юридических и физических лиц, получивших помощь от МФО на некоммерческой основе;

p_{11} - объем участия МФО в совместных проектах с физическими и юридическими лицами на принципах социального партнерства.

p_{16} - средний чистый доход одного МФО за контрольный период, усредненный по всем МФО с учетом социальной значимости МФО;

p_{17} – среднее число клиентов одного МФО за контрольный период, усредненный по всем МФО с учетом социальной значимости на рынке микрофинансовых услуг;

p_{18} - средний размер микрозайма в одном МФО за контрольный период, усредненный по всем МФО с учетом социальной значимости на рынке микрофинансовых услуг;

p_{19} – среднее число договоров по микрокредитованию в одном МФО за заданный контрольный промежуток времени, усредненный по всем МФО с учетом их социальной значимости на рынке микрофинансовых услуг;

p_{22} – объем финансовых средств, затраченных в типовом МФО для оказания поддержки на некоммерческой основе.

Отметим, что часть показателей третьей микрогруппы схожи с отдельными показателями первой и второй групп.

К третьей группе отнесем все остальные показатели, именно:

p_1 – средний доход на одного гражданина; он может быть очень малым, но система микрокредитования при этом активно функционировать, как это было (и есть сейчас) в Бангладеш на момент возникновения системы микрокредитования [8], [14], [15], [20].

p_7 - средний доход среди потенциальных клиентов МФО с учетом дифференциации клиентов МФО.

Опишем теперь соотношения, на основе которых будут вычисляться интегральные показатели по каждой группе и каждой микрогруппе.

Обозначим $I_{Э.МФО}$ интегральный показатель (индикатор) эффективности системы микрокредитования с точки зрения интересов государства, I_B – индикатор по первой группе наиболее важных показателей, I_{CB} – индикатор показателей второй группы (средней важности), I_{HB} – индикатор показателей третьей группы, индивидуальная важность которых несущественна, а интерес представляет только их интегральное значение.

Примем, что чем больше значение всех введенных индикаторов $I_{Э.МФО}$, I_B , I_{CB} и I_{HB} , тем более эффективна с точки зрения государственных интересов система микрокредитования. Таким образом, политика государственной системы применительно к сфере микрокредитования должна быть нацелена на достижения максимально возможного значения индикаторов $I_{Э.МФО}$, I_B , I_{CB} и I_{HB} . Перечислим еще ряд требований к введенным индикаторам.

Так как малые значения каждой из перечисленных трех групп должно приводить к малому интегрального показателя $I_{Э.МФО}$, то предлагается следующее выражение для вычисления интегрального показателя $I_{Э.МФО}$:

$$I_{Э.МФО} = (I_B)^{a_B} \cdot (I_{CB})^{a_{CB}} \cdot (I_{HB})^{a_{HB}} \quad (1)$$

где a_B , a_{CB} , a_{HB} – коэффициенты относительной важности каждой из трех групп показателей. Для обеспечения одинакового уровня значений всех индикаторов рекомендуется пронормировать эти коэффициенты таким образом, чтобы их среднее значение равнялось единице, то есть разделить каждый из этих коэффициентов (a_B , a_{CB} , a_{HB}) на сумму $a_B + a_{CB} + a_{HB}$. Анализ возможных значений коэффициентов a_B , a_{CB} , a_{HB} проводится ниже.

Далее, улучшение значение каждого из выбранных выше показателей должно приводит к увеличению значения того индикатора, в группу (или микрогруппу) которого входит данный показатель – обозначим его через P . Однако, для ряда показателей улучшение их значение фактически означает уменьшение их величины; например, для показателя p_{15} числа неудовлетворенных клиентов МФО. В этом случае зависимость соответствующего индикатора I от рассматриваемого показателя P должна быть убывающей. Для обеспечения данного требования можно вместо показателя P рассматривать либо величину $(P^{Ид} - P)$, где $P^{Ид}$ есть идеальное значение показателя P , либо к величине $\frac{1}{1+P}$, где число «1» в знаменателе добавлено для того,

чтобы избежать ситуации деления на нуль, когда $P = 0$. Отметим, что для ряда показателей оценка идеального значения $P^{Ид}$ представляет определенную проблему – в этом случае более предпочтительным оказывается второй вариант.

Еще одна проблема связана с тем, что перечисленные выше показатели имеют в целом разные единицы измерения, и поэтому их одновременное использование в различных математических выражениях в составе функций, используемых для вычисления значений индикаторов, некорректно. Поэтому ниже рассматривается задачи о переходе от абсолютных значений базовых показателей, перечисленных выше, к их относительным (безразмерным) вариантам, которые и предполагается использовать при вычислении значений индикаторов.

Рассмотрим теперь процедуру вычисления каждого из индикаторов I_B , I_{CB} , I_{HB} внутри группы.

Поскольку каждый из индивидуальных показателей, входящих в первую группу, является критичным, то индикатор I_B предлагается вычислить по формуле:

$$I_B = (p_5)^{b_1} \cdot (p_6)^{b_2} \cdot (p_9)^{b_3} \cdot (p_{12})^{b_4} \quad (2)$$

где коэффициенты важности b_1 , b_2 , b_3 , b_4 нормируются таким образом, чтобы их сумма равнялась единице, то есть делятся на $b_5 + b_6 + b_9 + b_{12}$.

Так как показатели второй группы разбиты на три микрогруппы, каждая из которых критична (то есть малое значения показателя по любой микрогруппе должно приводить к малому значению всего индикатора I_{CB}), то по аналогии с вышесказанным предлагается следующее соотношение для вычисления показателя I_{CB} :

$$I_{CB} = (I_{MG}^{(1)})^{c_1} \cdot (I_{MG}^{(2)})^{c_2} \cdot (I_{MG}^{(3)})^{c_3} \quad (3)$$

где коэффициенты важности c_1, c_2, c_3 показателей каждой из микрогрупп также нормируются их суммой.

Рассмотрим теперь возможные метод оценки индикаторов $I_{MG}^{(1)}, I_{MG}^{(2)}$ и $I_{MG}^{(3)}$. Основное требования к зависимости этих индикаторов от базовых показателей, входящих в соответствующие микрогруппы, уменьшение зависимости данных индикаторов от больших выбросов отдельных значений базовых показателей. Линейные выражения не обеспечивают выполнение данного требования. Поэтому предлагаются следующие степенные выражения для индикатора p_2, p_3 и p_4 :

$$I_{MG}^{(1)} = \sqrt[n]{\frac{Q_1 p_2^n + Q_2 p_3^n + Q_3 p_4^n}{3}} \quad (4)$$

где $n > 1$ – натуральное число, Q_1, Q_2, Q_3 – коэффициенты, учитывающие важность показателей p_2, p_3 и p_4 в микрогруппе, и выполнены условия нормировки $(Q_1 + Q_2 + Q_3)/3 = 1$, сохраняющие масштаб значений суммы при разном числе элементов в группе; число «3» указывает на число базовых показателей в микрогруппе. Отметим, как вытекает из содержания показателей p_2, p_3 и p_4 , зависимость индикатора $I_{MG}^{(1)}$ от этих базовых показателей позитивна, то есть рост значений этих показателей приводит к росту индикатора $I_{MG}^{(1)}$, и нет необходимости в преобразовании выражений для этих показателей. Вычислительные эксперименты показывают, при переходе от значения $n = 3$ к значению $n = 4$ величина индикатора $I_{MG}^{(1)}$ изменяется.

Аналогичным образом выписываются выражения для индикаторов $I_{MG}^{(2)}$ и $I_{MG}^{(3)}$. Для индикатора $I_{MG}^{(2)}$:

$$I_{MG}^{(2)} = \sqrt[3]{\frac{R_1 \left(\frac{1}{1+p_{13}}\right)^3 + R_2 p_{14}^3 + R_3 \left(\frac{1}{1+p_{15}}\right)^3 + R_4 \left(\frac{1}{1+p_{20}}\right)^3 + R_5 \left(\frac{1}{1+p_{21}}\right)^3}{5}} \quad (5)$$

где R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 – весовые коэффициенты, учитывающие важность каждого из базовых показателей во второй микрогруппе. В (5) учтена негативная зависимость индикатора $I_{MG}^{(2)}$ от базовых показателей p_{13}, p_{15}, p_{20} и p_{21} . При этом, аналогично предыдущему случаю, выполняется следующее условие нормировки: $(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)/5 = 1$, позволяющее обеспечить относительную независимость оценки от числа элементов в группе. Отметим, что не полностью понятен характер зависимости индикатора $I_{MG}^{(2)}$ от показателя p_{14} , но в первом приближении предполагается, что чем успешнее для клиентов МФО противоборство с МФО, тем более приемлемо содержание условия предоставления микрокредита.

Для индикатора $I_{MG}^{(3)}$ аналогичным образом получаем выражение

$$I_{MG}^{(1)} = \sqrt[3]{\frac{S_1 p_8^3 + S_2 p_{10}^3 + S_3 p_{11}^3 + S_4 p_{16}^3 + S_5 p_{17}^3 + S_6 p_{18}^3 + S_7 p_{19}^3 + S_8 p_{22}^3}{8}} \quad (6)$$

где $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$ – весовые коэффициенты, учитывающие важность каждого из базовых показателей в третьей микрогруппе, и выполнено условие нормировки $(S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8)/8 = 1$.

Наконец, показатели третьей группы, описывающие степень выгодности системы МФО для населения, предлагается оценить их средним значением:

$$I_{HB} = \frac{p_1 + p_7}{2} \quad (7)$$

Соотношения (1) – (7) позволяют оценить степень эффективности и приемлемости для государства или конкретного региона микрофинансовой сферы, а также сравнивать различные регионы и страны по степени эффективности микрофинансовой деятельности. Однако эти соотношения включают 24 константы, значения которых необходимо указать для практической реализации разработанной процедуры. Кроме того, необходимо описать источники и способы оценки значений базовых показателей. Эти вопросы будут рассмотрены автором в последующих работах.

Вывод. В работе получены следующие результаты:

1. На основе анализа показателей, используемых в выявленных ранее автором моделях оценки качества жизни, сформирован состав показателей оценки эффективности системы микрокредитования. Выявленные показатели разбиты на три группы, вторая группа разбита на три подгруппы.

3. Сформированы соотношения для оценки значения интегрального показателя эффективности системы микрокредитования, как на уровне всего государства, так и на уровне отдельного региона, что позволяет сравнивать отдельные регионы и государства по степени эффективности в них систем микрокредитования.

Одним из наиболее важных продолжений данного исследования является проведение практических оценок эффективности системы микрокредитования для нескольких регионов, сравнение и анализ полученных результатов.

Библиографический список:

1. Баламирзоев Н.Л. Формирование состава критериев оценки деятельности микрофинансовой организации на основе анализа показателей в моделях качества жизни. Вестник АГТУ. Серия Экономика. - 2018. -№3.- С.133-144.
2. <http://gtmarket.ru/news/2014/07/24/6843>
3. Diener E., A Value Based Index for Measuring National Quality of Life. – Social indicators research : an international and interdisciplinary journal for quality-of-life measurement, Vol.16 (1995), Iss:2, Pg. 107-127.
4. Muturi P., M Assessing Institutional Characteristics on Microcredit default in Kenya: a Comparative Analysis of Microfinance Institutions and Financial Intermediaries, Journal of Education and Practice www.iiste.org Vol.7, No.18, 2016.
5. Addo C. K.& Twum S.B. (2013), sustainability of Microfinance in Developing Countries though come Credit Risk Management: Evidence from Business Experience, Purpose of Loan, Long Term, Profit Maximization Motive, Global Journal Finance and Banking Issues (7) 9 – 18.
6. Abrahams, J. and D. von Stauffenberg (2007). Are public development institutions crowding out private investment in microfinance? Working Paper, MicroRate.
7. Basu J.C. and Woller G. (2004). Microfinance a comprehensive review of existing literature, Journal of Entrepreneurial Finance and Business Ventures, 9(1), pp. 1-26.
8. Evangelista, R. (2000). Sectorial patterns of Technological Change in Services, Economics of Innovation. Economics of Innovation and New Technology, 9, 183–221.
9. Fersi, M. and Boujelbéne, M. (2016). The Determinants of the Performance and the Sustainability of Conventional and Islamic Microfinance Institutions.
10. Царьков В., Сапаров С. Аналитика бизнеса микрофинансовых компаний. /«Microfinance+», 2013, №3.<http://www.cfin.ru/finanalysis/banks/microfinance.shtml>
11. Ходжаева М.Я. К вопросу о развитии теории микрокредитования // В сб. Современные аспекты управления предприятием и развитие банковского дела: тенденции, проблемы, перспективы. – М., 2007, с. 345 – 349.
12. Баламирзоев Н. Л. Формирование стратегии повышения конкурентоспособности предприятия сферы услуг. Казанский экономический вестник. – 2017. - №5 (31). – С. 33-36.
13. Баламирзоев Н. Л. Микрофинансирование как возможность выхода на рынок субъектов малого бизнеса. Кант. - №2 (23). - 2017. – С.106-108.
14. Юнус Мухаммад Алан Жоли Создавая мир без бедности. Социальный бизнес и будущее капитализма. – М.: Альпина Паблишер, 2010 г. – 312 с.
15. Аналитическая записка о рынке микрофинансирования и «займов до зарплаты» в России, Предлагаемые меры по совершенствованию государственного регулирования в целях улучшения защиты прав потребителей и повышения прозрачности рынка // Российский микрофинансовый центр (РМЦ), 2013.
16. Буркова А. Ю. Зарубежный опыт микрофинансирования // Управленческий учет и финансы, 02(22)2010.

17. Итоги 2012 года для рынка МФО//Единая база займов МФО России – www.microcredit-rf.ru, 2013.
18. Каурова Н. Банки и микрофинансовые организации: кто первым придет на помощь малому бизнесу // Банковское кредитование, №4(44) 2012
19. Криворучко С., Абрамова М., Мамута М., Тенетник О., Шакер И. Микрофинансирование в России // Центр исследований платежных систем и расчетов, Москва 2013, стр. 66-67, 90-100, 131-132.
20. Методическое пособие «Организация деятельности микрофинансовых организаций» // Национальный союз некоммерческих организаций финансовой взаимопомощи, выпуск 2, 2011.

References:

1. Balamirzoyev N.L. Formirovaniye sostava kriteriyev otsenki deyatel'nosti mikrofinansovoy organizatsii na osnove analiza pokazateley v modelyakh kachestva zhizni. Vestnik AGTU. Seriya Ekonomika. - 2018. -№3.- S.133-144. [Balamirzoev N.L. Formation of the composition of criteria for evaluating the activities of a microfinance organization based on the analysis of indicators in models of quality of life. Bulletin of ASTU. Economy series. - 2018. -№3.- P.133-144. (In Russ.)]
 2. <http://gtmarket.ru/news/2014/07/24/6843>(In Russ.)]
 3. Diener E., A Value Based Index for Measuring National Quality of Life. - Social indicators research: an international and interdisciplinary journal for quality of life, Vol.16 (1995), Iss: 2, Pg. 107-127.
 4. Muturi P., M Assessing Institutional Characteristics of Micro-Credit in Kenya: a Comparative Analysis of Microfinance Institutions and Financial Intermediaries, Journal of Education and Practice www.iiste.org Vol.7, No.18, 2016.
 5. Addo C. K. & Twum S.B. (2013), Credit Risk Management, though it came to the credit risk management: Evidence from Business Expertise, Long Term, Profit Maximization Motive, Global Journal of Finance and Banking Issues (7) 9 - 18.
 6. Abrahams, J. and D. von Stauffenberg (2007). Are public development institutions crowding out private micro-finance? Working Paper, MicroRate.
 7. Basu J.C. and Woller G. (2004). Microfinance, Journal of Environmental Finance and Business Ventures, 9 (1), pp. 1-26
 8. Evangelista, R. (2000). Sectorial patterns of Technological Change in Services, Economics of Innovation. Economics of Innovation and New Technology, 9, 183-221.
 9. Fersi, M. and Boujelbéne, M. (2016). The Determinants of the Sustainability of Constitutional and Islamic Microfinance Institutions.
 10. Tsar'kov V., Saparov S. Analitika biznesa mikrofinansovykh kompaniy. /«Микрофинанс+», 2013, №3. <http://www.cfin.ru/finanalysis/banks/microfinance.shtml> [Tsarkov V., Saparov S. Analysis of the business of microfinance companies. / “Microfinance +”, 2013, №3. <http://www.cfin.ru/finanalysis/banks/microfinance.shtml>(In Russ.)]
 11. Khodzhayeva M.YA. K voprosu o razvitii teorii mikrokreditovaniya // V sb. Sovremennyye aspekty upravleniya predpriyatiyem i razvitiye bankovskogo dela: tendentsii, problemy, perspektivy. – M., 2007, s. 345 – 349. [Khodjaeva M.Ya. To the question of the development of the theory of microcrediting // In coll. Modern aspects of enterprise management and the development of banking: trends, problems and prospects. - M., 2007, p. 345-349. (In Russ.)]
 12. Balamirzoyev N. L. Formirovaniye strategii povysheniya konkurentosposobnosti predpriyatiya sfery uslug. Kazanskiy ekonomicheskyy vestnik. 2017. №5 (31). S. 33-36. [Balamirzoev N. L. Formation of a strategy to improve the competitiveness of enterprises in the service sector. Kazan economic bulletin. 2017. №5 (31). p. 33-36. (In Russ.)]
 13. Balamirzoyev N. L. Mikrofinansirovaniye kak vozmozhnost' vykhoda na rynek sub"yektov malogo biznesa. Kant. - №2 (23). - 2017. – S.106-108. [Balamirzoev N. L. Microfinance as an opportunity for small businesses to enter the market. Kant. №2 (23). 2017. p.106-108. (In Russ.)]
 14. Yunus Mukhammad Alan Zholi Sozdavaya mir bez bednosti. Sotsial'nyy biznes i budushcheye kapitalizma. – M.: Alpina Publisher, 2010 g. – 312 s. [Yunus Muhammad Alan Joly Creating a world without poverty. Social business and the future of capitalism. - M. : Alpina Publisher, 2010 - 312 p. (In Russ.)]
 15. Analiticheskaya zapiska o rynke mikrofinansirovaniya i «zaymov do zarplaty» v Rossii, Pred-lagayemye mery po sovershenstvovaniyu gosudarstvennogo regulirovaniya v tselyakh uluchsheniya zashchity prav potrebiteley i povysheniya prozrachnosti rynka // Rossiyskiy mikrofinansovyy tsentr (RMTS), 2013. [Analytical note on the microfinance market and “payday loans” in Russia, Proposed measures to improve government regulation in order to improve consumer protection and increase market transparency // Russian Microfinance Center (RMC), 2013. (In Russ.)]
 16. Burkova A. YU. Zarubezhnyy opyt mikrofinansirovaniya // Upravlencheskiy uchët i finansy, 02(22)2010. [Burkova A. Yu. Foreign Microfinance Experience // Management Accounting and Finance, 02 (22) 2010. (In Russ.)]
 17. Itoги 2012 goda dlya rynka MFO//Yedinaya baza zaymov MFO Rossii – www.microcredit-rf.ru, 2013. [Results of 2012 for the MFI market // Single MFI of Russia loan base - www.microcredit-rf.ru, 2013. (In Russ.)]
 18. Kaurova N. Banki i mikrofinansovyie organizatsii: kto pervym pridet na pomoshch' malomu biz-nesu // Bankovskoye kreditovaniye, №4(44) 2012 [Kaurova N. Banks and microfinance organizations: who will be the first to help the small business I carry // Bank lending, №4 (44) 2012(In Russ.)]
 19. Krivoruchko S., Abramova M., Mamuta M., Tenetnik O., Shaker I. Mikrofinansirovaniye v Ros-sii // Tsentr issledovaniy platezhnykh sistem i raschetov, Moskva 2013, str. 66-67, 90-100, 131-132. [Krivoruchko S., Abramova M.,

Mamuta M., Tenetnik O., Shaker I. Microfinance in Russia // Center for the Research of Payment Systems and Settlements, Moscow 2013, pp. 66-67, 90-100, 131- 132. (In Russ.)]

20. Metodicheskoye posobiye «Organizatsiya deyatelnosti mikrofinansovykh organizatsiy» // Natsio-nal'nyy so-yuz nekommercheskikh organizatsiy finansovoy vzaimopomoshchi, vypusk 2, 2011. [Methodical guide “Organization of activity of microfinance organizations” // National Union of non-profit organizations for mutual financial assistance, Issue 2, 2011. (In Russ.)]

Сведения об авторе:

Баламирзоев Назим Лиудинович – кандидат экономических наук, доцент, кафедра финансов и бухгалтерского учета.

Information about the authors.

Nazim L. Balamirzoev – Cand. Sci. (Economics), Assistant Prof., Department of Department of Finance and Accounting.

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.10.2018.

Принята в печать 29.11.2018.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 16.10.2018.

Accepted for publication 29.11.2018.

Для цитирования: Ветров А.Н. Технология когнитивного моделирования для финансового анализа финансово-хозяйственной деятельности организации. Технические науки. 2018; 45 (4): 102-123. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-102-123

For citation: Vetrov A.N. The cognitive modeling technology for the financial analysis of the financial-economy activity of the organization. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 102-123. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-102-123

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 336.74(075.8)

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-102-123

ТЕХНОЛОГИЯ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Ветров А.Н

ГМО «Академия когнитивных естественных наук»,
195248, г. Санкт-Петербург, пр. Энергетиков, д. 36, Россия,
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», 197376, г.
Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, Россия,
Международный банковский институт,
191023, г. Санкт-Петербург, Невский пр., 60, Россия,
e-mail: vetrovan@nwgsm.ru

Резюме. Цель. Повышение эффективности функционирования (кредитной) организации за счет реализации процедуры горизонтального, вертикального и трендового (микроскопического) финансового анализа на основе сформированной инновационной системы аналитических коэффициентов в блоке параметрических когнитивных моделей. **Метод.** В ходе исследования применены методы финансового анализа высоко-интегрированных предприятий и кредитных организаций. **Результат.** Инновационный блок параметрических когнитивных моделей является информационной основой (микроскопического) финансового анализа, содержит когнитивные модели для горизонтального, вертикального и трендового финансового анализа предприятия или (кредитной) организации на основе сформированной системы аналитических коэффициентов, каждая из которых выступает сложным репертуаром параметров (показателей), эшелонированным на ряд портретов и стратифицированным на несколько независимых множеств расположенных на двух различных уровнях выделенной иерархии (структуры). **Вывод.** Финансовый анализ высоко-интегрированных (кредитных) организаций инициирует необходимость учета широкого спектра разных научных фундаментальных и прикладных направлений современной науки, а также обуславливает необходимость использования инновационного аппарата исследования.

Ключевые слова: технология когнитивного моделирования, когнитивная модель, финансовый анализ, бухгалтерский учет и аудит, организационная структура, предприятие, (кредитная) организация, финансово-хозяйственная деятельность

**THE COGNITIVE MODELING TECHNOLOGY
FOR THE FINANCIAL ANALYSIS
OF THE FINANCIAL-ECONOMY ACTIVITY OF THE ORGANIZATION**

Anatoly N. Vetrov

*Academy of cognitive natural sciences,
36 Energetikov Ave., Saint Petersburg 195248, Russia,
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»,
5 Professora Popova Str., Saint Petersburg 197376, Russia,
International Banking Institute,
60 Nevsky Ave., Saint Petersburg 191023, Russia,
e-mail: vetrovan@nwgsm.ru*

Abstract Objective. *The increase in the efficiency of functioning of the (credit) organization due to the realization of procedure of the horizontal, vertical and trend (microscopic) financial analysis based on the formed innovative analytical coefficients system in the parametrical cognitive models block. Method.* *The financial analysis of the highly-integrated enterprises and (credit) organizations. Result.* *The innovative parametrical cognitive models block is the information basis of the (microscopic) financial analysis, contains the cognitive models for the horizontal, vertical and trend financial analysis of the enterprise or (credit) organization based on the formed analytical coefficients system, each from which acts as the difficult repertoire of parameters (indicators), echeloned to a number of portraits and stratificated to the several independent sets located on two different levels of the specified hierarchy (structure). Conclusion.* *The financial analysis of the highly-integrated (credit) organizations initiates the need of the accounting of a wide range of the different scientific fundamental and applied directions of modern science, and also causes the need of use of the innovative device of research.*

Keywords: *cognitive modeling technology, cognitive model, financial analysis, accounting, and audit, organizational structure, enterprise, (credit) organization, financial-economy activity*

Введение. Информатизация информационных сред предприятий обуславливает потенциальную необходимость исследования документооборота, а также источников привлечения и направлений размещения привлеченных финансовых активов первичной финансовой и бухгалтерской отчетности, которые непосредственно позволяют сформировать полное и достоверное представление о результатах финансово-хозяйственной деятельности организации [1, 2].

Многолетний опыт использования разработанной мною технологии когнитивного моделирования показал эффективность ее применения для системного анализа информационно-образовательной среды и потенциальную возможность ее использования для финансового анализа деятельности организационной структуры предприятия на основе первичных и сводных данных бухгалтерской и финансовой отчетности отражающей результаты деятельности [3-6].

Глобальная экономическая интеграция и транснационализация вертикально и горизонтально интегрированных организационных структур обусловлена потенциальной необходимостью получения доступа к материальным и финансовым ресурсам на международных рынках, инициирует создание, распределение и использование новых подходов, методов и технологий для реализации комплексного финансового анализа на основе международных требований и стандартов в экономических системах разных государств [7-10].

Постановка задачи. Предлагается аппарат технологии когнитивного моделирования для финансового анализа финансово-хозяйственной деятельности (кредитной) организации и предприятия на основе данных первичных регистров бухгалтерской и финансовой отчетности, включающий непосредственно ее итеративный цикл, методику ее использования, алгоритм

формирования структуры параметрической когнитивной модели на основе классических (существующих) и инновационных (новых) моделей представления данных, методику формирования нормативно-правовой основы финансового анализа организации, методику формирования информационной основы финансового анализа организации, методику дополнительной проверки информационной основы финансового анализа организации, методику создания и модификации рабочего плана счетов и модели бухгалтерского учета, методику проведения финансового анализа (аудита) состояния организации, блок параметрических когнитивных моделей для финансового анализа организации (когнитивные модели для вертикального, горизонтального и трендового финансового анализа на основе сформированной инновационной системы аналитических коэффициентов), методику исследования параметров когнитивной модели для финансового анализа организации и алгоритм обработки апостериорных данных финансового анализа (аудита) организации.

Расширение сферы деятельности предприятия реализуется различными способами.

Расширение организационной структуры предприятия возможно: в глубину – вертикальная интеграция организации и в ширину – горизонтальная интеграция предприятия (рис. 1).



Рис. 1. Интегрированная организационная структура предприятия

Fig. 1. Integrated organizational structure of the enterprise

Вертикально интегрированная организационная структура основана на большом количестве разнородных подразделений и отделов выполняющих определенные функции.

Горизонтально интегрированная организационная структура предполагает диверсификацию деятельности хозяйствующего субъекта на финансовом рынке при единичном, серийном и массовом производстве совокупности номенклатурных единиц продукции.

Сегодня существуют разные способы построения организационных структур [7, 8]:

линейная – включает упорядоченную последовательность подразделений и отделов;

разветвленная – горизонтально или вертикально интегрированная совокупность подразделений и отделов, каждый из которых выполняет определенную функцию;

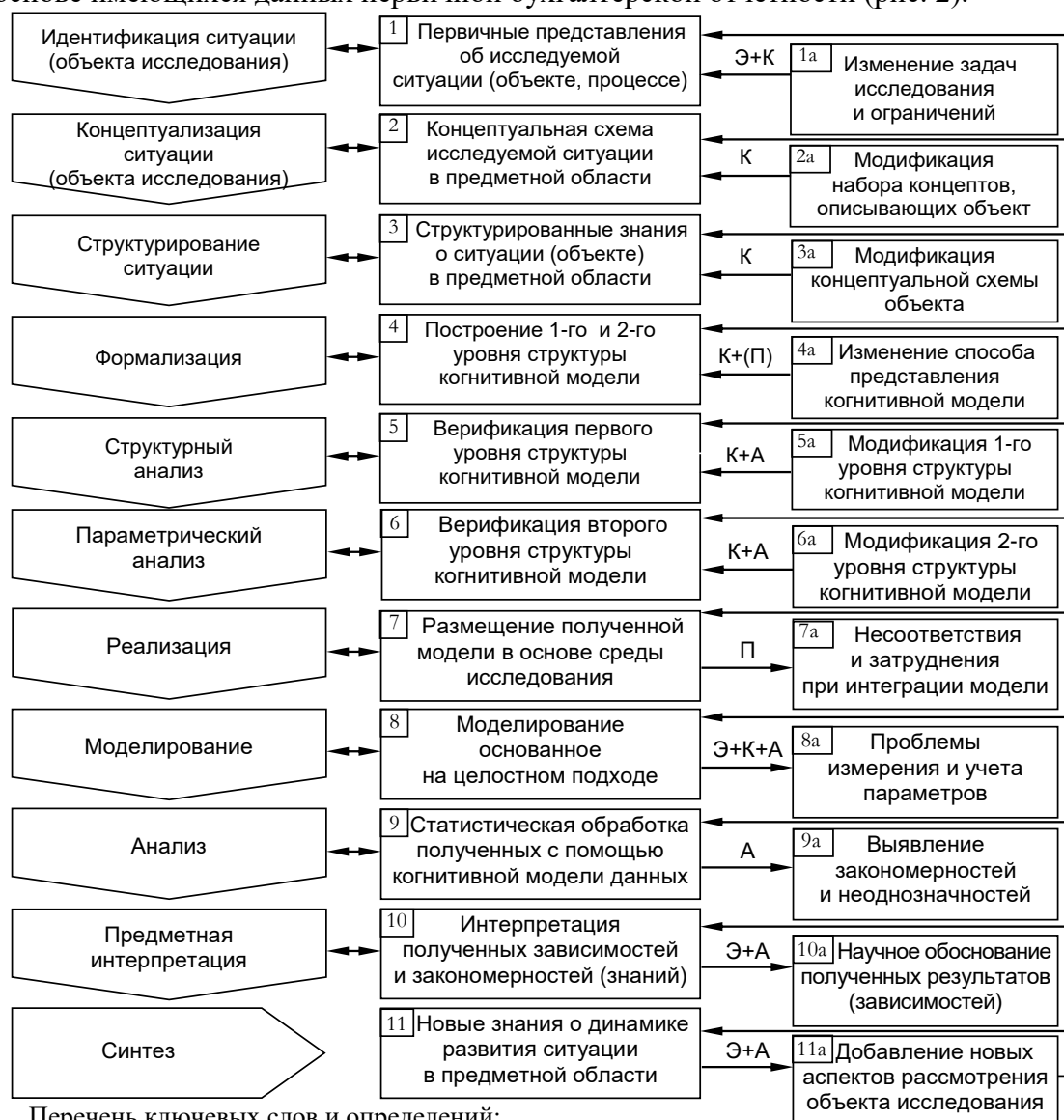
дивизиональная – включает одновременно несколько различных функциональных центров ответственности, сборочных цехов и складов с сырьевой базой, обеспечивающие производство широкого ассортимента номенклатурных единиц продукции;

зонтичная – соответствует холдингу предполагающему объединение хозяйствующих субъектов, один из которых выступает в роли управляющей организации и владеет преобладающим количеством акционерного капитала прочих организаций;

гибридная – сочетает все перечисленные организационные структуры, предусматривает резервирование, соответствует Федеральной резервной системе США.

Итеративный цикл технологии когнитивного моделирования

Итеративный цикл технологии когнитивного моделирования включает упорядоченную последовательность связанных этапов [3, 5, 6] регламентирующих различные этапы финансового анализа результатов финансово-хозяйственной деятельности предприятия или организации на основе имеющихся данных первичной бухгалтерской отчетности (рис. 2).



Перечень ключевых слов и определений:

(Э) – эксперт, (К) – когнитолог, (А) – финансовый аналитик, (П) – программист

Рис. 2. Итеративный цикл технологии когнитивного моделирования

Fig. 2. Iterative cycle of cognitive modeling technology

Финансовый анализ современного предприятия на основе бухгалтерской и финансовой отчетности позволяет последовательно и детально оценить результаты финансово-хозяйственной деятельности организации, поэтому выступает сложным итеративным процессом предполагающим использование предварительно сформированного набора разных методик и алгоритмов, которые формализуют последовательность этапов и фаз анализа [9, 10].

Методы исследования. Методика использования технологии когнитивного моделирования (рис. 3) формализует последовательность этапов проведения финансового анализа на основе сформированной информационной основы, включающей в себя первичные регистры бухгалтерского учета.



Рис. 3. Методика использования технологии когнитивного моделирования для финансового анализа эффективности функционирования организации

Fig. 3. Methods of using cognitive modeling technology for financial analysis of the effectiveness of the organization

Методика использования технологии когнитивного моделирования для финансового анализа эффективности функционирования организации позволяет непосредственно обеспечить сбор сведений и ограничений для реализации комплексного финансового анализа организации посредством использования различных статических и динамических методов в условиях определенности и неопределенности, в частности рассчитать: себестоимость, безубыточность и норму прибыли, ликвидность и платежеспособность, дисконтированный доход [9, 10].

Алгоритм формирования структуры когнитивной модели формализует последовательность (ре)конструирования структуры когнитивной модели на основе одного из классических или инновационных способов (моделей) представления структурированных данных (рис. 4).

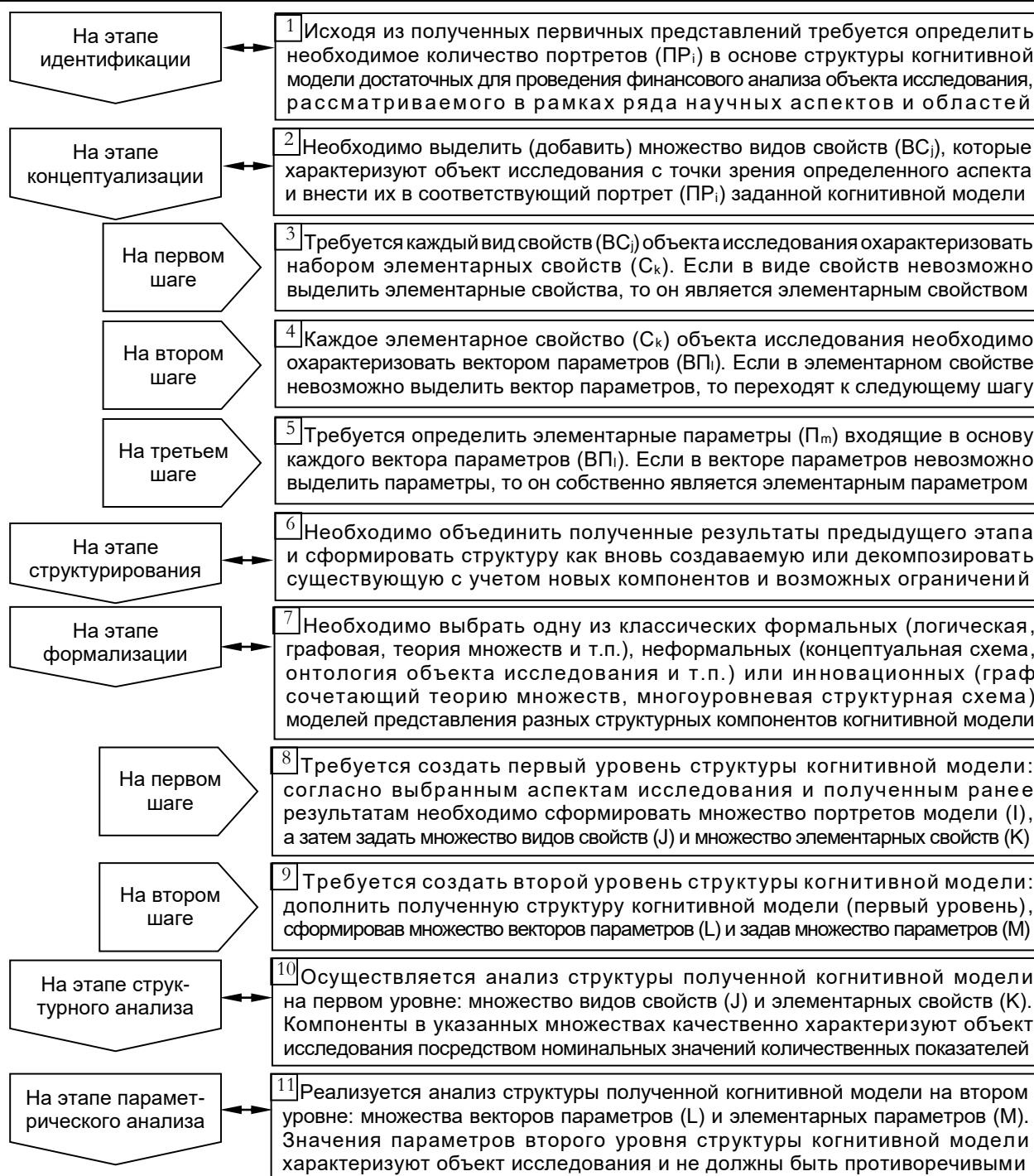


Рис. 4. Алгоритм формирования структуры когнитивной модели
Fig. 4. Algorithm for the formation of the cognitive model structure

Для формализации структуры когнитивной модели предлагается использовать одну из классических (логическая, продукционная и фреймовая модели или семантическая сеть) или инновационных моделей представления структурированных данных (ориентированный граф сочетающий теорию множеств или многоуровневая структурная схема), которые позволяют сформировать теоретические и актуальные для исследования когнитивные модели [3, 5].

Структура параметрической когнитивной модели может быть представлена в виде ориентированного графа сочетающего теорию множеств (рис. 5), в котором на двух уровнях выделенной иерархии представлены вершины как разнородные информационные элементы разных математических множеств: множество портретов ($ПР_i$) с определенным научным обоснованием в предметной области; на первом уровне – множество видов свойств ($ВС_j$) и множество эле-

ментарных свойств (C_k); на втором уровне – множество векторов параметров (BP_l) и множество элементарных параметров (Π_m).

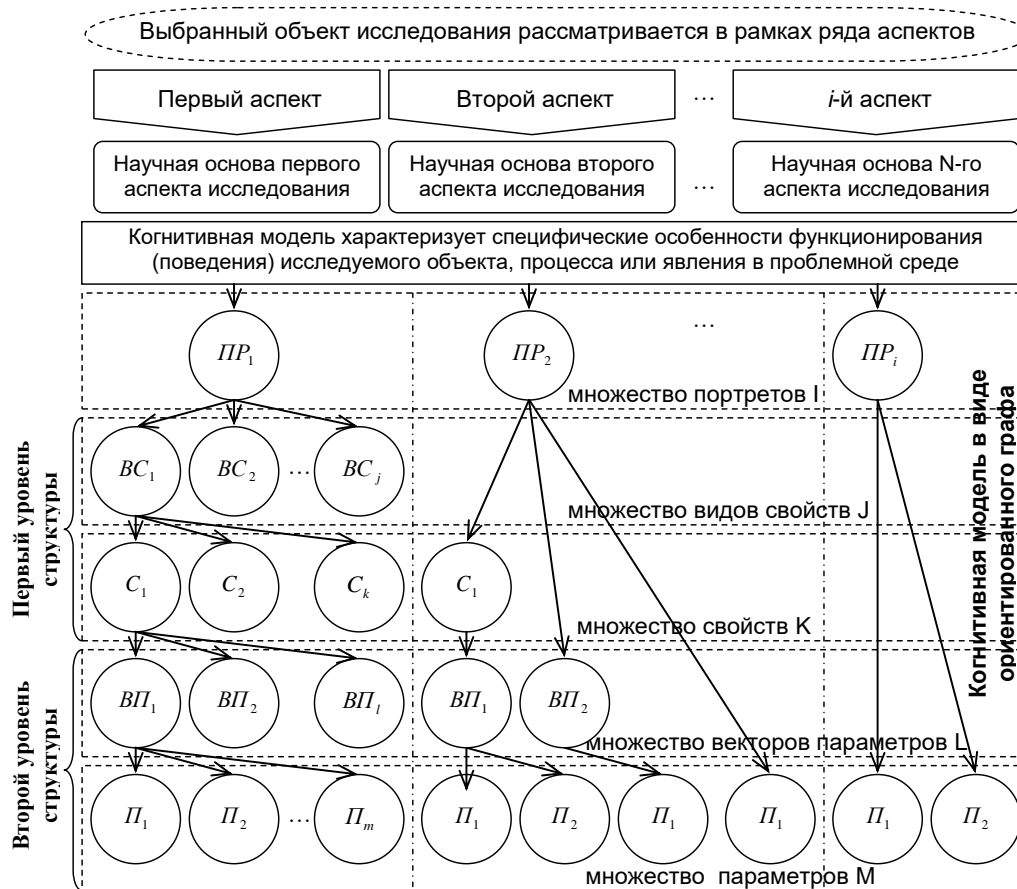


Рис. 5. Рекомендуемая основа для построения структуры когнитивной модели: ориентированный граф сочетающий теорию множеств

Fig. 5. Recommended basis for building a cognitive model structure: a directed graph combining set theory

Структура когнитивной модели предусматривает редукцию элементов на разных уровнях:

- если объект исследования структурно декомпозируется на ряд информационных элементов, то каждому из них вводится в соответствие портрет с научным обоснованием;
- каждый портрет когнитивной модели включает ряд видов свойств: если вид свойства структурно декомпозируется, то относительно него вводятся элементарные свойства;
- каждый вид свойств включает несколько элементарных свойств: если элементарное свойство структурно декомпозируется, то относительно него вводятся векторы параметров;
- каждое свойство включает несколько векторов параметров: если вектор параметров структурно декомпозируется, то относительно него вводятся элементарные параметры;
- каждый вектор параметров включает несколько элементарных параметров: элементарный параметр характеризуется определенной областью допустимых значений.

Структура когнитивной модели непосредственно может быть представлена в виде многоуровневой структурной схемы (рис. 6) без связей между информационными элементами, которая включает ряд математических множеств на двух уровнях выделенной иерархии по классическому принципу взаимного соподчинения и включения: множество портретов (PP_i), множество видов свойств (BC_j), множество элементарных свойств (C_k), множество векторов параметров (BP_l) и множество элементарных параметров (Π_m).

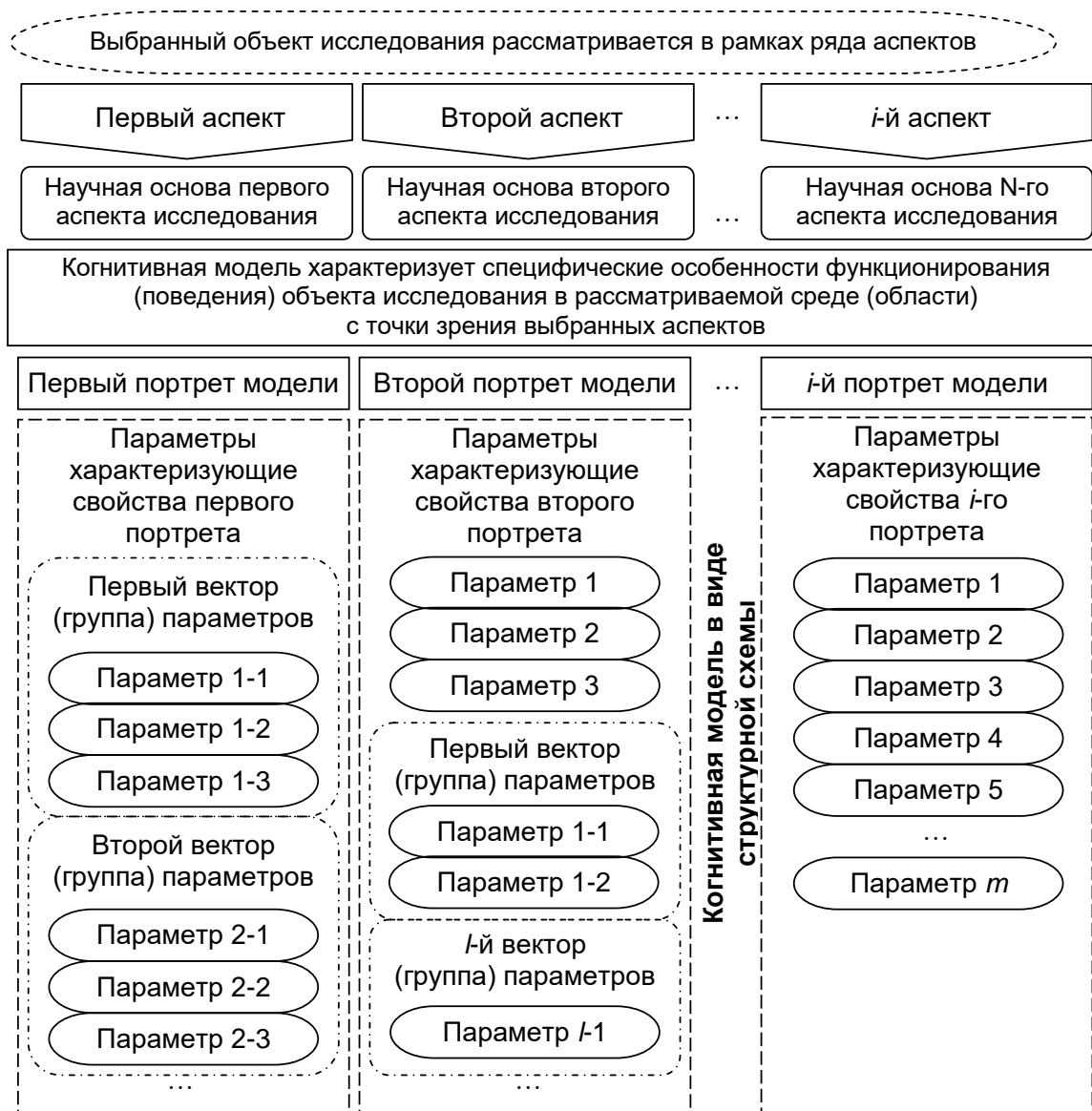


Рис. 6. Рекомендуемая основа для построения структуры когнитивной модели: многоуровневая структурная схема

Fig. 6. The recommended basis for building the structure of the cognitive model: a multilevel block diagram

Многоуровневая структурная схема (графическое представление на плоскости) включает большое количество разнородных информационных элементов, допускает редукцию некоторых элементов иерархии ввиду их несущественности, а также обладает повышенной наглядностью и высоким уровнем интерпретации.

Представленный ранее ориентированный граф сочетающий теорию множеств предназначен для быстрой реализации вычислительных алгоритмов, но сложно интерпретируется, поскольку содержит много информационных элементов обозначенных разными индексами (возникает существенная сложность при интерпретации номинальных значений параметров).

Когнитивная модель непосредственно может быть представлена посредством исчисления с использованием кортежей на доменах и математических множеств, при этом различные математические множества определены далее по тексту.

Введем систему обозначений для ее использования в основе систем уравнений:

КМу – когнитивная модель;

ПРi – портрет;

- НО_i – научное обоснование портрета;
- ВС_j – вектор свойств;

- C_k – элементарное свойство;
- $ВП_l$ – вектор параметров;
- $П_m$ – элементарный параметр;
- u – индекс когнитивной модели;
- U – мощность множества в слое когнитивных моделей;
- i – индекс портрета когнитивной модели;
- I – мощность множества в слое портретов моделей;
- j – индекс вектора свойств когнитивной модели;
- J – мощность множества в слое векторов свойств;
- k – индекс элементарного свойства когнитивной модели;
- K – мощность множества в слое элементарных свойств;
- l – индекс вектора параметров когнитивной модели;
- L – мощность множества в слое векторов параметров;
- m – индекс элементарного параметра когнитивной модели;
- M – мощность множества в слое элементарных параметров.

1. Когнитивные модели отражают сложные объекты, процессы или явления:

$$\begin{cases} KM_1 = \{ \langle PP_{1.1}, HO_{1.1} \rangle, \langle PP_{1.2}, HO_{1.2} \rangle, \dots, \langle PP_{1.i}, HO_{1.i} \rangle \}; \\ KM_2 = \{ \langle PP_{2.1}, HO_{2.1} \rangle, \langle PP_{2.2}, HO_{2.2} \rangle, \dots, \langle PP_{2.i}, HO_{2.i} \rangle \}; \\ KM_u = \{ \langle PP_{u.1}, HO_{u.1} \rangle, \langle PP_{u.2}, HO_{u.2} \rangle, \dots, \langle PP_{u.i}, HO_{u.i} \rangle \}. \end{cases}$$

2. Каждый из портретов когнитивной модели включает виды свойств:

$$\begin{cases} PP_{1.1} = \{ BC_{1.1.1}, BC_{1.1.2}, \dots, BC_{1.1.j} \}; \\ PP_{2.2} = \{ BC_{2.2.1}, BC_{2.2.2}, \dots, BC_{2.2.j} \}; \\ PP_{u.i} = \{ BC_{u.i.1}, BC_{u.i.2}, \dots, BC_{u.i.j} \}. \end{cases}$$

3. Каждый вид свойств когнитивной модели включает несколько элементарных свойств:

$$\begin{cases} BC_{1.1.1} = \{ C_{1.1.1.1}, C_{1.1.1.2}, \dots, C_{1.1.1.k} \}; \\ BC_{2.2.2} = \{ C_{2.2.2.1}, C_{2.2.2.2}, \dots, C_{2.2.2.k} \}; \\ BC_{u.i.j} = \{ C_{u.i.j.1}, C_{u.i.j.2}, \dots, C_{u.i.j.k} \}. \end{cases}$$

4. Каждое из элементарных свойств когнитивной модели включает векторы параметров:

$$\begin{cases} C_{1.1.1.1} = \{ ВП_{1.1.1.1.1}, ВП_{1.1.1.1.2}, \dots, ВП_{1.1.1.1.l} \}; \\ C_{2.2.2.2} = \{ ВП_{2.2.2.2.1}, ВП_{2.2.2.2.2}, \dots, ВП_{2.2.2.2.l} \}; \\ C_{u.i.j.k} = \{ ВП_{u.i.j.k.1}, ВП_{u.i.j.k.2}, \dots, ВП_{u.i.j.k.l} \}. \end{cases}$$

5. Каждый из векторов параметров когнитивной модели включает элементарные параметры:

$$\begin{cases} ВП_{1.1.1.1} = \{ П_{1.1.1.1.1}, П_{1.1.1.1.2}, \dots, П_{1.1.1.1.m} \}; \\ ВП_{2.2.2.2} = \{ П_{2.2.2.2.1}, П_{2.2.2.2.2}, \dots, П_{2.2.2.2.m} \}; \\ ВП_{u.i.j.k.l} = \{ П_{u.i.j.k.l.1}, П_{u.i.j.k.l.2}, \dots, П_{u.i.j.k.l.m} \}. \end{cases}$$

Представление когнитивной модели в виде кортежа на доменах является универсальным.

Методика формирования нормативно-правовой основы финансового анализа организации позволяет проанализировать правила ведения бухгалтерского учета и аудита (рис. 7).

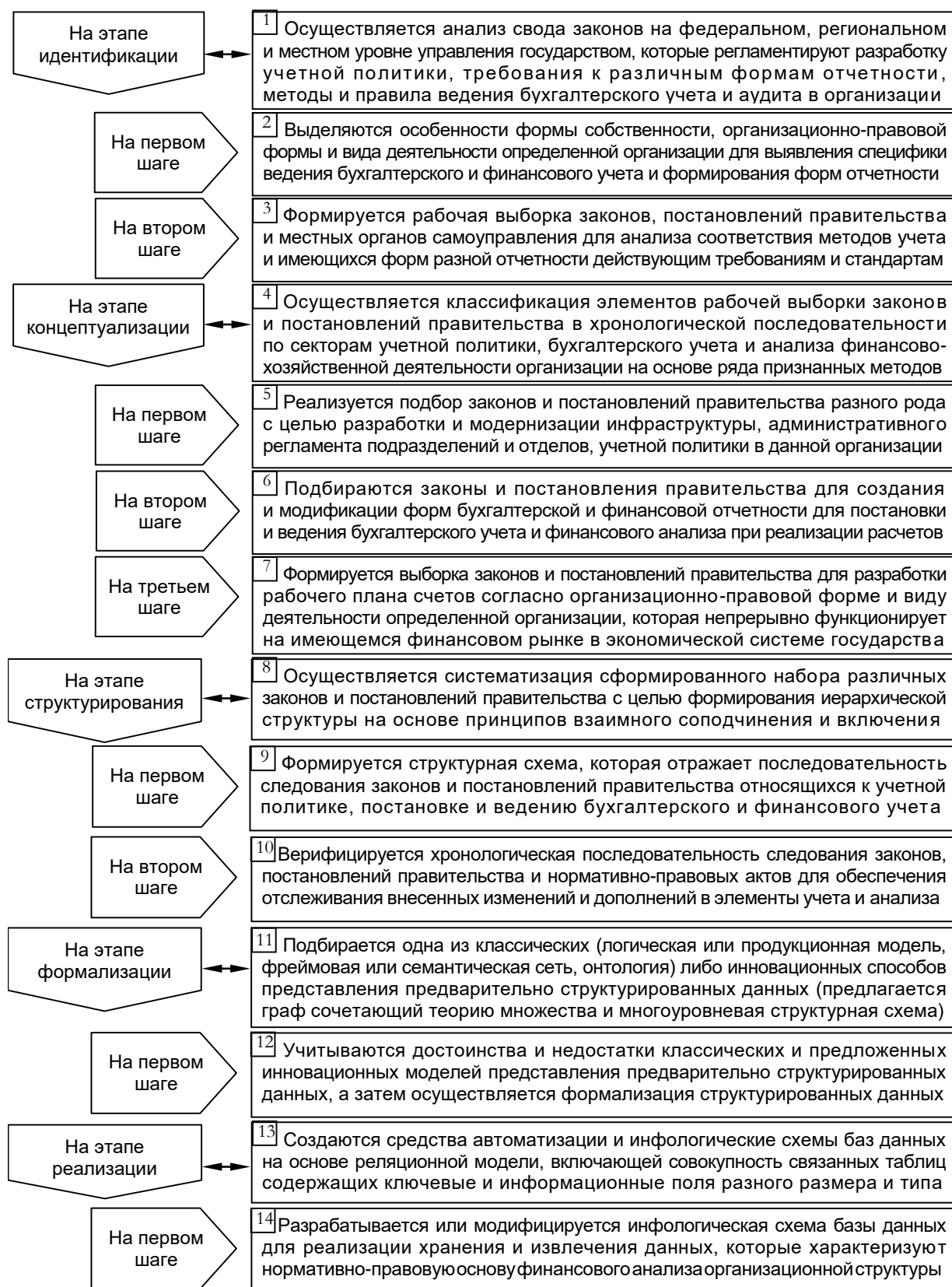


Рис. 7. Методика формирования нормативно-правовой основы финансового анализа организации

Fig. 7. Methodology of formation of the regulatory framework financial analysis of the organization
Методика формирования информационной основы финансового анализа организации

Методика формирования информационной основы финансового анализа организации позволяет верифицировать основные регистры бухгалтерского учета и аудита, оценить эффективность функционирования организации на основе финансовых результатов (рис. 8).



Рис. 8. Методика формирования информационной основы финансового анализа организации

Fig. 8. The method of forming the informational basis of the financial analysis of the organization

Обсуждение результатов. Информационная основа финансового анализа – формы бухгалтерской отчетности: бухгалтерский баланс, отчет о прибылях и убытках, отчет об изменении капитала, отчет о движении денежных средств, приложение к бухгалтерскому балансу, пояснительная записка, определенное аудиторское заключение о достоверности сведений в финансовых документах, которые подлежат обработке методами финансового анализа, бухгалтерского учета и аудита.

Методика дополнительной проверки информационной основы финансового анализа организации. Степень недостоверности сведений о результатах хозяйственной деятельности

представленных в бухгалтерской и финансовой отчетности определяет необходимость использования методики дополнительной проверки информационной основы финансового анализа (рис. 9).



Рис. 9. Методика дополнительной проверки информационной основы финансового анализа организации

Fig. 9. Methods of additional verification of the information basis of the financial analysis of the organization

Методика создания и модификации рабочего плана счетов и модели бухгалтерского учета. На основе собранной нормативно-правовой основы и принятой учетной политики предлагается итеративно сформировать модель бухгалтерского учета и рабочий план счетов для вновь созданной организации или модернизировать модель бухгалтерского учета и рабочий план счетов для существующего предприятия посредством использования методики создания рабочего плана счетов и модели бухгалтерского учета в организации (рис. 10), которая включает упорядоченную последовательность связанных мероприятий и шагов.



Рис. 10. Методика создания и модификации рабочего плана счетов и модели бухгалтерского учета

Fig. 10. Methods of creating and modifying the working plan of accounts and accounting model

Финансовый анализ организации ориентируется на нормативно-правовую базу, информационную основу и ряд методов его проведения: статических и динамических (рис. 11).

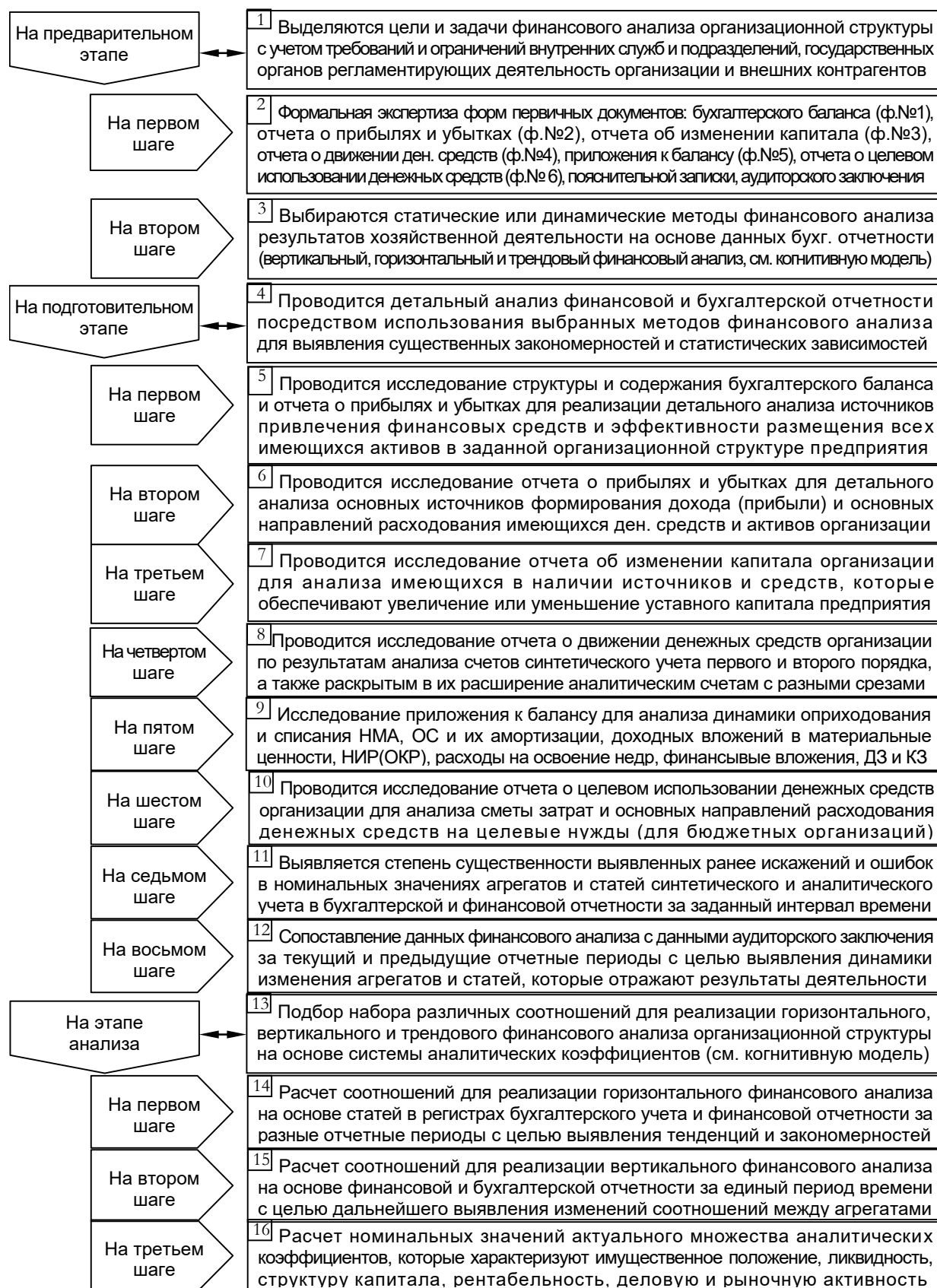


Рис. 11. Методика проведения финансового анализа состояния организации
 Fig. 11. Methods of conducting financial analysis of the organization

Структура когнитивной модели для проведения горизонтального финансового анализа организации представлена на рис. 12.

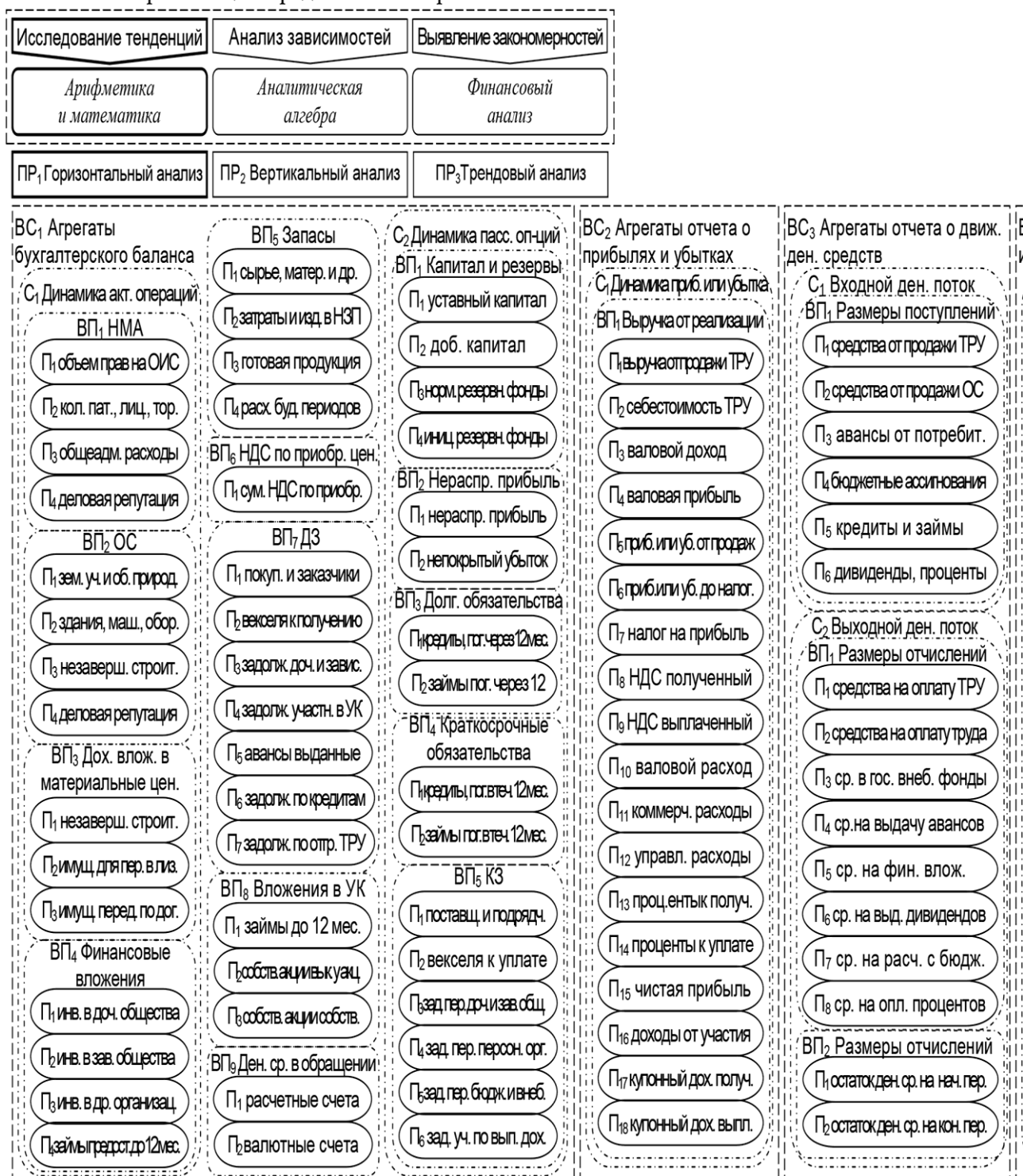


Рис. 12. Когнитивная модель для горизонтального финансового анализа организации
 Fig. 12. Cognitive model for horizontal financial analysis of the organization.

Структура когнитивной модели для проведения вертикального финансового анализа организации представлена на рис. 13.

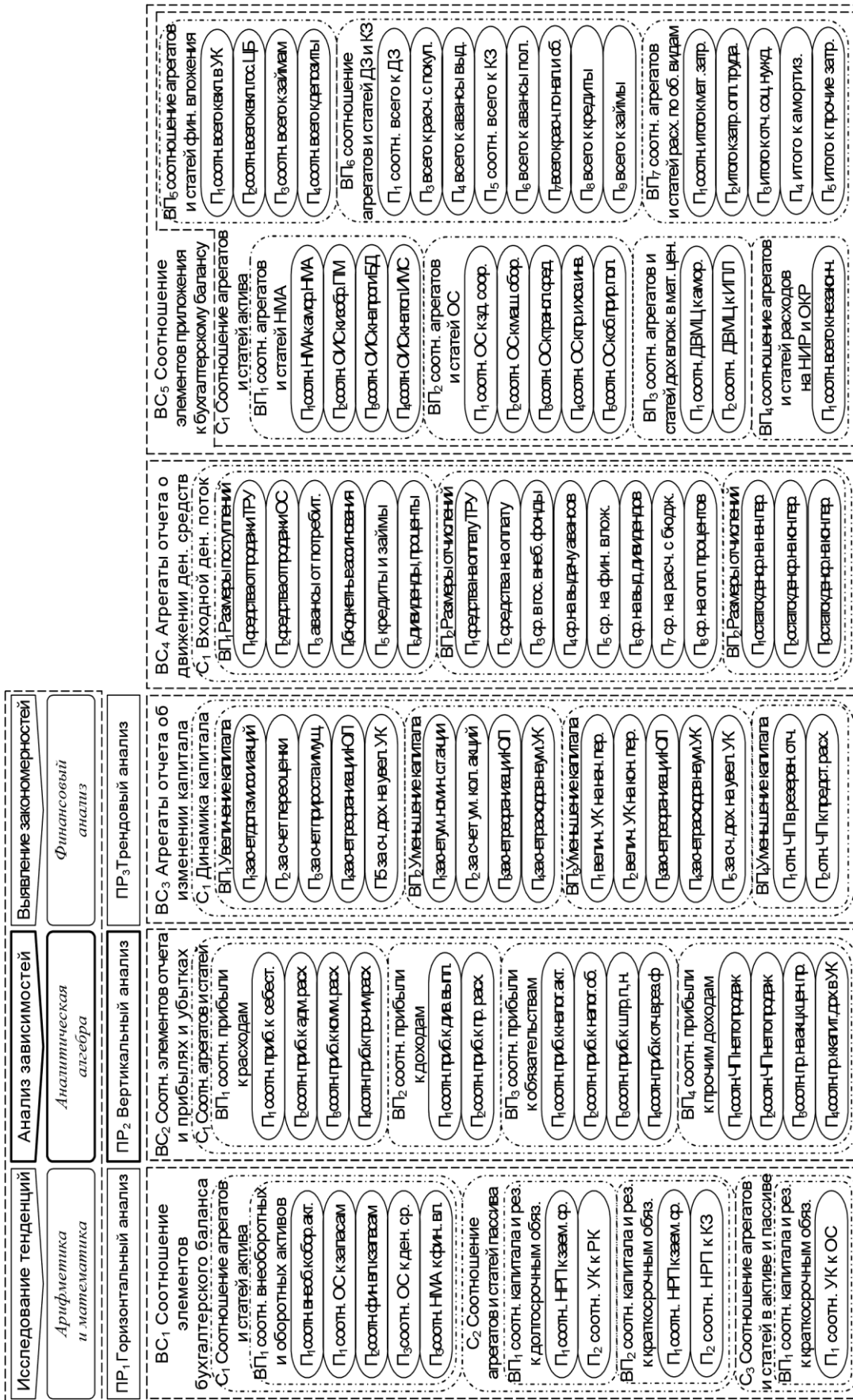


Рис. 13. Когнитивная модель для вертикального финансового анализа организации
 Fig. 13. Cognitive model for vertical financial analysis of an organization

Когнитивная модель для трендового финансового анализа организации представлена на рис. 14, при этом непосредственно отражает систему аналитических коэффициентов, которые характеризуют:

- имущественное положение – сумма средств на балансе, соотношение агрегатов баланса;
- ликвидность организации – потенциальная способность оборачивать один актив в другой;
- ликвидность обслуживающего банка – потенциальная способность удовлетворять требования контрагентов и гарантировать выполнение финансовых обязательств;
- финансовую устойчивость – текущая и долгосрочная динамика собственного капитала;
- деловую активность – длительность операционного (производственного) цикла, интервал замораживания оборотного капитала организации, привлечение заемных средств;
- норму рентабельности – эффекты операционного и финансового левериджа;
- рыночную активность – динамика доходности каждой вложенной условной единицы, котировочная стоимость дисконтных и купонных ценных бумаг организации.



Рис. 14. Когнитивная модель для трендового финансового анализа организации на основе системы аналитических коэффициентов

Fig. 14. Cognitive model for trend financial analysis of an organization based on a system of analytical coefficients

Методика исследования параметров когнитивной модели для финансового анализа организации позволяет настроить программное обеспечение и реализовать диагностику значений параметров, которые позволяют обеспечить горизонтальный, вертикальный или трендовый анализ на основе разнородной системы (стандартных) аналитических коэффициентов (рис. 15).

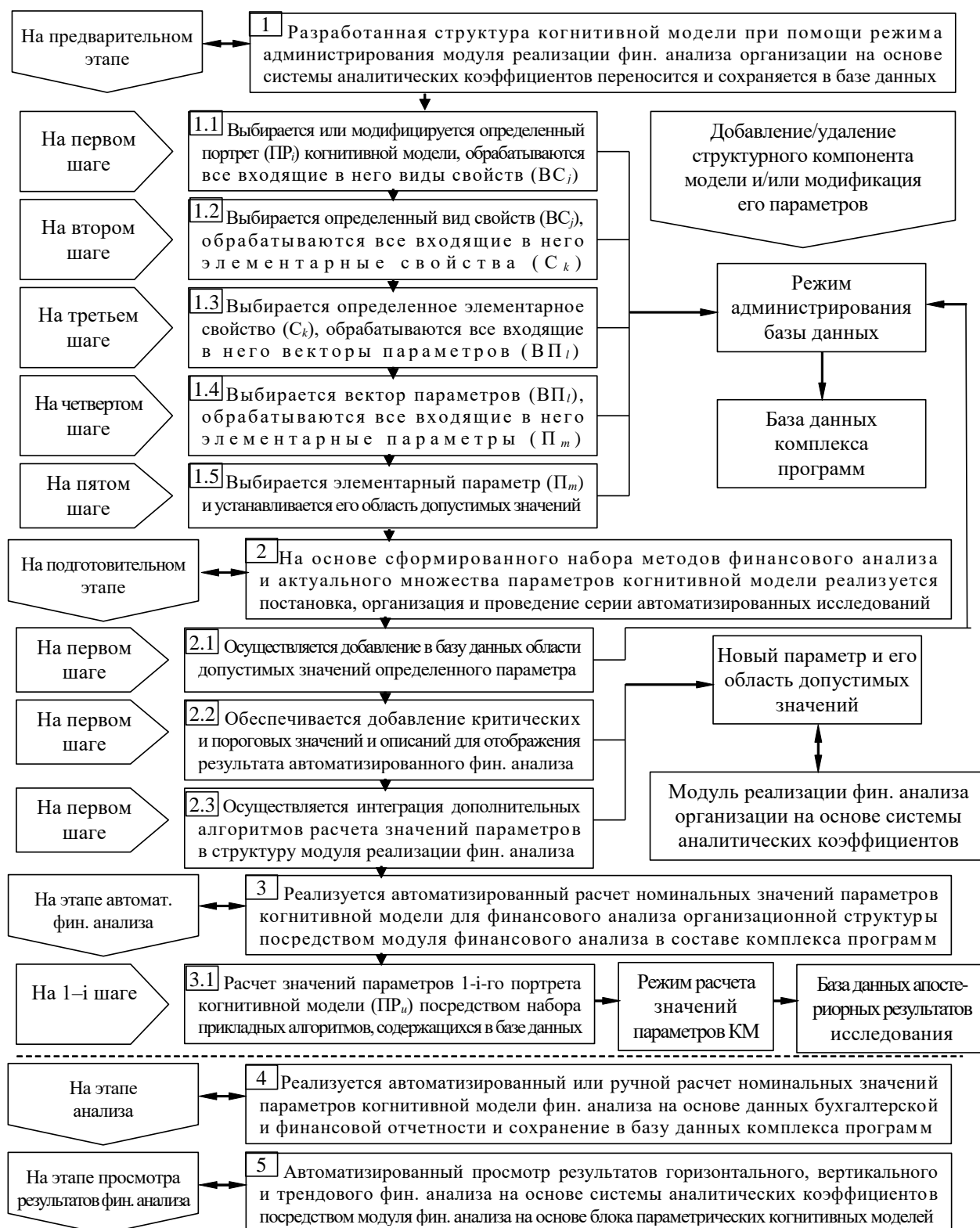


Рис. 15. Методика исследования параметров когнитивной модели для финансового анализа организации

Fig. 15. Methods of studying the parameters of the cognitive model for the financial analysis of the organization

Алгоритм обработки апостериорных данных финансового анализа организации.

Реализует математическую обработку апостериорных данных финансового анализа и рейтинговую оценку финансово-хозяйственной деятельности организационной структуры на основе сформированной системы статистических показателей (коэффициентов), позволяет сформировать интервальную шкалу и функцию оценивания, а также подготовить программное обеспечение для автоматизации аудита и финансового контроля (рис. 16).



Рис. 16. Алгоритм обработки апостериорных данных финансового анализа организации
 Fig. 16. The algorithm for processing a posteriori data of the financial analysis of the organization

Вывод. Рассмотрены основные принципы формирования организационных структур предприятия: линейная структура (практически не используется), дивизиональная (матричная) структура (используется на предприятиях, которые осуществляют массовое многономенклатурное производство продукции), зонтичная структура (характерна для холдингов).

Итеративный цикл технологии когнитивного моделирования позволяет говорить о ее универсальности при исследовании различных объектов, процессов и явлений, а также разра-

ботан набор методик и алгоритмов для реализации системного анализа информационно-образовательных сред (с 2003 г.), что подтверждает ее широкую применимость.

Для поддержки финансового анализа эффективности функционирования организационной структуры предприятия предложен аппарат технологии когнитивного моделирования, который включает: алгоритм формирования структуры когнитивной модели, методику формирования нормативно-правовой основы для финансового анализа, методику формирования информационной основы финансового анализа организации, методику дополнительной проверки информационной основы финансового анализа, методику проведения финансового анализа организационной структуры предприятия, методику создания и модификации рабочего плана счетов и модели бухгалтерского учета, методику исследования параметров когнитивной модели для финансового анализа, когнитивную модель для проведения вертикального финансового анализа организационной структуры, когнитивную модель для проведения горизонтального финансового анализа организационной структуры, когнитивную модель организационной структуры для трендового финансового анализа на основе аналитических коэффициентов.

Предложены несколько инновационных способов представления структуры когнитивной модели: ориентированный граф сочетающий теорию множеств и многоуровневая структурная схема (не содержит ни одной связи между информационными элементами структуры).

Когнитивная модель для проведения вертикального финансового анализа позволяет рассчитать номинальные значения агрегатов и счетов синтетического учета первого и второго порядка бухгалтерской и финансовой отчетности организации за определенный квант времени.

Когнитивная модель для проведения горизонтального финансового анализа позволяет рассчитать номинальные значения агрегатов и счетов синтетического учета первого и второго порядка регистров бухгалтерского учета и финансовых документов организации за ряд лет.

Когнитивная модель для проведения трендового финансового анализа позволяет рассчитать номинальные значения системы аналитических коэффициентов для реализации качественного сопоставления и выявления тенденций, зависимостей и закономерностей, что обеспечивает возможность сопоставления различных предприятий и организаций.

Библиографический список:

1. Ветров А.Н. Аттестационная работа на тему «Международные стандарты финансовой отчетности: методика трансформации» по спец. «Финансы, денежное обращение и кредит», СПб.: МБИ, 2004. – 352 с.
2. Ветров А.Н. Особенности применения экспертных обучающих систем для автоматизированной оценки квалификации профессиональных участников рынка ценных бумаг / А.Н. Ветров, Е.Е. Котова // «Актуальные проблемы экономики и новые технологии преподавания», секция «Управление качеством в ВУ-Зе»: материалы II междунар. науч.-метод. конф., РФ, г. Санкт-Петербург, 17го-18го июня 2004 г. – СПб.: МБИ, 2004. – Вып. 2. – С.23-26.
3. Ветров А.Н. Технология когнитивного моделирования в автоматизированной образовательной среде / «Вестник "РУДН"», №4, 2008. – Деп. во «ВИНИТИ "РАН"», 2008. – 18 с. (С.26-42).
4. Ветров А.Н. Особенности развития теории информации и информационных технологий на пороге XXI века: научная монография / А.Н. Ветров; С.-Петербургск.гос. электротехн. ун-т. – СПб. – 2007. – 141 с.: ил. – Библиогр. 16 назв. – Рус. – Деп. в «РАО», 2007.
5. Ветров А.Н. Среда автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей: научная монография / А.Н. Ветров; С.-Петербургск.гос. электротехн. ун-т. – СПб. – 2007. – 256 с.: ил. – Библиогр. 69 назв. – Рус. – Деп. в «РАО», 2007.
6. Ветров А.Н. Отчет по НИР «Исследование среды автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей» за 2003-2005 год, проведенной в процессе написания диссертаций, СПб., 2005. – 451 с.
7. Ковалев В.В. Финансовый анализ: методы и процедуры. – М.: «Финансы и статистика», 2001. – 559 с.
8. Кутер М.И. Теория и принципы бухгалтерского учета: учеб. пособие. – М.: «Финансы и статистика», «Экспертное бюро», 2000. – 543 с.
9. Лялин В.А., Воробьев П.В. Ценные бумаги и фондовая биржа: учеб. пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб.: «Издательский дом "Бизнес-пресса"», 2002. – 288 с.
10. МакКоннелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс: Принципы, проблемы и политика: в 2 т.: Пер. с англ. – М.: «Республика», 1993. – 399 с.
11. Мэтьюс М., Перера М. Теория бухгалтерского учета: учебник / Пер. с англ. Под ред. Я.В. Соколова, И.А. Смирновой. – М.: «Аудит», «ЮНИТИ», 1999. – 663 с.

12. Синки Дж. Управление финансами в коммерческих банках / Под ред. Р.Я. Левиты, Б.С. Пискера. – М.: “Gatallaxy”, 1994. – 937 с.
13. Соколов Я.В. Основы теории бухгалтерского учета. – М.: «Финансы и статистика», 2000. – 495 с.
14. Финансы: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.В. Ковалева. – М.: «Велби», 2003. – 634 с.
15. Финансы: учебник для ВУЗов / Под ред. проф. М.В. Романовского, проф. О.В. Врублевской, проф. Б.М. Сабанти. – М.: «Перспектива», «Юрайт», 2000. – 518 с.
16. Финансы. Денежное обращение. Кредит: учебник для ВУЗов / Под ред. проф. Л.А. Дробозиной. – М.: «ЮНИТИ», 2000. – 477 с.
17. Финансы. Денежное обращение. Кредит. учебник для ВУЗов / Под ред. Г.Б. Поляка. – М.: «ЮНИТИ», 2001. – 639 с.
18. Финансы, деньги, кредит: учебник / Под ред. О.В. Соколовой. – М.: «Юристь», 2000. – 783 с.

References:

1. Vetrov A.N. Attestatsionnaya rabota na temu «Mezhdunarodnyye standarty finansovoy otchetnosti: metodika transforma-tsii» po spets. «Finansy, denezhnoye obrashcheniye i kredit», SPb.: MBI, 2004. – 352 s. [Vetrov A.N. The attestation work on the theme “The international financial reporting standards: technique of transformation” on spec. “Finance, monetary circulation and credit”, SPb.: IBI, 2004. – 352 p. (In Russ.)]
2. Vetrov A.N. Osobennosti primeneniya ekspertnykh obuchayushchikh sistem dlya avtomatizirovannoy otsenki kvali-fikatsii professional'nykh uchastnikov rynka tsennykh bumag / A.N. Vetrov, Ye.Ye. Kotova // «Aktual'nyye problemy ekonomiki i novyye tekhnologii prepodavaniya», sektsiya «Upravleniye kachestvom v VUZE»: mate-rialy II mezhdunar. nauch.-metod. konf., RF, g. Sankt-Peterburg, 17go-18go iyunya 2004 g. – SPb.: MBI, 2004. – Вып. 2. – S.23-26. [Vetrov A.N. The features of application of the expert training systems for the automated estimation of qualification of the professional participants of securities market / A.N. Vetrov, N.A. Vetrov // “Actual problems of economy and new technologies of teaching”, section “Quality management in modern High school”: materials of “The IInd intern. sci.-method. conf.”, RF, Saint-Petersburg city, the 17th-18th of June 2004 y.. – SPb.: “IBI”, 2004. – Vol.2. – 23-26 p. (In Russ.)]
3. Vetrov A.N. Tekhnologiya kognitivnogo modelirovaniya v avtomatizirovannoy obrazovatel'noy srede / «Vestnik "RUDN"», №4, 2008. – Dep. vo «"VINITI" "RAN"», 2008. – 18 s. (S.26-42). [Vetrov A.N. The cognitive modeling technology in the automated educational environment / “Proceedings of "RUDN"”, №4, 2008. – Dep. in “"VINITI" of "RAS"”, 2008. – 18 p. (P.26-42). (In Russ.)]
4. Vetrov A.N. Osobennosti razvitiya teorii informatsii i informatsionnykh tekhnologiy na poroge XXI veka: nauchnaya monografiya / A.N. Vetrov; S.-Peterburgsk.gos. elektrotekhn. un-t. – SPb. – 2007. – 141 s.: il. – Bibliogr. 16 nazv. – Rus. – Dep. v «RAO», 2007. [Vetrov A.N. The features of evolution of the theory of information and information technologies on a threshold of the XXIst century: the scientific monography / A.N. Vetrov; S.Petersb.st.electrotechn.un-ty. – SPb. – 2007. – 141 p.: pic. – Bibliogr. 16 nom. – Rus. – Dep. in “RAS”, 2007. (In Russ.)]
5. Vetrov A.N. Sreda avtomatizirovannogo obucheniya so svoystvami adaptatsii na osnove kognitivnykh mode-ley: nauchnaya monografiya / A.N. Vetrov; S.-Peterburgsk.gos. elektrotekhn. un-t. – SPb. – 2007. – 256 s.: il. – Bibliogr. 69 nazv. – Rus. – Dep. v «RAO», 2007. [Vetrov A.N. The environment of automated training with the properties of adaptation based on the cognitive models: the scientific monography / A.N. Vetrov; S.Petersb.st.electrotechn.un-ty. – SPb. – 2007. – 256 p.: pic. – Bibliogr. 69 nom. – Rus. – Dep. in “The RAS”, 2007. (In Russ.)]
6. Vetrov A.N. Otchet po NIR «Issledovaniye sredey avtomatizirovannogo obucheniya so svoystvami adaptatsii na osnove kognitivnykh modeley» za 2003-2005 god, provedennoy v protsesse napisaniya dissertatsiy, SPb., 2005. – 451 s. [Vetrov A.N. Report on SRW “The research of the automated training environment with properties of adaptation based on cognitive models” from 2003-2005 year, carried out during writing of dissertations. – SPb., 2005. – 451 p. (In Russ.)]
7. Kovalev V.V. Finansovyy analiz: metody i protsedury. – М.: «Финансы и статистика», 2001. – 559 с. [Kovalyov V.V. The financial analysis: methods and procedures. – М.: Finance and statistics, 2001. – 559 p. (In Russ.)]
8. Kuter M.I. Teoriya i printsipy bukhgalterskogo ucheta: ucheb. posobiye. – М.: «Финансы и статистика», «Ekspertnoye byuro», 2000. – 543 с. [Kuter M. I. Theory and principles of accounting: learn. manual. – М.: Finance and statistics, Expert bureau, 2000. – 543 p. (In Russ.)]
9. Lyalin V.A., Vorob'yev P.V. Tsennyye bumagi i fondovaya birzha: ucheb. posobiye. Izd. 3-ye, pere-rab. i dop. – SPb.: «Izdatel'skiy dom "Biznes-pressa"», 2002. – 288 с. [Lyalin V.A., Vorobyov P.V. Securities and stock exchange: learn. manual. 3rd ed., proc. and add. – SPb.: Publishing house “Business-press”, 2002. – 288 p. (In Russ.)]
10. McConnell K.R., Bru S.L. Economics: Principles, problems and policy: in 2 vol.: Trans. from Engl. – М.: “Re-public”, 1993. – 399 p.
11. Met'yus M., Perera M. Teoriya bukhgalterskogo ucheta: uchebnyk / Per. s angl. Pod red. YA.V. Sokolova, I.A. Smirnovoy. – М.: «Audit», «YUNITI», 1999. – 663 с. [Matthews M., Perera M. Theory of accounting: the text-

- book / Trans. from Engl. Edited by Y.V. Sokolov, I.A. Smirnova. – M.: “Audit”, “UNITY”, 1999. – 663 p. (In Russ.)]
12. Sinki Dzh. Upravleniye finansami v kommercheskikh bankakh / Pod red. R.YA. Levity, B.S. Piskera. – M.: “Gatallaxy”, 1994. – 937 s. [Sinki J. Management of finance in commercial banks / Edited by R.Y. Levits, B.S. Piskera. – M.: “Gatallaxy”, 1994. – 937 p. (In Russ.)]
 13. Sokolov YA.V. Osnovy teorii bukhgalterskogo ucheta. – M.: «Finansy i statistika», 2000. – 495 s [Sokolov Y.V. Bases of the theory of accounting. – M.: “Finance and statistics”, 2000. – 495 p. (In Russ.)]
 14. Finansy: uchebnik. – 2-ye izd., pererab. i dop. / Pod red. V.V. Kovaleva. – M.: «Velbi», 2003. – 634 s. [Finance: the textbook. – 2nd ed., proc. and add. / Edited by V.V. Kovalyov. – M.: “Velbi”, 2003. – 634 p. (In Russ.)]
 15. Finansy: uchebnik dlya VUZov / Pod red. prof. M.V. Romanovskogo, prof. O.V. Vrublevskoy, prof. B.M. Sabanti. – M.: «Perspektiva», «Yurayt», 2000. – 518 s. [Finance: the textbook for HEIs / Edited by prof. M.V. Romanovsky, prof. O.V. Vrublevskaya, prof. B.M. Sabangti. – M.: “Perspektiva”, “Yurayt”, 2000. – 518 p. (In Russ.)]
 16. Finansy. Denezhnoye obrashcheniye. Kredit: uchebnik dlya VUZov / Pod red. prof. L.A. Drobozinoy. – M.: «YUNITI», 2000. – 477 s. [Finance. Monetary circulation. Credit: the textbook for HEIs / Edited by prof. L.A. Drobozina. – M.: “UNITY”, 2000. – 477 p. (In Russ.)]
 17. Finansy. Denezhnoye obrashcheniye. Kredit. uchebnik dlya VUZov / Pod red. G.B. Polyaka. – M.: «YUNITI», 2001. – 639 s. [Finance. Monetary circulation. Credit: the textbook for HEIs / Edited by G.B. Polyak. – M.: “UNITY”, 2001. – 639 p. (In Russ.)]
 18. Finansy, den'gi, kredit: uchebnik / Pod red. O.V. Sokolovoy. – M.: «Yurist», 2000. – 783 s. [Finance, money, credit: the textbook / Edited by O.V. Sokolova. – M.: Urist, 2000. – 783 p. (In Russ.)]

Сведения об авторе.

Ветров Анатолий Николаевич – автор единой технологии когнитивного моделирования, Президент «ГМО «Академии когнитивных естественных наук», инженер кафедры «Автоматики и процессов управления» «СПбГЭТУ “ЛЭТИ”», специалист-экономист кафедры «Банковского дела».

Information about the author.

Anatoly N. Vetrov – The author of the unique cognitive modeling technology, The President of “SIO "Academy of cognitive natural sciences”, the engineer of the chair “Automatics and control processes” of “SPbSETU "LETI””, the expert-economist of the chair “Banking” of “IBI” (RF, Saint-Petersburg city).

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.09.2018 г.

Принята в печать 02.11.2018 г.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests.

Received 30.09.2018 y.

Accepted for publication 02.11.2018 г.

Для цитирования: Тужиков Е.Н. Экспериментальная проверка эффективности управления звеньями газодымозащитной службы при внедрении датчиков неподвижного состояния. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(4): 124-132. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-124-132
For citation: Tuzhikov E.N. Experimental check of effective management of links of gas and smoke protective service at introduction of sensors of a motionless state. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 124-132 (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-124-132

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 614.842.6

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-124-132

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗВЕНЬЯМИ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ДАТЧИКОВ НЕПОДВИЖНОГО СОСТОЯНИЯ

Тужиков Е.Н.

Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России,
620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22, Россия,
e-mail: fireman87@bk.ru

Резюме. Цель. Приведены факторы внешней среды на объекте пожара, влияющие на эффективность ведения оперативно-тактических действий подразделений пожарной охраны и спасателей в условиях непригодной для дыхания среды и статистические данные по функционированию газодымозащитной службы в ряде субъектов Российской Федерации. **Метод.** Приведена методика проведения научных испытаний с группами (звеньями) разведки по поиску пострадавшего пожарного газодымозащитника. Представлено описание локации проведения натурального эксперимента и алгоритм передвижения групп (звеньев) разведки. Приведены результаты научных испытаний по действиям звеньев газодымозащитной службы по поиску пострадавшего пожарного газодымозащитника, находящегося в бессознательном состоянии внутри объекта пожара. Эксперимент проводился в условиях помещений без освещения и при воздействии шумовых помех на личный состав групп разведки. **Результат** Результаты опытов подтверждают необходимость идентификации каждого пожарного газодымозащитника на месте пожара путем применения датчиков неподвижного состояния, светоотражающих элементов одежды, экипировки и снаряжения. Полученные результаты опытов коррелируются с ранее проведенными экспериментами пожарных и спасательных формирований по исследованию времени проведения разведки пожара в помещениях различных жилых и общественных зданий. Определена необходимость дальнейшего исследования отдельных параметров работы групп (звеньев) разведки на различных объектах, исходя из временных параметров работы газодымозащитников. **Вывод.** Установлено положительное влияние фактора наличия датчиков неподвижного состояния у личного состава пожарных и спасательных формирований, действующих в условиях непригодной для дыхания среды. Предложены направления исследования организационных систем по управлению пожарными подразделениями на месте пожара.

Ключевые слова: пожаротушение, газодымозащитная служба, опасные факторы пожара, датчик неподвижного состояния, пожарный, пострадавший

EXPERIMENTAL CHECK OF EFFECTIVE MANAGEMENT OF LINKS OF GAS AND SMOKE PROTECTIVE SERVICE AT INTRODUCTION OF SENSORS OF A MOTIONLESS STATE

Evgeny N. Tuzhikov

*Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
22 Mira Str., Sverdlovsk Region, Yekaterinburg 620062, Russia,
e-mail: fireman87@bk.ru*

Abstract Objectives The environmental factors at the fire that affect the efficiency of the operational activities of fire and rescue units in an unfit environment for breathing and statistical information on the functioning of the gas and smoke protection service in regions of the Russian Federation are given. **Method** The methodology for conducting experiments with groups of reconnaissance to search for an injured firefighter is given. A description of the location of the experiment and the algorithm for the movement of reconnaissance groups are presented. **Result** Results of experiments on the actions of the units of gas and smoke protective service inside fire object on search of the injured firefighter who is in unconsciousness are given. The experiment was conducted in the conditions of premises without lighting and with influence of noise hindrances to staff of groups of reconnaissance. The results of the experiments confirm the need of identification of firefighters at the site of a fire by of sensors of a motionless state and light reflecting elements of clothes and equipment. The results of the experiments are correlated with previously conducted experiments to study the time of fire reconnaissance in the premises of residential and public buildings. The necessity of the research of the parameters of the work of groups of reconnaissance at various sites on the basis of the temporal parameters of the work of gas and smoke defenders has been determined. **Conclusion** The positive influence of the presence factor of immobile sensors in the personnel of fire and rescue units operating in conditions unsuitable for breathing environment has been established. The proposed directions for the research of organizational systems for the management of fire departments at the fire.

Key words: firefighting, gas and smoke protective service, dangerous factors of fire, sensor of a motionless state, firefighter, affected

Введение. Исследования произошедших пожаров в жилых зданиях показали, что наиболее эффективными позициями, с точки зрения объема выполняемых задач, являются звенья газодымозащитной службы (ГДЗС) [1, 2].

При проведении оперативно-тактических действий (далее – ОТД) на месте пожаров в 35 – 50 % случаев (в зависимости от особенностей пожарно-спасательных гарнизонов в субъектах Российской Федерации) применяются звенья ГДЗС [3, 4].

Одновременно с этим отмечается ограниченный диапазон мест объекта развившегося пожара, на которых могут работать звенья ГДЗС, что вызвано ограниченными возможностями организма человека по пребыванию в зоне повышенных температур и техническими ограничениями применяемых современных средств защиты органов дыхания и зрения (далее – СИЗОД), в том числе боевой одежды пожарного [5-8].

Опасные проявления внутреннего пожара, такие как «rollover», «flashover» [1, 2, 9], и незнание личным составом особенностей их возникновения (инициирования), зачастую приводят к попаданию газодымозащитников в аварийную ситуацию, когда горением отсечен путь возвращения звена ГДЗС. Наиболее часто это наблюдается на чердаках и подвальных помещениях жилых и общественных зданий, а также помещениях промышленных зданий, складах.

Постановка задачи. Основная задача проведенного эксперимента состояла в проверке тактических возможностей звеньев ГДЗС по проведению аварийно-спасательных работ и эвакуации пострадавшего газодымозащитника.

Подзадачей эксперимента являлось определение оптимальных характеристик и показателей датчиков неподвижного состояния газодымозащитника, находящегося в аварийной ситуации. Датчики, при соответствующем укомплектовании подразделения, входят в перечень оснащения газодымозащитников [10].

Методы исследования. Исследование включало следующие виды измерений:

- 1) измерение эргономических особенностей применяемых датчиков неподвижного состояния (увеличение охвата талии газодымозащитника при размещении устройства на поясе);
- 2) измерение времени нахождения и эвакуации газодымозащитника, находящегося в аварийной ситуации [11];
- 3) измерение уровня звука аварийного сигнала датчиков в помещении [12];
- 4) измерение уровня звука аварийного сигнала датчиков на открытой местности [12].

Оборудование, применявшееся для проведения эксперимента:

- датчик неподвижного состояния Rescue Pass – 3 ед.;
- датчик неподвижного состояния MSA (MotionScout) – 1 ед.;
- комплекс с датчиками неподвижного состояния «Маяк спасателя» - 1 комплект;
- секундомер электронный Mad wave mod. 100 – 1 ед.;
- секундомер электронный Torres SW-002 – 1 ед.;
- лента ограждающая сигнальная – 1 блок.;
- фонарь индивидуальный с фильтром затемнения Cree Q5 – 2 ед.;
- шумомер Testo 816 – 1 ед.;
- рулетка строительная 30 метров;
- лента портного для снятия мерки – 1 ед.;
- дыхательные аппараты Аuerг – 12 ед.;
- сертифицированные комплекты БОП – 13 ед.;
- рукава напорные пожарные РПМ-50 – 2 ед.;
- ствол пожарный ручной Dual Force RU – 1 ед.;
- музыкальный центр для воспроизведения шумов на пожаре – 1 ед.

Для измерения эргономических особенностей применяемых датчиков неподвижного состояния исходный замер охвата талии пожарного (место крепления датчиков) составил 0,99 м без использования СИЗОД (рис. 1).

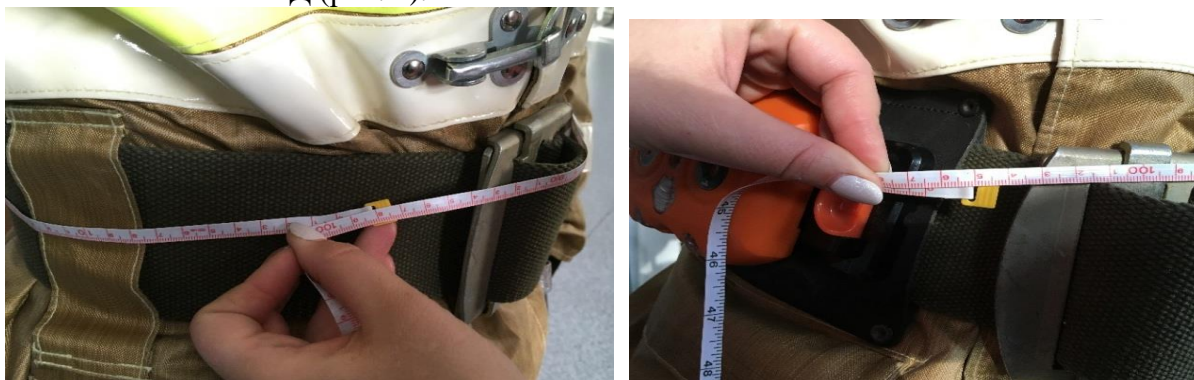


Рис.1. Измерение эргономических особенностей датчиков неподвижного состояния
Fig. 1. Measurement of ergonomic features of sensors of a motionless state

Для измерения времени нахождения и эвакуации газодымозащитника звено ГДЗС, осуществляющее поиск пострадавшего пожарного, проводит рабочую проверку СИЗОД [13] в тамбуре первого этажа здания. После, собрав рабочую рукавную линию с ручным пожарным стволом, входит в локацию объекта пожара.

При продвижении звено ГДЗС осуществляет разведку помещений с целью поиска пострадавшего газодымозащитника (рис.2).

Звенья ГДЗС, осуществляющие поиск пожарного, не оснащенного датчиком неподвижного состояния, проводят разведку алгоритмом «по периметру» каждого помещения [14] с про-

извольным выбором стороны обхода (рис.3).

Звенья ГДЗС, осуществляющие поиск пожарного, оснащенного датчиком неподвижного состояния, проводят поиск по факту восприятия световых и звуковых сигналов датчика и могут двигаться не проверяя помещения, в которых отсутствуют признаки нахождения пострадавшего пожарного (нет световой и звуковой сигнализации датчиков).



Рис. 2. Места расположения пострадавшего пожарного
Fig.2. Locations of the affected firefighter

Замер времени поиска пожарного осуществлялся с момента входа звена ГДЗС в локацию объекта пожара до момента нажатия кнопки аварийной подачи воздуха на ДАСВ пострадавшего. Время полной эвакуации измерялось от входа звена ГДЗС в локацию объекта пожара до выноса пострадавшего на свежий воздух.

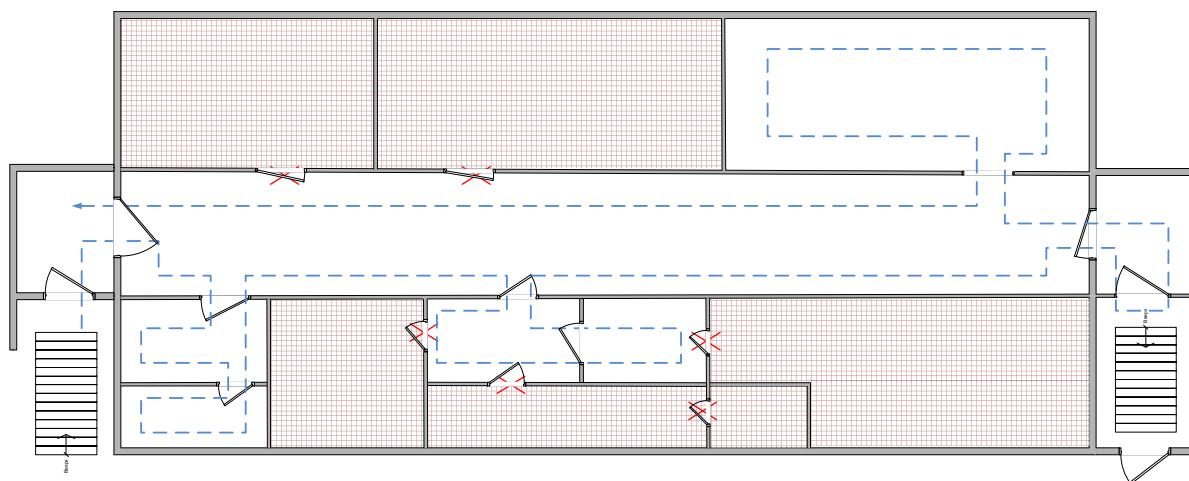




Рис. 3. Схема локации объекта пожара с указанием пути проведения разведки,
где  – помещения, не задействованные в ходе опытов

Fig.3. The scheme of a location of an object of the fire with the indication of a way of carrying out investigation

 – rooms, which are not involved in the course of experiences

При проведении эксперимента задействовались 6 звеньев ГДЗС по три человека [15].

В качестве постановщика помех по восприятию сигналов от датчиков неподвижного состояния применялся музыкальный центр с установленной громкостью воспроизведения шума не менее 60 Дб на расстоянии 5 метров.

Опыты проводились в условиях отсутствия искусственного освещения, за исключением индивидуальных фонарей со световым фильтром, дальность распространения рассеянного света которых не превышала 2 метров.

Путь звена ГДЗС от входа в недоступную для дыхания среду до пострадавшего составил (Рисунок 4):

- в тамбуре лестницы – 26 метров;
- в теплопункте – 28 метров;
- в помещении раздевалки – 17 метров.

Общая площадь локации в ходе эксперимента составляла 150 м².

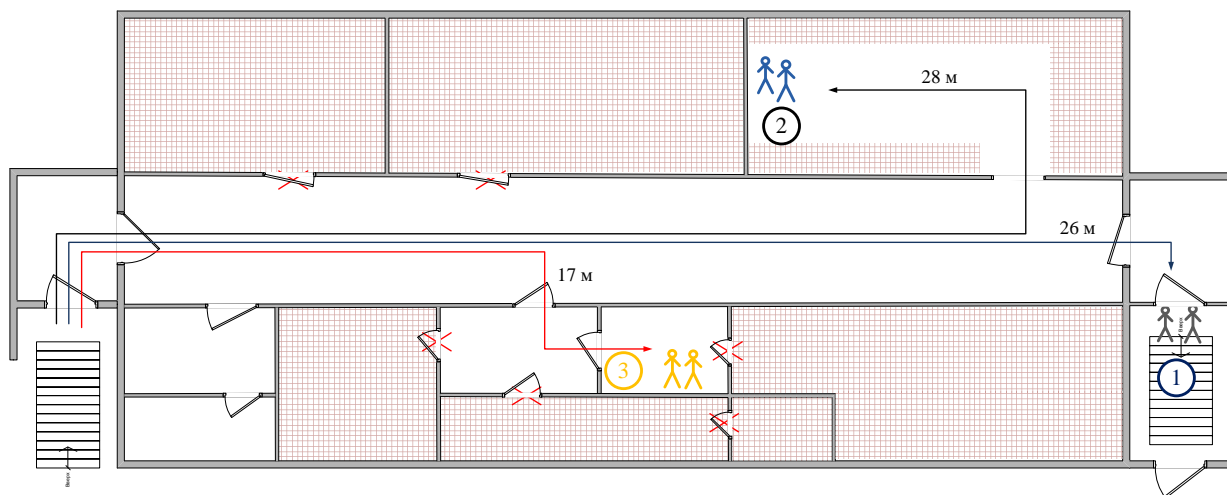


Рис. 4. Схема локации объекта пожара с указанием мест размещения пострадавшего пожарного при воспроизведении эксперимента,

где: 1 – тамбур лестницы; 2 – теплопункт; 3 – раздевалка.

Fig. 4. The scheme of the location of the fire object with the location of the affected firefighter
1 – platform of a ladder; 2 – boiler room; 3 – locker room

Измерение уровня звука аварийного сигнала датчиков в помещении и на открытой местности проводилось по месту проведения эксперимента по прямой линии удаления измерителя шума от источника (рис.5).



Рис. 5. Измерение уровня звука аварийного сигнала датчиков

Fig.5. Measurement of level of a sound of an emergency signal of sensors

Обсуждение результатов. Результаты измерения эргономических особенностей применяемых датчиков неподвижного состояния представлены в табл. 1.

Основные отзывы пользователей, исходя из близких функциональных возможностей датчиков неподвижного состояния, касались вариативности крепления к элементам снаряжения и устойчивости к агрессивной среде на объекте пожара.

Таблица 1. Характеристики и параметры срабатывания датчиков неподвижного состояния

Table 1. Characteristics and parameters of operation of sensors of a motionless state

Наименование устройства Name of devices	Охват талии пожарного с устройствами, м Coverage of a waist the firefighter with devices, m	Вес устройства, гр Weight of devices, gr	Время срабатывания устройств, сек. (предварительный сигнал / основной сигнал) Response time devices, sec. (preliminary signal / main signal)	Вариативность крепления на боевую одежду пожарного Variability of fastening on fighting clothes of the firefighter
«Маяк Спасателя» [16]	1,06	375	48 / 65	со шлевкой возможно крепление на пояс пожарного
MSA (MotionScout) [17]	1,02	249	30 / 48	возможно крепление на пояс, лямки СИЗОД, карабины
Rescue Pass [18]	1,03	191	22 / 34	возможно крепление на пояс, лямки СИЗОД, карабины

Результаты измерения уровня звука аварийного сигнала датчиков, в помещении и на открытой местности, приведены в табл. 2.

Данные показывают высокую вероятность восприятия сигнала датчиков аварийными звеньями ввиду значений уровня звука датчиков, близких к допустимым безопасным значениям.

Таблица 2. Характеристики звуковой сигнализации датчиков неподвижного состояния

Table 2. Characteristics of the audible alarm sensors stills

Наименование устройства Name of devices	Среда замера Measurement environment	Звук устройства (Дб), на расстоянии <i>m</i> Sound of the device (DB), at distance, <i>m</i>			
		5	10	15	20
«Маяк Спасателя»	в помещении indoors	115,8	115,4	104,0	101,1
	на открытом воздухе in the open air	78,1	77,1	72,3	68,3
MSA (MotionScout)	в помещении indoors	93,6	92,9	88,7	87,6
	на открытом воздухе in the open air	82,7	81,1	74,5	69,6
Rescue Pass	в помещении indoors	93,0	90,3	89,1	87,6
	на открытом воздухе in the open air	81,4	81,3	77,1	59,2

Полученные в ходе эксперимента значения времени обнаружения и эвакуации пострадавшего пожарного сведены в табл.3.

Результаты опытов показывают снижение времени нахождения пострадавшего пожарного всеми испытуемыми звеньями при использовании датчиков неподвижного состояния любого исполнения и производителя.

Это свидетельствует о более полной реализации тактических возможностей оперативных отделений пожарных подразделений по выполнению аварийно-спасательных работ, выраженных в сопоставлении времени проведения ОТД [14, 19].

Таблица 3. Результаты измерения времени поиска и эвакуации пострадавшего пожарного
Table 3. Results of measurement of time of search and evacuation of the injured firefighter

Наименование устройства Name of devices	Места расположения пострадавшего пожарного (Рисунок 3) Location of affected firefighter (on Figure 3)	Время обнаружения пострадавшего с использованием устройства time of detection of affected firefighter with using device	Время от нахождения пострадавшего до момента выноса на свежий воздух Time from finding of affected firefighter until carrying him out on fresh air	Общее время Total time
без устройства without device	1	3 мин. 49 сек.	54 сек.	4 мин.43 сек.
	3	50 сек.	38 сек.	1 мин. 28 сек.
«Маяк Спасателя»	2	2 мин. 40 сек.	1 мин.13 сек.	3 мин.53 сек.
MSA (MotionScout)	1	1 мин. 08 сек.	53 сек.	2 мин. 01 сек.
	3	40 сек.	36 сек.	1 мин. 16 сек.
Rescue Pass	2	1 мин. 05 сек.	1 мин. 03 сек.	2 мин. 08 сек.

Вывод. Как видно из результатов эксперимента, применение датчиков неподвижного состояния существенно сокращает время поиска газодымозащитника, находящегося в аварийной ситуации.

Целесообразно применять устройства (датчики) неподвижного состояния при организации работы звеньев ГДЗС при пожаротушении на объектах со сложной планировкой помещений на большой площади (музеи, выставки, торговые центры, мебельные салоны, медицинские учреждения), с протяженными внутренними пространствами (ангары, подземные паркинги, склады материальных ценностей).

С учетом ранее полученных экспериментальных данных, определены средние значения временных параметров проведения разведки звеньями ГДЗС на определенной площади объекта пожара.

Отмечается, что вне зависимости от планировки помещений в целом, время проведения разведки на площади 150 м² составляет не менее 4 минут для одного звена ГДЗС, что свидетельствует о снижении вероятности успешных действий по спасению пострадавших из объектов с большой поэтажной площадью без применения сил и средств ГДЗС на начальном этапе пожаротушения [11, 14, 20].

Полученные экспериментальные данные выступают в качестве опорных показателей при планировании работы сил и средств ГДЗС на объектах со схожей пожарной нагрузкой и аналогичной степенью обустройства помещений материальными ценностями [20].

Библиографический список:

1. Experimentelle Untersuchungen in der holzbefeuerten Brandübungsanlage (HBUEA) der Feuerwehr Karlsruhe. – Karlsruhe : Karlsruher Institut für Technologie – Forschungsstelle für Brandschutztechnik, 2010. – 135 s.
2. Slaby Christoph, Wibel Adrian. Einsatztaktik für die Feuerwehr Hinweise zu Dachstuhlbränden. – Bruchsal : Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg. – August 2012. – 21 s.
3. Анализ действий по тушению пожаров и состояния ГДЗС в частях и подразделениях пожарной охраны Оренбургской области за 2017 год. – 21 с.
4. Анализ деятельности нештатной газодымозащитной службы Пермского территориального пожарно-спасательного гарнизона за 2016 год. – 18 с.
5. Blockley, W. V. Temperature Tolerance: Man: Part 1. Heat and Cold Toleranace with and without Protective Clothing, Biology Data Book, Federation of American Societies for Experimental Biology, Bethesda, MD. – 1973. – p. 781.
6. Torgrim Log. Skin temperatures of a pre-cooled wet person exposed to engulfing flames // Fire Safety Journal, Volume 89, April 2017, Pages 1-6.
7. ГОСТ Р 53255–2009 Техника пожарная. Аппараты дыхательные со сжатым воздухом с открытым циклом дыхания. Общие технические требования. Методы испытаний.

8. Шаршанов А.Я., Пономаренко Р.В., Поляков И.А. Создание условий для защиты пострадавшего от опасных факторов пожара // журнал «Проблемы пожарной безопасности», Национальный университет гражданской защиты Украины – 2014. – № 36. С. 272-278.
9. Трчка Мартин. Специальные проявления пожара и меры пожаротушения. Текст для курсов, подготавливаемых в рамках сотрудничества Чешская республика – Молдавия. ВШБ - Технический Университет Острава. 2014/15, 66 с.
10. Приказ МЧС России от 25.07.2006 №425 «Об утверждении норм табельной положенности пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного оборудования для основных и специальных пожарных автомобилей, изготавливаемых с 2006 года» с изменениями.
11. Михаэль Р. Мэсон, Джеффри С. Пиндельски. Аварийная разведка и спасение пожарных в США. Делмар, 2006, 111 с.
12. Руководство по эксплуатации шумомера Testo 816. ООО «Тэсто Рус», Москва, 20 с.
13. Приказ МЧС России от 09.01.2013 № 3 «Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде».
14. Кабелев Н.А. Пожарная разведка: тактика, стратегия и культура. – Екатеринбург : ООО «Издательство «Калан», 2016. – 348 с.
15. Спириин Н.А., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов); под общей редакцией Н. А. Спирина. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. – 257 с.
16. Руководство по эксплуатации СПНК.425624.013 РЭ Ред.1.3 Комплекс "Маяк спасателя". Санкт-Петербург, 2011, 36 с.
17. MotionSCOUT operating manual. MSA Safety Company, p. 1.
18. Rescue Pass. User's information. Grace Industries, Inc. p. 2.
19. Бужин А.А., Дендаренко Ю.Ю., Сенчихин Ю.Н. Методика оценки организационно-функциональной эффективности пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров // журнал «Проблемы пожарной безопасности», Национальный университет гражданской защиты Украины – 2016. – № 40. С. 44-47.
20. Сорокин П.Д., Юшков В.П., Луговцова Н.Ю. Исследование пожарной нагрузки в жилых домах частного сектора // Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения». Сборник материалов – 2015. С. 307-309.

References:

1. Experimentelle Untersuchungen in der holzbefeuerten Brandübungsanlage (HBUEA) der Feuerwehr Karlsruhe. – Karlsruhe : Karlsruher Institut für Technologie – Forschungsstelle für Brandschutztechnik, 2010. – 135 s.
2. Slaby Christoph, Wibel Adrian. Einsatztaktik für die Feuerwehr Hinweise zu Dachstuhlbränden. – Bruchsal : Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg. – August 2012. – 21 p.
3. Analiz deystviy po tusheniyu pozharov i sostoyaniya GDZS v chastyakh i podrazde-niyakh pozharnoy okhrany Orenburgskoy oblasti za 2017 god. – 21 s. [Analysis of actions to extinguish fires and the state of GDZS in parts and divisions of the fire department of the Orenburg region for 2017. 21 p. (In Russ.)]
4. Analiz deyatel'nosti neshtatnoy gazodymozashchitnoy sluzhby Permskogo territo-rial'nogo pozharno-spasatel'nogo garnizona za 2016 god. – 18 s. [Analysis of the activities of the emergency gas and smoke protection service of the Perm Territorial Fire and Rescue Garrison for 2016. - 18 p. (In Russ.)]
5. Blockley W. V. Temperature Tolerance: Man: Part 1. Heat and Cold Toleranace with and without Protective Clothing, Biology Data Book, Federation of American Societies for Experimental Biology, Bethesda, MD. – 1973. – p. 781.
6. Torgrim Log. Skin temperatures of a pre-cooled wet person exposed to engulfing flames // Fire Safety Journal, Volume 89, April 2017, Pages 1-6.
7. GOST R 53255–2009 Tekhnika pozharnaya. Apparaty dykhatel'nyye so szhatym voz-dukhom s otkryтым tsiklom dykhaniya. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy. [GOST R 53255-2009 Fire equipment. Breathing apparatus with compressed air with an open breathing cycle. General technical requirements. Test methods. (In Russ.)]
8. Sharshanov A.Ya., Ponomarenko R.V., Polyakov I.A. Creating conditions for the protection of a fire damaged by dangerous factors // Journal “Problems of Fire Safety”, National University of Civil Protection of Ukraine – 2014. – № 36. P. 272-278.
9. Trchka Martin. Special manifestations of fire and fire fighting measures. Text for courses prepared in the framework of cooperation Czech Republic - Moldova. VSB - Technical University of Ostrava. 2014/15, 66 p.
10. Prikaz MCHS Rossii ot 25.07.2006 №425 «Ob utverzhdenii norm tabel'noy po-lozhennosti pozharno-tekhnicheskogo vooruzheniya i avariyno-spasatel'nogo oborudovaniya dlya osnovnykh i spetsial'nykh pozharnykh avtomobiley, izgotavlivayemykh s 2006 goda» s izmeneniyami. [Order EMERCOM of Russia of 25.07.2006

- N425 "On Approval of Standards for the Standardized Pollution of Fire and Technical Equipment and Rescue Equipment for Main and Special Fire Fighting Vehicles manufactured since 2006". (In Russ.)]
11. Michael R. Mason, Jeffrey S. Pindelski. Emergency intelligence and rescue of firefighters in USA. Delmar, 2006, 111 p.
 12. Rukovodstvo po ekspluatatsii shumomera Testo 816. ООО «Testo Rus», Moskva, 20 s. [Operation manual for the Testo 816 noise meter. Testo Rus LLC, Moscow, 20 p. (In Russ.)]
 13. Prikaz MCHS Rossii ot 09.01.2013 № 3 «Ob utverzhdenii Pravil provedeniya lichnym sostavom federal'noy protivopozharnoy sluzhby Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby avariyno-spatatel'nykh работ pri tushenii pozharov s ispol'zovaniyem sredstv individual'noy zashchity organov dykhaniya i zreniya v neprigodnoy dlya dykhaniya srede». [Order of EMERCOM of Russia of 09.01.2013 N 3 "On approval of the Rules for conducting by the personal composition of the federal fire service of the State fire service emergency rescue operations for extinguishing fires using personal protective equipment for respiratory organs and vision in an environment unsuitable for breathing". (In Russ.)]
 14. Kabelev N.A. Pozharnaya razvedka: taktika, strategiya i kul'tura. – Yekaterinburg : ООО «Izdatel'stvo «Kalan», 2016. – 348 s. 15 [N.A. Kabelev Fire Intelligence: Tactics, Strategy and Culture. – Ekaterinburg: «Publishing «Kalan», 2016. – 348 p. (In Russ.)]
 15. Spirin N.A., Lavrov V.V. Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov inzhe-nernogo eksperimenta: konspekt lektsiy (otdel'nyye glavy iz uchebnika dlya vuzov); pod obshchey redaktsiyey N. A. Spirina. – Yekaterinburg: GOU VPO UGTU – UPI, 2004. – 257 s. [N.A. Spirin, V.V. Lavrov Methods of planning and processing the results of an engineering experiment: lecture notes (selected chapters from a textbook for universities); under the general editorship of N. A. Spirin. - Ekaterinburg: GOU VPO USTU - UPI, 2004. - 257 p. (In Russ.)]
 16. Rukovodstvo po ekspluatatsii SPNK.425624.013 RE Red.1.3 Kompleks "Mayak spa-satelya". Sankt-Peterburg, 2011, 36 s. [Operation manual of Complex "Beacon of the Rescuer". St. Petersburg, 2011, 36 p. (In Russ.)]
 17. MotionSCOUT operating manual. MSA Safety Company, p. 1.
 18. Rescue Pass. User's information. Grace Industries, Inc. p. 2.
 19. Buzhin A.A, Dendarenko YU.YU., Senchikhin YU.N. Metodika otsenki organizatsion-no-funktsional'noy effektivnosti pozharo-spatatel'nykh podrazdeleniy pri tushenii pozharov // zhurnal «Problemy pozharnoy bezopasnosti», Natsional'nyy universitet grazhdanskoy zashchity Ukrainy – 2016. – № 40. S. 44-47. [A.A. Buzhin, Yu.Yu. Dendarenko, Yu.N. Senchikhin. Methodology for assessing the organizational and functional efficiency of fire and rescue units during fire extinguishing // Journal "Problems of Fire Safety", National University of Civil Protection of Ukraine - 2016. - № 40. P. 44-47. (In Russ.)]
 20. Sorokin P.D., Yushkov V.P., Lugovtsova N.YU. Issledovaniye pozharnoy nagruzki v zhilykh domakh chastnogo sektora // Vserossiyskaya nauchno–prakticheskaya konferentsiya molo-dykh uchenykh, aspirantov i studentov «Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremen-nyye problemy i puti resheniya». Sbornik materialov – 2015. S. 307-309. [P.D. Sorokin, V.P. Yushkov, N.Yu. Lugovtsova Study of the fire load in residential buildings of the private sector // All-Russian Scientific and Practical Conference of young scientists, graduate students and students "Ecology and safety in the technosphere: modern problems and solutions". Collection of materials - 2015. p. 307-309. (In Russ.)]

Сведения об авторе:

Тужиков Евгений Николаевич - начальник кафедры специальной подготовки.

Information about the author.

Evgeny N. Tuzhikov - Head of the department of special training.

Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 11.11.2018.

Received 11.11.2018.

Принята в печать 23.12.2018.

Accepted for publication 23.12.2018.

Для цитирования: Абрамкина Д.В., Абрамян А.А., Шевченко-Эннс Э.Р. Экспериментальное определение коэффициентов конвективной теплоотдачи в системе вентиляции с тепловым побуждением. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(4): 133-141. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-133-141

For citation: Abramkina D.V., Abramyan A.A., Shevchenko-Enns E.R. Experimental determination of convective heat transfer coefficients in thermal buoyancy ventilation system. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 133-141. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-133-141

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 697.952.2

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-133-141

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ В СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯЦИИ С ТЕПЛОВЫМ ПОБУЖДЕНИЕМ

Абрамкина Д.В.¹, Абрамян А.А.², Шевченко-Эннс Э.Р.³

¹⁻³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

¹⁻³129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Россия,

¹e-mail: dabramkina@ya.ru, ²e-mail: alexeyabramyan@icloud.com,

³e-mail: eleonora_shevchenkoenns@mail.ru

Резюме. Цель. Главной целью статьи является представление разработанного метода экспериментального определения коэффициентов конвективной теплоотдачи, подходящего при исследовании внутренней конвекции моделей сложной конфигурации. **Метод.** Исследование свободной конвекции в условиях внутренней задачи проводилось с помощью определения условной толщины пограничного слоя графическим методом. В первую очередь производился подбор расчетных сечений и плоскостей для экспериментальной установки. Выбор осуществляется таким образом, чтобы расчетные плоскости были перпендикулярны нагреваемым стенкам рассматриваемого канала. Установка экспериментальной модели возможна только в помещении с низкой подвижностью внутреннего воздуха, а также устойчивой температурой. В данном помещении не должно быть отопительных и нагревательных приборов, которые могут создавать сильные конвективные потоки около канала экспериментальной установки.

Результат. В статье представлены результаты экспериментального исследования по определению распределения температуры воздушного потока и средних коэффициентов конвективной теплоотдачи по высоте вентиляционного канала. Снижение коэффициентов конвективной теплоотдачи на высоте от 0,5 до 1 метра происходит менее заметно, чем на высоте от 1 до 2 метров, что связано с восстановлением течения после вентиляционного отвода. На участке стабилизации происходит сначала постепенное снижение, а потом увеличение осевой скорости, которое обусловлено слиянием разнонаправленных потоков воздуха в этой области.

Вывод. Выявлено, что в случае моделирования свободной конвекции в условиях внутренней задачи при наличии теплоотводящих границ в пределах расчетной разности температур, учет турбулизации течения практически не оказывает влияние на конечные результаты.

Ключевые слова: свободная конвекция, коэффициент теплоотдачи, условная толщина пограничного слоя, тепловое побуждение

BUILDING AND ARCHITECTURE

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENTS IN THERMAL BUOYANCY VENTILATION SYSTEM

*Daria V. Abramkina*¹, *Alexey A. Abramyan*², *Eleonora R. Shevchenko-Enns*³

¹⁻³ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),*

¹⁻³ *26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337, Russia,*

¹ *e-mail: dabramkina@ya.ru, ² e-mail: alexeyabramyan@icloud.com,*

³ *e-mail: eleonora_shevchenkoenns@mail.ru*

Abstract. Objectives. The main goal of the article is to present the developed method for the experimental determination of convective heat transfer coefficients, suitable for studying the internal convection of models of complex configuration. **Method.** The study of free convection under the conditions of an internal problem was carried out by determining the conditional thickness of the boundary layer by a graphic method. The first was the selection of the calculated sections and planes for the experimental installation. The selection is carried out in such a way that the calculated planes are perpendicular to the heated walls of the channel in question. Installation of an experimental model is possible only in a room with low internal air mobility, as well as a stable temperature. In this room there should not be heating and heating devices that can create strong convective currents near the channel of the experimental installation. **Result.** The article presents the results of an experimental study to determine the temperature distribution of the air flow and average convective heat transfer coefficients over the height of the ventilation channel. A decrease in convective heat transfer coefficients at an altitude of 0.5 to 1 meter occurs less noticeably than at an altitude of 1 to 2 meters, which is associated with the restoration of flow after a vent removal. At the stabilization section, there is first a gradual decrease, and then an increase in axial velocity, which is caused by the merging of multidirectional air flows in this area. **Conclusion.** It was revealed that in the case of modeling free convection under the conditions of an internal problem in the presence of heat-removing boundaries within the limits of the calculated temperature difference, taking into account the flow turbulization has practically no effect on the final results.

Keywords: free convection, heat transfer coefficient, conditional thickness of the boundary layer, thermal inducement

Введение. Исследования качественной структуры свободноконвективных потоков воздуха, формирующихся в ограниченных замкнутых и незамкнутых областях, характерны для различных областей науки: строительной теплофизики [1,2], ракетостроения [3], геологии [4], аэродинамики вентиляционных каналов [5] и солнечных коллекторов [6].

Процессы конвективного теплообмена в строительных конструкциях влияют на величину теплопотерь и теплопоступлений в здание, поэтому проведение исследований потоков воздуха в навесных фасадных системах [7], светопрозрачных конструкциях [8] и различных строительных материалах [9], играют значительную роль в комплексном подходе к энергосбережению здания. Современные научные работы, касающиеся разработок энергоэффективных систем вентиляции, таких как: системы с двойными вентилируемыми фасадами [10], атриумами [11], тепловым побуждением воздуха [12], используют свободную конвекцию в качестве основной движущей силы, позволяющей обеспечить требуемый воздухообмен в помещении.

Постановка задачи. В данной статье предлагается метод экспериментального определения коэффициентов конвективного теплообмена на примере системы вентиляции с тепловым побуждением движения воздуха.

Коэффициент теплоотдачи является сложной функцией различных величин, характеризующих процесс теплоотдачи. В общем случае коэффициент конвективной теплоотдачи является функцией формы, размеров и температуры поверхностей нагрева, температуры и скорости

движения жидкости, а так же ее физических свойств - коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости, плотности, коэффициента вязкости и других факторов. В связи с чем, коэффициенты теплоотдачи чаще всего определяют экспериментальным путем.

В основном, в подобных исследованиях нагрев поверхности осуществляется с помощью греющих кабелей [13], при этом ход проведения исследования выглядит следующим образом:

1. Определение суммарного теплового потока Q , Вт:

$$Q = \frac{U^2}{R_s}, \quad (1)$$

U - электрическое напряжение, приложенное к участку, В;

R_s - электрическое сопротивление участка, Ом.

2. Определение суммарной плотности теплового потока q , Вт/м²:

$$q = \frac{Q}{F}, \quad (2)$$

F - площадь поверхности теплообмена, м².

3. Определение плотности теплового потока излучением q_l , Вт/м²:

$$q_l = C_{np} \cdot \left[\left(\frac{T_{cp}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{окр}}{100} \right)^4 \right], \quad (3)$$

C_{np} - приведенный коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴);

T_{cp} - средняя температура рассматриваемого участка, К;

$T_{окр}$ - температура окружающих поверхностей, К.

4. Определение плотности конвективного теплового потока q_k , Вт/м²:

$$q_k = q - q_l \quad (4)$$

5. Определение локального коэффициента конвективной теплоотдачи α , Вт/(м²·°С):

$$\alpha = \frac{q_k}{\theta}, \quad (5)$$

θ - расчетная разность температур между нагретой поверхностью и жидкостью (газом), °С.

Однако данный метод является не совсем точным при исследовании больших установок в связи с тем, что электрическая мощность кабеля может значительно отличаться от суммарного теплового потока, передаваемого экспериментальной модели, который зависит от материала поверхности, ее месторасположения, степени прилегания кабеля и качества тепловой изоляции. Неточное определение лучистой составляющей теплового потока при некорректной оценке степени черноты может так же привести к возникновению существенной погрешности измерений [14].

Методы исследования. В настоящем исследовании предлагается графический способ определения коэффициента конвективной теплоотдачи, в основе которого лежит нахождение условной толщины пограничного слоя $\delta t'$, мм [15].

В первую очередь производится подбор расчетных сечений и плоскостей для экспериментальной установки. Выбор осуществляется таким образом, чтобы расчетные плоскости были перпендикулярны нагреваемым стенкам рассматриваемого канала (рис. 1а).

На рис.1б изображены координаты точек, в которых осуществляется измерение температуры. Необходимо учесть, что наибольшее колебание фактических координат точек, в которых проводятся измерения не должно превосходить $\pm 10\%$. Точка, рассматриваемая по центру сечения, служит для дополнительного контроля точности проводимых измерений.

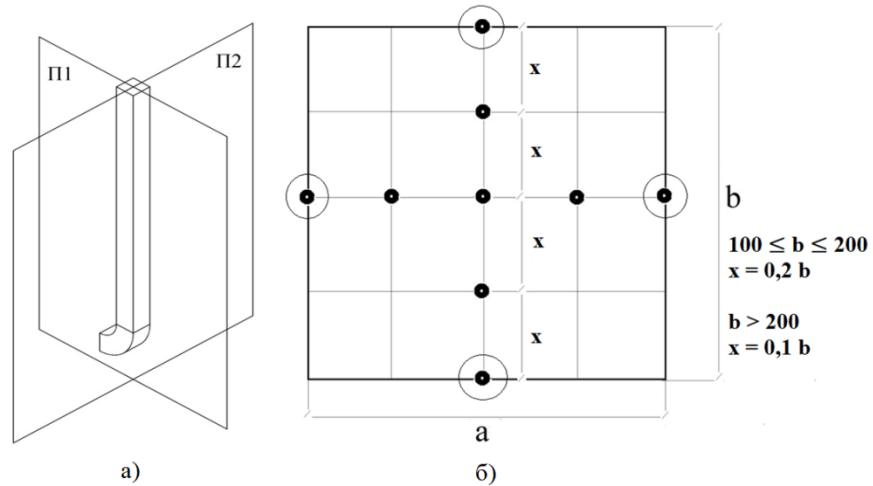


Рис.1 Методология проведения экспериментального исследования:

а) подбор расчетных плоскостей экспериментальной установки; б) координаты точек для измерения температуры

Fig.1 Methodology for conducting an experimental study:

a) selection of the calculated planes of the experimental setup; b) coordinates of points for temperature measurement

Установка экспериментальной модели возможна только в помещении с низкой подвижностью внутреннего воздуха, а также устойчивой температурой. В данном помещении не должно быть отопительных и нагревательных приборов, которые могут создавать сильные конвективные потоки около канала экспериментальной установки.

Измерение температур в каждой расчетной точке производилось с помощью термоанометра не менее 10 с. Если за время трех измерений данные прибора сохраняются приблизительно постоянными, то испытания можно считать оконченными. Наблюдение за условной температурой на поверхности канала производится с помощью термоэлектрических преобразователей.

По полученным результатам исследований, строятся температурные профили по высоте канала. Условная толщина пограничного слоя измеряется длиной под касательной и кривой распределения температур в пределах пограничного слоя у нагретой поверхности (рис.2).

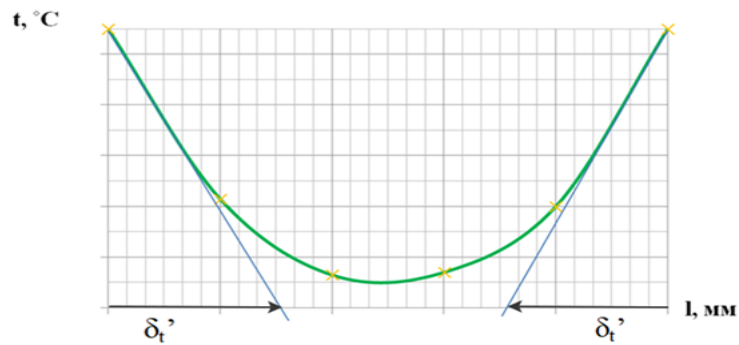


Рис. 2. Определение условной толщины пограничного слоя δ_t' , мм графическим методом

Fig. 2. The definition of the conditional thickness of the boundary layer δ_t' , mm graphical method

Коэффициент конвективного теплообмена, α , Вт/(м²·°C) определяется по формуле, в зависимости от условной толщины пограничного слоя δ_t' и коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м·°C) [15]:

$$\alpha = \frac{1000 \cdot \lambda}{\delta_t'} \quad (6)$$

Обсуждение результатов. На рис. 3 представлены результаты натурального исследования при расчетной разности условной температуры на стенке воздуховода и температуры внутреннего воздуха в помещении θ , равной 10°C .

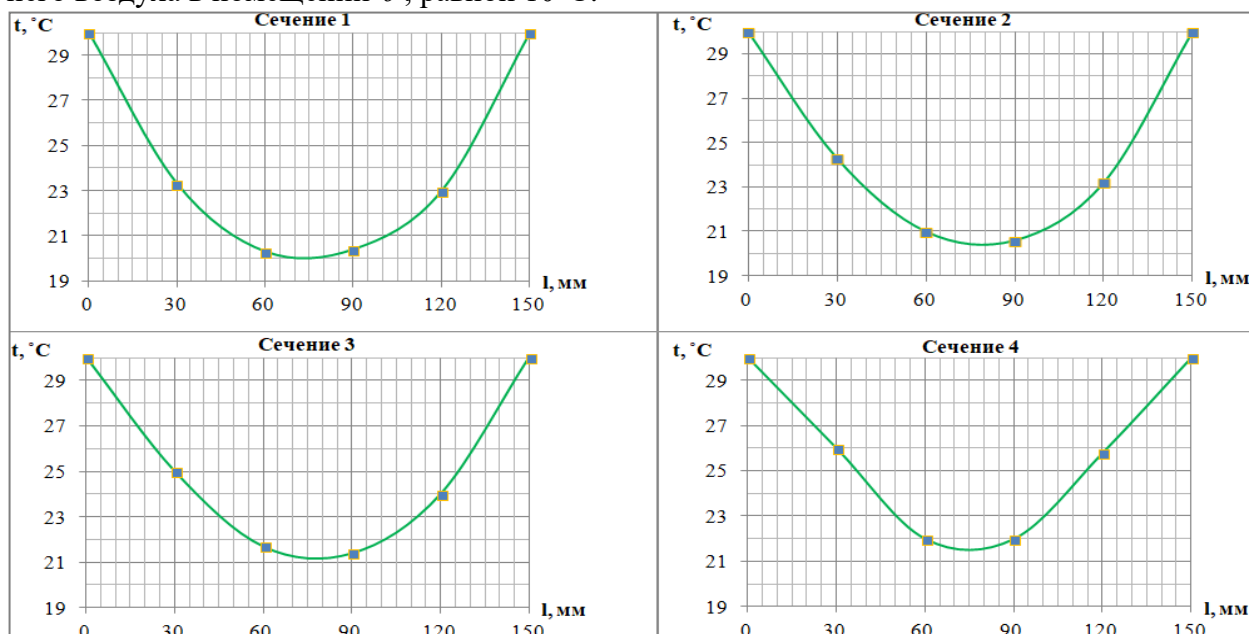


Рис.3. Графики распределения температуры воздушного потока по контрольным сечениям плоскости Π_1

Fig.3. Graphs of the distribution of temperature of the air flow on the control cross sections of the plane P_1

Как показывают результаты исследования, профили температуры будут различаться при рассмотрении плоскостей Π_1 (рис. 3) и Π_2 (рис. 4), данное явление обусловлено влиянием вентиляционного отвода.

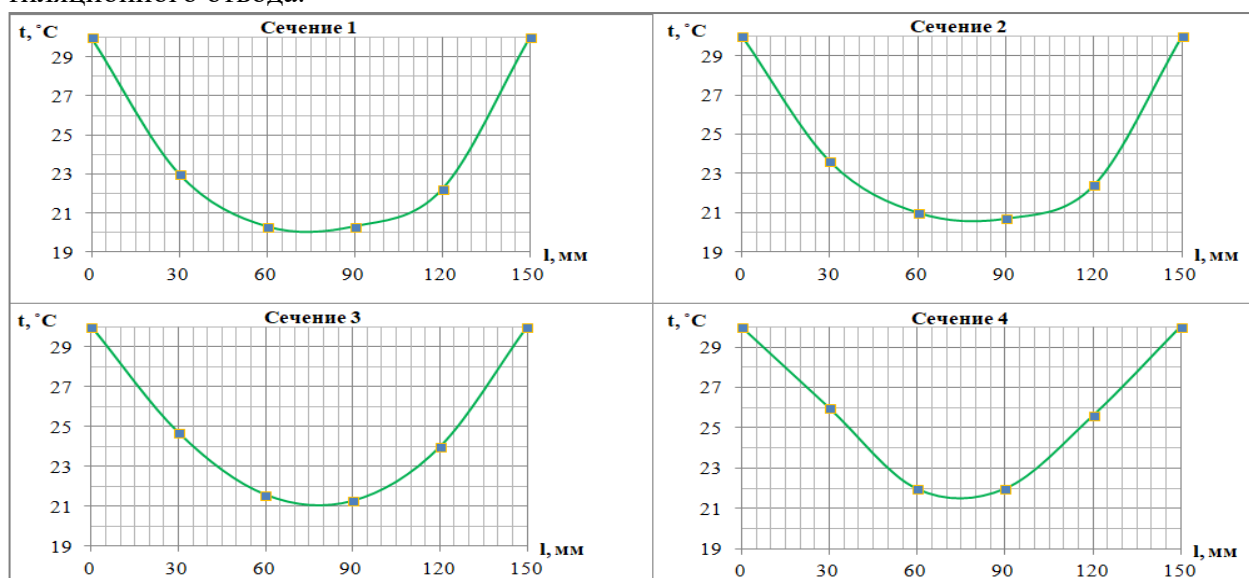


Рис.4. Графики распределения температуры воздушного потока по контрольным сечениям плоскости Π_2

Fig.4. Graphs of the distribution of air temperature over the control cross sections of the P_2 plane

Под действием центробежной силы поток воздуха оттесняется к внешней границе вентиляционного отвода, отталкивая от стенки частицы с низкими скоростями [16], в связи с чем, происходит оттеснение конвективного потока в вертикальной части канала со стороны скругления большого радиуса. В срыв потока в данном случае имеет менее ярко выраженный характер, чем при применении отводов прямоугольной формы [17].

С увеличением высоты, графики приобретают более крутой изгиб, что связано с постепенным увлечением прогрева ядра воздушного потока. Значения коэффициентов конвективной теплоотдачи в условиях внутренней конвекции на порядок меньше, чем при рассмотрении конвекции у поверхностей в неограниченном пространстве [18].

Данное явление обусловлено особенностями движения воздушных масс внутри нагретых каналов: ламинаризацией течения за счет наличия теплоотводящих границ, а так же стеснением потоков, формирующихся у стенок, в результате чего происходит снижение интенсивности теплоотдачи (рис. 5).

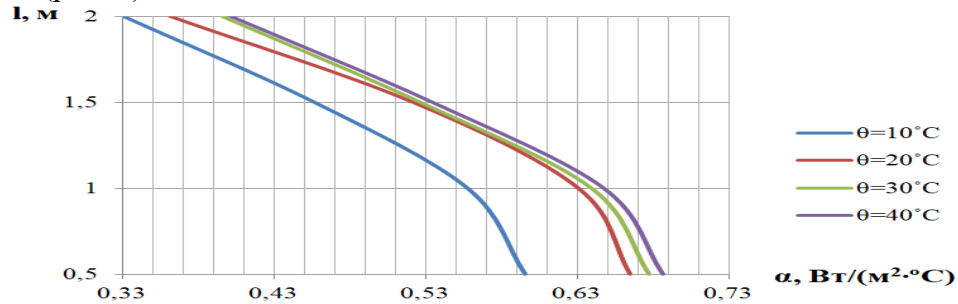


Рис.5. График изменения средних коэффициентов конвективной теплоотдачи α , Вт/(м²·°С) по высоте вентиляционного канала l , м при различной расчетной разности температур θ , °С

Fig.5. Graph of change of average coefficients of convective heat transfer α , W / (m² °C) along the height of the ventilation channel l , m at various calculated temperature difference θ , °C

Коэффициент конвективной теплоотдачи уменьшается по высоте вентиляционного канала, в силу увеличения толщины пограничного слоя, что характерно для ламинарного характера течения [17].

Снижение коэффициентов конвективной теплоотдачи на высоте от 0,5 до 1 метра происходит менее заметно, чем на высоте от 1 до 2 метров, что связано с восстановлением течения после вентиляционного отвода. На участке стабилизации происходит сначала постепенное снижение, а потом увеличение осевой скорости, которое обусловлено слиянием разнонаправленных потоков воздуха в этой области.

Для определения точности проводимых исследований, было проведено сравнение результатов эксперимента и численного моделирования, выполненного по методике, представленной в [5] (рис. 6).

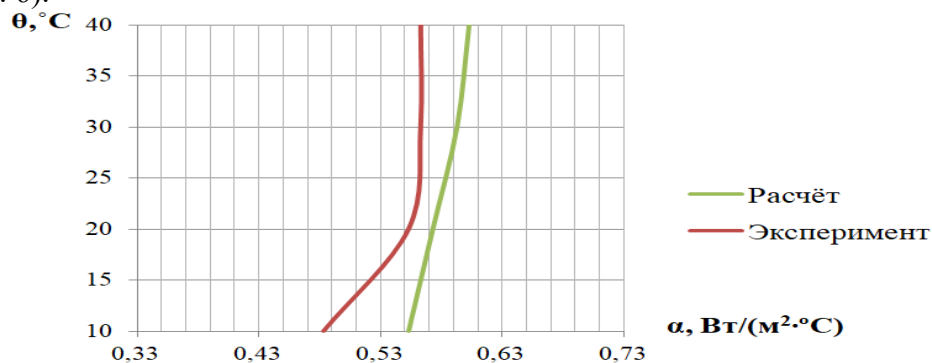


Рис. 6. Сравнение результатов численного моделирования и экспериментального исследования. График изменения средних коэффициентов теплоотдачи α , Вт/(м²·°С) в зависимости от расчетной разности температур θ , °С

Fig. 6. Comparison of the results of numerical simulation and experimental research. Graph of changes in average heat transfer coefficients α , W / (m² · °C) depending on the calculated temperature difference θ , °C

Вследствие низкой интенсивности теплообмена при свободной конвекции, проведение измерений температуры и скорости по сечению канала могут вызывать нарушения теплообмена [18], что особенно заметно при небольшой разности температур $\theta=10$ °С.

Вывод. Представленный метод позволяет высокоточно определить коэффициенты конвективной теплоотдачи, что особенно важно в случаях, когда экспериментальная модель имеет сложную геометрию.

Выявлено, что в случае моделирования свободной конвекции в условиях внутренней задачи при наличии теплоотводящих границ в пределах расчетной разности температур, учет турбулизации течения практически не оказывает влияние на конечные результаты.

Относительная погрешность при измерении температуры воздушного потока составила 0,5%.

Библиографический список

1. Корепанов Е.В. Свободная конвекция в окнах с двойным остеклением / Е.В. Корепанов // Известия высших учебных заведений. Строительство – 2005 – №2 – С. 106-113.
2. Корепанов Е.В. Конвективные течения и теплообмен в воздушных полостях строительных изделий / Е.В. Корепанов // Интеллектуальные системы в производстве. -2014. – № 2 (24). – С. 184-188.
3. Zyuzgin A.B. Convective motions in near-critical fluids under real zero-gravity conditions / A.B. Zyuzgin, A.I. Ivanov, V.I. Polezhaev, G.F. Putin, E. V. Soboleva // Cosmic Investigations – 2001 – V.39. №2 – Pp. 188-200.
4. Миндубаев М.Г., Демежко Д.Ю. Свободная тепловая конвекция в буровых скважинах: численное моделирование и экспериментальные данные / М.Г. Миндубаев, Д.Ю. Демежко // Мониторинг. Наука и технологии – 2012 – №4. – С. 12-18. http://csmos.ru/download/mnt/mnt_v013_art02.rar
5. Groenhout N.K., Morrison L. G., Behnia M. Natural convection heat transfer in a solar collector with complex geometry. / N.K. Groenhout, L.G. Morrison, M. Behnia // Conference: 39th National Heat Transfer Symposium of Japan, Sapporo. – 2002. – Pp. 317-318. <https://www.researchgate.net/publication/267780417>
6. Машенков А.Н., Косолапов Е.А. О методах численного решения двумерных уравнений Буссинеска для свободной конвекции / А.Н. Машенков, Е.А. Косолапов // Строительные науки – 2010. – №3. – С. 292-296. <https://cyberleninka.ru/article/v/o-metodah-chislennogo-resheniya-dvumernyh-uravneniy-bussineska-dlya-svobodnoy-konveksii>
7. De Giorgi L., Bertola V., Cafaro E. Thermal convection in double glazed windows with structured gap. / L. De Giorgi, V. Bertola, E. Cafaro // Energy and Buildings – 2011. – Vol. 43. – Iss. 8. – Pp. 2034-2038. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.043>
8. Arıcı M., Yılmaz B., Karabay H. Investigation of heat insulation performance of hollow clay bricks filled with perlite. / M. Arıcı, B. Yılmaz, H. Karabay // Special issue of the 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015). – 2016. – Vol. 130. – No. 1. – Pp. 266 - 268. <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/130/a130z1p069.pdf>
9. Parra J., Guardo A., Egusquiza E., Alavedra P. Thermal performance of ventilated double skin façades with venetian blinds. / J. Parra, A. Guardo, E. Egusquiza, P. Alavedra // Energies. – 2015. – No. 8. – Pp. 4882-4898. doi:10.3390/en8064882
10. Tongbai P. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation / P. Tongbai, T. Chitsomboon // Journal of power and energy engineering – 2014. - №2. – Pp. 22-29.
11. Holman J.P. Experimental methods for engineers / J.P. Holman – NY.: McGraw-Hill series in mechanical engineering, 2012. – 761 p.
12. Данин В.В. Экспериментальное изучение свободно – конвективного охлаждения теплонагруженных поверхностей / В.В. Данин, О.Б. Цветков, О.П. Крестунов, С.Е. Семашко // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 2. – С. 7-15.
13. Эккерт Э. Р., Дрейк Р. М. Теория тепло- и массообмена. / Э.Р. Эккерт, Р.М. Дрейк - М.—Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.
14. Рихтер Г. Гидравлика трубопроводов: Основные положения, результаты исследований, практич. расчеты и изготовление трубопроводов / Г.Рихтер – М.-Л.: Онти. Глав. ред. энергетич. лит-ры, 1936. – 324 с.
15. Дементьев М.А. О движении жидкости в местах поворота русла. / М.А. Дементьев – Л.: Изд. сектора гидротехники и гидротехн. сооружений, 1930. – 107 с.
16. Taylor A. Oetelaar1. Determination of the convective heat transfer coefficient of hot air rising through terracotta flues / aylor A. Oetelaar1, Clifton R. Johnston // Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering – 2012. – V. 36. - № 4. – Pp. 413-427.
17. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / В.Н. Богословский – М.: Изд. Высшая школа, 1982. – 415 с.
18. Попов И.А. Гидродинамика и теплообмен внешних и внутренних свободноконвективных вертикальных течений с интенсификацией. Интенсификация теплообмена: монография / Под. общ. ред. Ю.Ф. Гортышова – Казань: Центр инновационных технологий, 2007. – 326 с.

References:

1. Korepanov E.V. Svobodnaya konvektsiya v oknakh s dvoynym ostekleniem / E.V. Korepanov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo – 2005 – №2 – S. 106-113. [Korepanov E.V. Free convection in double glazed windows / E.V. Korepanov // Proceedings of higher educational institutions. Construction - 2005 - №2 - P. 106-113. (in Russ.)]
2. Korepanov E.V. Konvektivnye techeniya i teploobmen v vozdushnykh polostyakh stroitel'nykh izdelii / E.V. Korepanov // Intellektual'nye sistemy v proizvodstve. -2014. – № 2 (24). – S. 184-188. [Korepanov E.V. Convective flows and heat transfer in the air cavities of building products / E.V. Korepanov // Intellectual systems in production. -2014. - № 2 (24). - p. 184-188. (in Russ.)]
3. Zyuzgin A.B. Convective motions in near-critical fluids under real zero-gravity conditions / A.B. Zyuzgin, A.I. Ivanov, V.I. Polezhaev, G.F. Putin, E. B. Soboleva // Cosmic Investigations – 2001 – V.39. №2 – Pp. 188-200.
4. Mindubaev M.G., Demezhko D.Yu. Svobodnaya teplovaya konvektsiya v burovykh skvazhinakh: chislennoe modelirovanie i eksperimental'nye dannye / M.G. Mindubaev, D.Yu. Demezhko // Monitoring. Nauka i tekhnologii – 2012 – №4. – S. 12-18. http://cosmos.ru/download/mnt/mnt_v013_art02.rar [Mindubaev MG, Demezhko D.Yu. Free thermal convection in boreholes: numerical modeling and experimental data / MG. Mindubaev, D.Yu. Demezhko // Monitoring. Science and Technology - 2012 - №4. - p. 12-18. http://cosmos.ru/download/mnt/mnt_v013_art02.rar (in Russ.)]
5. Groenhout N.K., Morrison L. G., Behnia M. Natural convection heat transfer in a solar collector with complex geometry. / N.K. Groenhout, L.G. Morrison, M. Behnia // Conference: 39th National Heat Transfer Symposium of Japan, Sapporo. – 2002. – Pp. 317-318. <https://www.researchgate.net/publication/267780417>
6. Mashenkov A.N., Kosolapov E.A. O metodakh chislenogo resheniya dvumernykh uravnenii Bussineska dlya svobodnoi konveksii / A.N. Mashenkov, E.A. Kosolapov // Stroitel'nye nauki – 2010. – №3. – S. 292-296. <https://cyberleninka.ru/article/v/o-metodah-chislenogo-resheniya-dvumernykh-uravneniy-bussineska-dlya-svobodnoy-konveksii>[Mashenkov A.N., Kosolapov E.A. On methods for the numerical solution of the two-dimensional Boussinesq equations for free convection / A.N. Mashenkov, E.A. Kosolapov // Building Sciences - 2010. - №3. - p. 292-296. <https://cyberleninka.ru/article/v/o-metodah-chislenogo-resheniya-dvumernykh-uravneniy-bussineska-dlya-svobodnoy-konveksii> (In Russ.)]
7. De Giorgi L., Bertola V., Cafaro E. Thermal convection in double glazed windows with structured gap. / L. De Giorgi, V. Bertola, E. Cafaro // Energy and Buildings – 2011. – Vol. 43. – Iss. 8. – Pp. 2034-2038. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.043>
8. Arıcı M., Yılmaz B., Karabay H. Investigation of heat insulation performance of hollow clay bricks filled with perlite. / M. Arıcı, B. Yılmaz, H. Karabay // Special issue of the 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015). – 2016. – Vol. 130. – No. 1. – Pp. 266 - 268. <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/130/a130z1p069.pdf>
9. Parra J., Guardo A., Egusquiza E., Alavedra P. Thermal performance of ventilated double skin façades with venetian blinds. / J. Parra, A. Guardo, E. Egusquiza, P. Alavedra // Energies. – 2015. – No. 8. – Pp. 4882-4898. doi:10.3390/en8064882
10. Tongbai P. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation / P. Tongbai, T. Chitsomboon // Journal of power and energy engineering – 2014. - №2. – Pp. 22-29.
11. Holman J.P. Experimental methods for engineers / J.P. Holman – NY.: McGraw-Hill series in mechanical engineering, 2012. – 761 p.
12. Danin V.V. Eksperimental'noe izuchenie svobodno – konvektivnogo okhlazhdeniya teplonagruzhennykh povrkhnostei / V.V. Danin, O.B. Tsvetkov, O.P. Krektunov, S.E. Semashko // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. – 2014. – № 2. – C. 7-15. [Danin V.V. Experimental study of free - convective cooling of heat-loaded surfaces / V.V. Danin, OB Tsvetkov, O.P. Krektunov, S.E. Semashko // Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and equipment for food production. - 2014. - № 2. - C. 7-15. 9 (In Russ.)]
13. Eckert E. R., Drake R. M. Teoriya teplo- i massobmena. / E.R. Eckert, R.M. Drake - M.—L.: Gosenergoizdat, 1961. – 680 s. [Eckert, E. R., Drake, R. M. The Theory of Heat and Mass Transfer. / E.P. Eckert, R.M. Drake - M. — L. : Gosenergoizdat, 1961. - 680 p (In Russ.)]
14. Rikhter G. Gidravlika truboprovodov: Osnovnye polozheniya, rezul'taty issledovaniy, praktich. raschety i izgotovlenie truboprovodov / G.Rikhter – M.-L.: Onti. Glav. red. energetich. lit-ry, 1936. – 324 s. [G. Richter. Hydraulics of pipelines: Basic provisions, results of research, practical. calculations and production of pipelines / G.Rikhter - M.L.: Onti. Chapters. ed. energetic liters, 1936. – 324 (In Russ.)]
15. Dement'ev M.A. O dvizhenii zhidkosti v mestakh povorota rusla. / M.A. Dement'ev – L.: Izd. sektora gidrotekhniki i gidrotekhn. sooruzhenii, 1930. – 107 s. [Dementiev M.A. On the movement of fluid in places of rotation of the channel. / M.A. Dementiev - L. : Izd. sector of hydraulic engineering and hydraulic engineering. constructions, 1930. - 107 p. (In Russ.)]
16. Taylor A. Oetelaar1. Determination of the convective heat transfer coefficient of hot air rising through terracotta flues / aylor A. Oetelaar1, Clifton R. Johnston // Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering – 2012. – V. 36. - № 4. – Pp. 413-427.

17. Bogoslovskii V.N. Stroitel'naya teplofizika. Teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukhа / V.N. Bogoslovskii – M.: Izd. Vysshaya shkola, 1982. – 415 s.[Bogoslovskii V.N. Construction thermophysics. Thermophysical foundations of heating, ventilation and air conditioning / V.N. Bogoslovskii - M. : Izd. Higher school, 1982. - 415 p. (In Russ.)]
18. Popov I.A. Gidrodinamika i teploobmen vneshnikh i vnutrennikh svobodnokonvektivnykh vertikal'nykh techenii s intensivatsiei. Intensifikatsiya teploobmena: monografiya / Pod. obshch. red. Yu.F. Gortyshova – Kazan': Tsentr innovatsionnykh tekhnologii, 2007. – 326 s.[Popov I.A. Hydrodynamics and heat transfer of external and internal free convective vertical flows with intensification. Intensification of heat transfer: monograph / Under. total ed. Yu.F. Gortyshova - Kazan: Center for Innovative Technologies, 2007. - 326 p. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Дарья Викторовна Абрамкина - преподаватель, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Алексей Арайкович Абрамян – бакалавр, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Элеонора Руслановна Шевченко-Эннс - бакалавр, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Information about the authors.

Daria V. Abramkina - Teacher, Department "Heat and gas supply and ventilation".

Alexey A. Abramyan - Bachelor, Department "Heat and gas supply and ventilation".

Eleonora R. Shevchenko-Enns - Bachelor, Department "Heat and gas supply and ventilation".

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.11.2018.

Принята в печать 23.12.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.11.2018.

Accepted for publication 23.12.2018.

Для цитирования: Агапов В.П., Айдемиров К.Р. Исследование несущей способности железобетонных плит с трещинами после их усиления композитными тканями методом конечных элементов с помощью вычислительного комплекса ПРИНС. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (4): 142-152. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-142-152

For citation: Agapov V.P., Aydemirov K.R. Investigation of the carrying capacity of reinforced concrete slabs with cracks after their reinforcement with composite fabrics by the finite element method using the PRINS computer complex. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 142-152. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-142-152

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК: 539.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-142-152

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С ТРЕЩИНАМИ ПОСЛЕ ИХ УСИЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫМИ ТКАНЯМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРИНС

Агапов В.П.¹, Айдемиров К.Р.²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

¹129337, г.Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Россия,

²Дагестанский государственный технический университет,

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

¹e-mail: agapovpb@mail.ru, ²e-mail: kyrayd@mail.ru

Резюме. Цель. Рассматривается конечно-элементная методика расчета железобетонных плит с трещинами после их усиления композитными тканями с целью определения остаточного запаса прочности. **Метод.** Методика основана на использовании алгоритмов расчета конструкций с учетом геометрической и физической нелинейности, реализованных в программе ПРИНС. Эти алгоритмы предполагают использование одной и той же расчетной схемы в процессе решения задачи. Однако специфика поставленной проблемы заключается в том, что расчетная схема конструкции до появления в ней дефектов и после усиления ее с помощью композитных материалов должна изменяться. **Результат.** С учетом этого обстоятельства алгоритмы нелинейного расчета конструкций по программе ПРИНС были дополнены опцией, позволяющей в процессе сквозного расчета менять параметры расчетной схемы. Для исследования несущей способности железобетонных плит используются многослойные конечные элементы, для каждого из которых задан определенный пакет материалов. Модернизация расчетной схемы в данном случае сводится к замене одного пакета материалов на другой. Приводится пример расчета плиты с трещиной, усиленной композитной тканью. **Вывод.** Показано, что использование перестраиваемой расчетной схемы позволяет существенно повысить точность расчетов. При этом конечный результат зависит от того, на какой стадии формирования дефектов в плите осуществляется ее усиление. В расчетах использованы специальные многослойные конечные элементы четырехугольной формы. Элементы состоят из четырех простейших треугольников, для которых большая часть матричных характеристик вычисляется в замкнутом виде. Это особенно важно при проведении нелинейных расчетов, требующих многократного перевычисления этих характеристик.

Ключевые слова: строительные сооружения; плиты, метод конечных элементов; нелинейность; несущая способность; программное обеспечение

BUILDING AND ARCHITECTURE

INVESTIGATION OF THE CARRYING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE SLABS WITH CRACKS AFTER THEIR REINFORCEMENT WITH COMPOSITE FABRICS BY THE FINITE ELEMENT METHOD USING THE PRINS COMPUTER COMPLEX

Vladimir P. Agapov¹, Kurban R. Aydemirov²

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering,

¹129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26,

²Dagestan State Technical University,

²367026, Makhachkala, 70 Shamil Ave., Russia,

¹e-mail: agapovpb@mail.ru, ²e-mail: kyrayd@mail.ru

Abstract. Objectives. The finite element method for cracked reinforced concrete slabs analysis after they were reinforced with composite fabrics in order to determine the residual safety factor is considered. **Method.** The method is based on the use of algorithms for calculating of structures with the account of the geometrical and physical nonlinearities, implemented in the PRINS program. These algorithms assume the use of the same calculation scheme in the process of the problem solving. However, the specifics of the assigned problem is that the design scheme of the structure before the appearance of defects in it and after its amplification with the help of composite materials should change. **Result.** Taking into account this circumstance, the algorithms of nonlinear calculation of structures under the PRINS program were supplemented with an option that allows changing the parameters of the design scheme in the process of through calculation. To study the bearing capacity of reinforced concrete slabs, multilayer finite elements are used, for each of which a specific package of materials is specified. Modernization of the design scheme in this case comes down to replacing one package of materials with another. An example of calculation of a slab with a crack reinforced with composite fabric is given. **Conclusion.** It is shown that the use of a tunable design scheme can significantly improve the accuracy of calculations. In this case, the final result depends on what stage of the formation of defects in the slab its strengthening is realized. The special multilayered finite elements of a quadrangular shape are used in calculations. The elements consist of four simple triangles, for which most of the matrix characteristics are calculated in a closed form. This is especially important when carrying out nonlinear calculations that require repeated computations of these characteristics.

Keywords: buildingstructures; plates; finiteelement method; nonlinearities; load-bearingcapacity; software

Введение. Усиление железобетонных конструкций рекомендуется проводить при несоответствии фактической несущей способности требованиям действующих нормативных документов, при наличии дефектов и повреждений, при снижении несущей способности с повышением внешней нагрузки, при появлении механических повреждений, образовании трещин в растянутых элементах и защитном слое бетона конструкций, а также с целью компенсации недостаточной толщины защитного слоя.

Для усиления рекомендуется использовать композиционные материалы, создаваемые непосредственно на ремонтируемом объекте из лент, холстов и тканей, втапливаемых в слой эпоксидного клея, свойства которых определяются типом применяемого в ткани углеродистого волокна. Усиление, проведенное таким образом, позволяет восстановить работоспособное состояние конструкций, повысить несущую способность и долговечность сооружения или его конструктивных частей и элементов.

Постановка задачи. Современные технологии усиления конструкций композитными материалами, в том числе тканями на основе углеродных волокон, позволяют проводить ремонт

железобетонных конструкций при возникновении дефектов без демонтажа как конструкций в целом, так и отдельных их элементов [1-6]. Это позволяет сократить сроки проведения ремонтов и снизить их стоимость.

Однако при этом возникает проблема выбора необходимого материала для ремонта и оценки запаса прочности при дальнейшей эксплуатации конструкции. Рекомендации по ремонту и усилению железобетонных конструкций, разработанные различными ведомствами (например, [6]), основаны, главным образом, на экспериментальных сведениях о работе подобных конструкций и не предполагают точного анализа их напряженно-деформированного состояния.

Проблема может быть решена с помощью компьютерных программ, в которых реализованы методы расчета конструкций с учетом нелинейности деформирования [7-9].

Однако алгоритмы, используемые в подобных программах, как правило, не учитывают особенностей задачи, связанной с усилением и последующим определением коэффициента запаса прочности конструкции, и поэтому необходимо развитие этих алгоритмов [10-12]. Основная особенность сформулированной выше задачи заключается в том, что расчет конструкции после ее усиления должен выполняться при изменении расчетной схемы, но с учетом накопленного к моменту ремонта напряженно-деформированного состояния. Данная работа посвящена развитию методики нелинейного расчета конструкций методом конечных элементов с учетом этой особенности и адаптации ее к программному комплексу ПРИНС [13].

Методы исследования. Программа ПРИНС позволяет определять несущую способность железобетонных плит, доводя их до разрушения шаговым методом на математической модели и определяя возможные дефекты в виде трещин в бетоне и пластических деформаций в арматуре. Для этого на каждом шаге нагружения составляется система нелинейных алгебраических уравнений, описывающая напряженно-деформированное состояние конструкции [14]:

$$[K_{NL_0} + K_{\sigma} + K_{NL_1} + K_{NL_2}] \{\Delta u\} = \{\Delta P\}, \quad (1)$$

где $[K_{NL_0}]$, $[K_{NL_1}]$, $[K_{NL_2}]$ – матрицы жесткости нулевого, первого и второго порядков, соответственно; $[K_{\sigma}]$ – матрица начальных напряжений; $\{\Delta u\}$ и $\{\Delta P\}$ – векторы приращений узловых перемещений и нагрузок, соответственно.

Матрицы $[K_{NL_1}]$ и $[K_{NL_2}]$ зависят от перемещений текущего шага нагружения в первой и второй степени, соответственно. Эта зависимость получена в работе [14] в явном виде. Матрица $[K_{NL_0}]$, чьи элементы определяются свойствами материала, также зависит от величины шаговых перемещений, но получить эту зависимость в явном виде не удастся.

Эта матрица может быть найдена в начале шага по нагрузке с учетом физических свойств материала в рассматриваемый момент времени, и при тех же предположениях в конце шага. Обозначим эти матрицы K_0 и K_1 , соответственно.

Так как свойства материала на шаге нагружения меняются, матрица $[K_{NL_0}]$ может быть найдена приближенно как полусумма матриц K_0 и K_1 . Таким образом, $K_{NL_0} = \frac{1}{2}(K_0 + K_1)$. Матрица $[K_{NL_0}]$ с другой стороны может быть представлена в виде

$$K = K_0 + \Delta K. \quad (2)$$

Из приведенных выше соотношений следует, что $\Delta K = K - K_0 = \frac{1}{2}(K_0 + K_1) - K_0 = \frac{1}{2}(K_1 - K_0)$.

С учетом формулы (2) уравнение (1) принимает вид:

$$[K_0 + \Delta K + K_{\sigma} + K_{NL_1} + K_{NL_2}] \{\Delta u\} = \{\Delta P\}, \quad (3)$$

Уравнение (3) решается в программе ПРИНС итерационным методом, который можно назвать квази-ньютоновским, поскольку, в отличие от ньютоновских методов матрица жесткости вычисляется на каждой итерации, но обращается только ее линейризованная часть, равная $K_0 + K_\sigma$. Это делается только один раз в начале шага. Уравнение (3) записывается в форме

$$[K_0 + K_\sigma]_j \{\Delta u\}_j^{(i)} = \{\Delta P\}_j - [\Delta K + K_{NL_1} + K_{NL_2}]_j^{(i-1)} \{\Delta u\}_j^{(i-1)}, \quad (4)$$

где j – номер шага нагружения, i – номер итерации на данном шаге. Приращения напряжений на каждом шаге нагружения вычисляются по формуле

$$\Delta \sigma = C_{ep} \Delta \varepsilon. \quad (5)$$

где C_{ep} – упруго-пластическая матрица характеристик материала. Техника вычисления этой матрицы применительно к конкретному виду конечных элементов и используемого материала описана в различных работах (см., например [15-16]), в том числе в работах авторов [17-19].

Полные значения перемещений и напряжений находятся в конце шага нагружения по формулам:

$$u = u_0 + \Delta u; \quad \sigma = \sigma_0 + \Delta \sigma. \quad (6)$$

Расчеты железобетонных плит проводятся в программе ПРИНС с использованием многослойных конечных элементов, при этом арматура заменяется слоем эквивалентной толщины с однонаправленными свойствами материала. При расчетах с учетом физической нелинейности напряжения в слоях корректируются в соответствии с заданными диаграммами деформирования материалов. Это приводит к нарушению условий равновесия, поэтому после окончания итераций по уравнению (4) вычисляется невязка как разность между полным вектором внешних сил и узловым эквивалентом внутренних напряжений и осуществляется их уравнивание с помощью следующего уравнения:

$$K_j^i \Delta u_j^i = P_j - F_j^{i-1} \quad (7)$$

где K – линейризованная матрица жесткости, Δu – вектор узловых перемещений, P – вектор внешних узловых сил, F – вектор узловых сил, статически эквивалентный внутренним напряжениям, j – номер шага, i – номер итерации на шаге.

Алгоритм, реализованный в программе ПРИНС, предполагает выполнение расчета с использованием одной и той же расчетной схемы.

Это означает либо расчет по исходной расчетной схеме без усиления, либо расчет изначально усиленной конструкции. И то, и другое не отвечает поставленной задаче. Поэтому алгоритм был модифицирован таким образом, что на начальных этапах нагружения расчет проводится по первоначальной расчетной схеме вплоть до возникновения повреждений, затем расчетная схема автоматически перестраивается, вводятся усиления и дальнейший расчет проводится по новой расчетной схеме вплоть до разрушения конструкции.

Формально перестройка расчетной схемы заключается в замене одного, исходного пакета материалов, на другой, усиленный. Можно предположить, что при одном и том же усилении окончательная несущая способность сооружения будет зависеть от того, на каком этапе возникновения и развития повреждений будет произведен ремонт конструкции. Для расчета железобетонных плит в программе ПРИНС используется семейство многослойных конечных элементов.

В основе семейства лежит простейший треугольный элемент, показанный на рис.1. Местная система координат для него показана на рис.1, a и $1, b$, причем на рис. $1, a$ показан вид элемента в плане, а на рис. $1, b$ – его поперечное сечение. Координатная плоскость XU совмещается со срединной поверхностью базового слоя.

Если обозначить перемещения точек срединной поверхности базового слоя как $\hat{u}, \hat{v}, \hat{w}$, то, на основании гипотезы прямой нормали, перемещения точек произвольного слоя будут равны:

$$\left. \begin{aligned} u_l &= \hat{u} + \beta z \\ v_l &= \hat{v} - \alpha z \\ w_l &= \hat{w} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В формулах (8) α и β - повороты нормали к срединной поверхности базового слоя вокруг осей X и Y соответственно.

Аппроксимирующие функции для мембранных (\hat{u}, \hat{v}) и изгибных \hat{w} перемещений точек срединной поверхности базового слоя задаются в виде

$$\begin{aligned} \hat{u} &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y^2; \\ \hat{v} &= \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\hat{w} = q_1 + q_2 x + q_3 y + q_4 x^2 + q_5 xy + q_6 y^2 + q_7 x^3 + q_8 xy^2 + q_9 y^3. \quad (10)$$

С использованием функций перемещений (9) и (10) по формулам, приведенным в работе [14,] вычисляются все матрицы, входящие в уравнение (4).

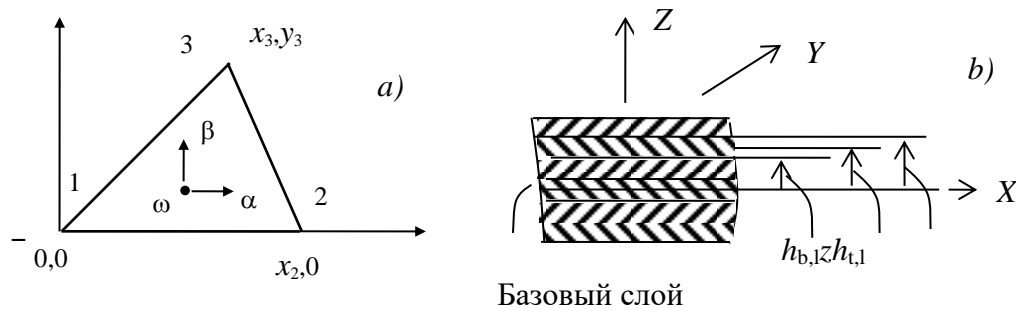


Рис.1. Топология простейшего треугольного конечного элемента

Fig.1. Topology of the simplest triangular finite element

На основе базового треугольного элемента, обладающего известными недостатками [14], построены усовершенствованные треугольные и четырехугольные многослойные конечные элементы. Усовершенствование осуществлялось созданием комбинированных конечных элементов. Треугольный элемент строился по схеме, изображенной на рис.2. Для каждого из трех базовых треугольных элементов 1, 2 и 3, названных субтреугольниками, выбиралась своя местная система координат xu, x_2y_2, x_3y_3 , в этих системах формировались все необходимые матричные характеристики, которые затем приводились к общей для всего составного элемента системе координат xu и усреднялись.

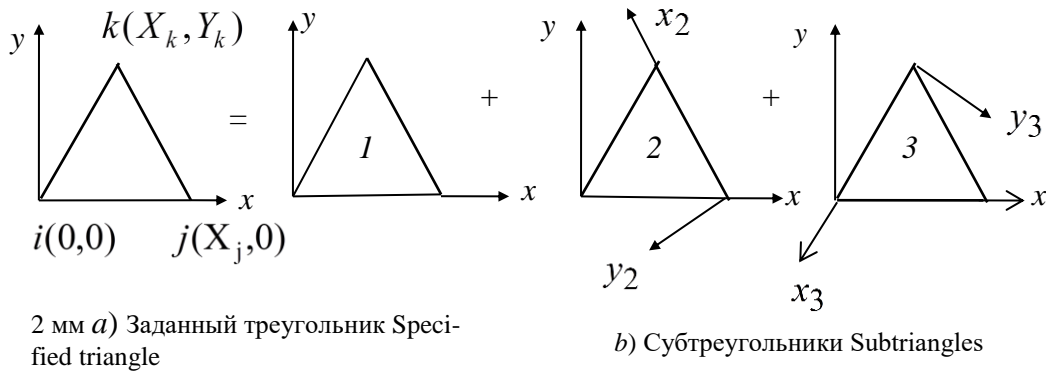


Рис.2. Усовершенствованный треугольный конечный элемент
Fig.2. Advanced triangular finite element

По аналогичной схеме (рис.3) строился усовершенствованный четырехугольный элемент.

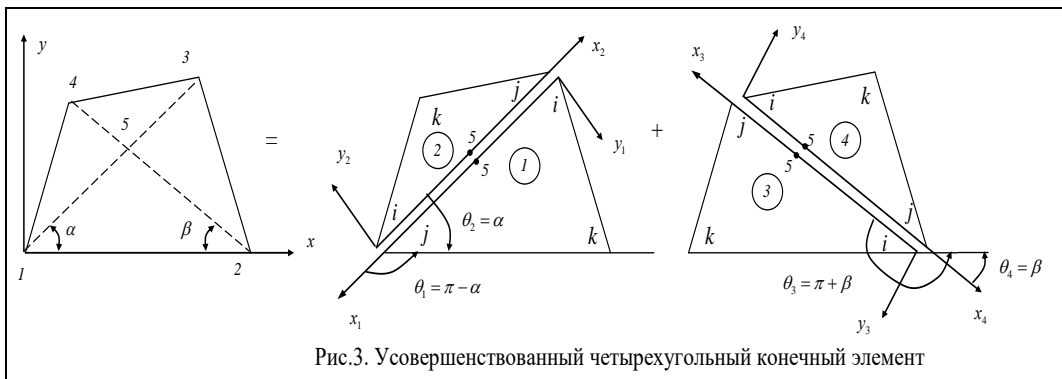


Fig. 3. Improved quadrilateral finite element

Тестирование и сопоставительный анализ описанных выше конечных элементов с известными элементами [14,20] показали высокую точность получаемых с их помощью результатов при сравнительной простоте всех формулировок.

Обсуждение результатов. Для проверки усовершенствованного алгоритма расчета по программе ПРИНС было произведено исследование железобетонной плиты с целью определения ее несущей способности в исходном варианте (рис.4), в изначально усиленном варианте (рис.5) и при усилении плиты на разных этапах возникновения повреждений.

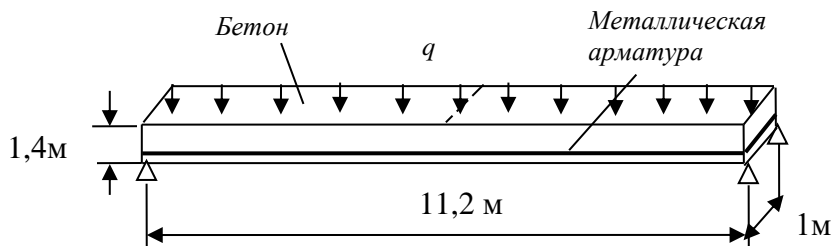


Рис.4. Железобетонная плита в исходном варианте
Fig.4. Reinforced concrete slab in the original version

Конфигурация плиты, сильно вытянутой в одном направлении и шарнирно-опертой вдоль коротких сторон, выбрана с целью проверки достоверности получаемых результатов. По толщине плита разбивалась на 29 слоев. Слои 1, 12 и 29 имеют нулевую толщину. Слой 12 является базовым, а слои 1 и 29 – фиктивными. Фиктивные слои вводятся для получения возможности визуализации напряжений на нижней и верхней поверхностях в постпроцессоре. Характеристики слоев для исходной и усиленной конструкций приведены в табл.1 и 2, соответственно.

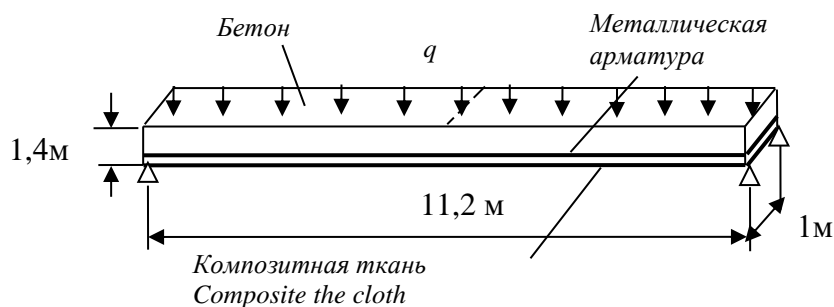


Рис.5. Усиленная железобетонная плита

Fig.5. Reinforced reinforced concrete slab

Таблица 1. Характеристики слоев пакета 1

Table 1. Layer 1 Layer Characteristics

Номера слоев Numbers layers	Толщины (см) Thickness (cm)	Материалы Materials	Модули упругости (кПа) Modules elasticity (kPa)
2-11	7	Бетон Concrete	$2,75 \times 10^7$
13-22	6,25	Бетон Concrete	$2,75 \times 10^7$
23	0,21	Сталь Steel	$2,00 \times 10^8$
24-25	3,5	Бетон Concrete	$2,75 \times 10^7$
26-28	0,0	Бетон Concrete	$2,75 \times 10^7$

Таблица 2. Характеристики слоев пакета 2

Table 2. Layer 2 Layer Characteristics

Номера слоев Numbers layers	Толщины (см) Thickness (cm)	Материалы Materials	Модули упругости (кПа) Modules elasticity (kPa)
2-11	7	Бетон Concrete	$2,75 \times 10^7$
13-22	6,25	Бетон Concrete	$2,75 \times 10^7$
23	0,21	Сталь Steel	$2,00 \times 10^8$
24-25	3,5	Бетон Concrete	$2,75 \times 10^7$
26-28	0,1	Композитная ткань Compro- site the cloth	$6,3 \times 10^7$

Основные результаты расчета приведены на рис.6-8.

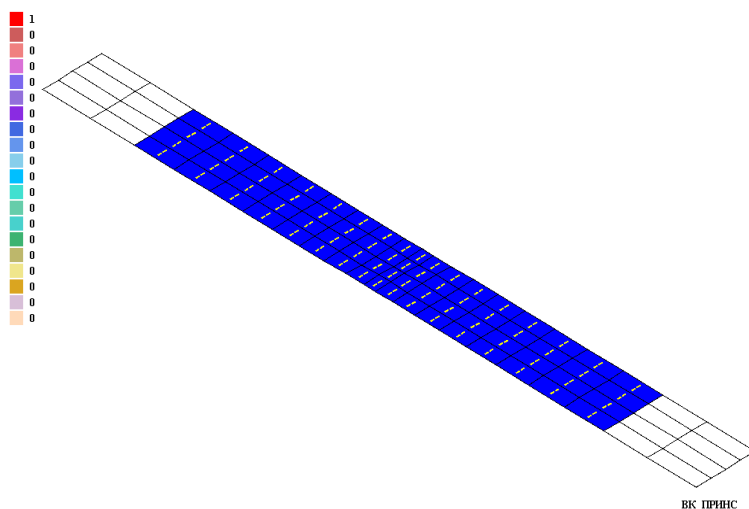


Рис.6. Трещины на нижней поверхности при нагрузке $q = 52,6$ кПа .
 Fig.6. Cracks on the bottom surface under load.

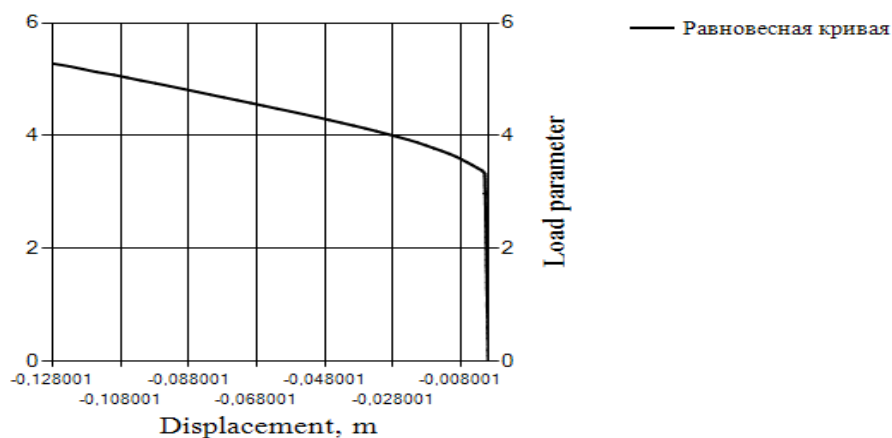


Рис.7. Кривая равновесных состояний для исходной конструкции
 Fig.7. Equilibrium state curve for the initial construction

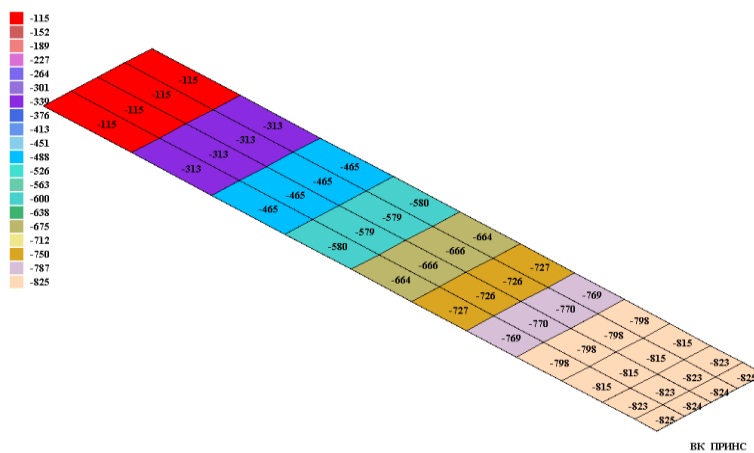


Рис.8. Изгибающие моменты в плите при $q = 52,6$ кПа (показана половина плиты)
 Fig.8. Bending moments in the slab with (shown half of the slab)

На втором этапе проводился расчет плиты, изначально усиленной тремя слоями композитной ткани, свойства которой приведены в табл.2. Предельное состояние при этом было достигнуто при нагрузке $q = 116,2$ кПа.

Дальнейшие исследования проводились с целью установить, как будет изменяться предельная нагрузка при усилении плиты на разных стадиях возникновения и развития повреждений.

Были проведены расчеты при трех вариантах усиления плиты: 1) сразу после возникновения первых трещин при нагрузке $q = 30$ кПа; 2) в состоянии, предшествующем разрушению при $q = 50$ кПа и 3) в промежуточном состоянии при $q = 40$ кПа. Результаты расчетов представлены в табл.3.

Таблица 3. Предельные нагрузки при усилении плиты на разных этапах возникновения повреждений

Table 3. Ultimate loads during plate reinforcement at different stages of damage

Нагрузки до усиления, кПа Load to gain, kPa	0	30	40	50
Предельные нагрузки, кПа Maximum loads, kPa	116,2	112,7	102,2	95,8
Отклонение предельных нагрузок от максимального значения, % Deviation of maximum loads from the maximum value, %	-	3,00	12,0	17,6

Вывод. Из табл.3 видно, что при одном и том же усилении предельные нагрузки для плиты изменяются в зависимости от того, на каком этапе возникновения повреждений это усиление осуществляется. Изменения могут быть значительными, достигать десятков процентов.

Таким образом, программа ПРИНС позволяет дать количественную оценку результатам усиления железобетонных плит с помощью композитных тканей. Применение программы ПРИНС на практике позволит конструкторам более обоснованно выбирать материал для ремонта и получать более достоверные оценки несущей способности усиленных конструкций.

Библиографический список:

1. Кальянова Е.Е. Новые инновационные технологии: преимущества продуктов Sika // Строительство. - № 8, 2014, - С.54-58.
2. FRP Repair Materials and Methods. Concrete International - 2005, vol. 27, №1. - P. 66.
3. Cardolin A. Carbon Fibre Reinforced Polymers for Strengthening of Structural Elements.- Division of Structural Engineering, Department of Civil and Mining Engineering, Lulea University of Technology, Sweden. 2003. 194 p.
4. Чернявский В. Л. Аксельрод Е. З. Применение углепластиков для усиления железобетонных конструкций промышленных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2004, № 3. С. 37-38.
5. Рекомендации по применению тканевых композиционных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений. Федеральное Дорожное Агентство (Росавтодор). Москва, 2013. 55 с.
6. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. НИИЖБ., М., 2012. 48 с.
7. MSC NASTRAN 2016. Nonlinear User's Guide. SOL 400. MSC Software Corporation. 2016. 790 p.
8. Басов К.А. ANSYS. Справочник пользователя. - Изд-во "ДМК-Пресс". М., 2005. 637 с.
9. ABAQUS 6.11. Theory manual. DS Simulia. 2011.
10. Nabil F. Grace, S.B. Singh. Durability Evaluation of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Strengthened Concrete Beams: Experimental Study and Design // ACI Structural Journal. - January-February, 2005. pp. 40-53.
11. Бокарев С.А., Смердов Д.Н. Нелинейный анализ железобетонных изгибаемых конструкций, усиленных композиционными материалами // Вестник ТГАСУ. 2010, № 2. С. 113-125.
12. L. Cedolin and S. Deipoli. Finite element studies of shear-critical R/C beams // ASCE Journal of the Engineering Mechanics Division. - Vol. 103, No. EM3, June 1977. pp.395-410.
13. Агапов В.П. Статические и динамические расчеты инженерных конструкций в вычислительном комплексе ПРИНС // Машиностроение и инженерное образование. №1 (6), Изд. МГИУ. М., 2006.
14. Агапов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций. Изд-во АСВ, М., 2005. 245 с.

15. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element for Solid and Structural Mechanics. Sixth edition. McGraw-Hill, 2005. 631 p.
16. D.R.J.Owen, J.A.Figueiras and F.Damjanic. Finite element analysis of reinforced and prestressed concrete structures including thermal loading // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 41, 1983. pp. 323-366.
17. Агапов В.П., Айдемиров К.Р. Расчет железобетонных ферм методом конечных элементов с учетом физической нелинейности. Часть 1// Научное обозрение, 2016, № 2, с.31-34.
18. Агапов В.П., Айдемиров К.Р. Расчет железобетонных ферм методом конечных элементов с учетом физической нелинейности. Часть 2// Научное обозрение, 2016, № 3, с.22-27.
19. Агапов В.П., Айдемиров К.Р. Расчет ферм методом конечных элементов с учетом геометрической нелинейности // Промышленное и гражданское строительство, 2016, № 11, с.4-8.
20. Agapov V., Golovanov R. Comparative analysis of the simplest finite elements of plates in bending//Murgul V., Popovic Z. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 692. Springer, Cham. Pp. 1009-1026. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_109

References:

1. Kal'yanova Ye.Ye. Novyye innovatsionnyye tekhnologii: preimushchestva produktov Sika // Stroitel'stvo. - № 8, 2014, - S.54-58. [Kalyanova E.E. New innovative technologies: the benefits of Sika products // Construction. - № 8, 2014, - pp.54-58. (In Russ.)]
2. FRP Repair Materials and Methods. Concrete International - 2005, vol. 27, №1. - P. 66.
3. Cardin A. Carbon Fiber Reinforced Polymers for Structural Elements. Department of Civil and Mining Engineering, Lulea University of Technology, Sweden. 2003. 194 p.
4. Chernyavskiy V. L. Aksel'rod Ye. Z. Primeneniye ugleplastikov dlya usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy promyshlennykh zdaniy // Promyshlennoye i grazhdanskoyestroitel'stvo.- 2004, № 3.- S. 37-38. [Chernyavsky V. L. Axelrod E.Z. Use of carbon plastics for strengthening reinforced concrete structures of industrial buildings // Industrial and Civil Construction. 2004, No. 3. P. 37-38. (In Russ.)]
5. Rekomendatsii po primeneniyu tkanevykh kom-pozitsionnykh materialov pri remonte zhelezo-betonnykh konstruksiy mostovykh sooruzheniy.-Federal'noye Dorozhnoye Agentstvo (Rosavtodor).- Moskva, 2013. 55 s. [Recommendations for the use of fabric composite materials in the repair of reinforced concrete structures of bridge structures. Federal Road Agency (Rosavtodor). Moscow, 2013. 55 p. (In Russ.)]
6. Rukovodstvo po usileniyu zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitnymi materialami. NII ZHB., - M., 2012. – 48 s. [Guidelines for strengthening reinforced concrete structures with composite materials. NII ZHB., M., 2012. 48 p. (In Russ.)]
7. MSC NASTRAN 2016. Nonlinear User's Guide. SOL 400. MSC Software Corporation. 2016. 790 p.
8. Basov K.A. ANSYS. Spravochnik pol'zovatelya. - Izd-vo "DMK-Press». M., 2005. 637 s. [Basov K.A. ANSYS. User reference. - Publishing house "DMK-Press". M., 2005. 637 p. (In Russ.)]
9. ABAQUS 6.11. Theory manual. DS Simulia. 2011
10. Nabil F. Grace, S.B. Singh. Fiber-Reinforced Polymer Strengthening Concrete Beams: Experimental Study and Design // ACI Structural Journal. - January-February, 2005. pp. 40-53.
11. Bokarev S.A., Smerdov D.N. Nelineynyy analiz zhelezobetonnykh izgibayemykh konstruksiy, usilennykh kompozitsionnymi materialami // Vestnik TGASU.- 2010, № 2.- S. 113-125. [Bokarev S.A., Smerdov D.N. Nonlinear analysis of reinforced concrete bent structures reinforced with composite materials. Vestnik TGASU. 2010, No. 2. P. 113-125. (In Russ.)]
12. L. Cedolin and S. Deipoli. Finite element studies of shear-critical / Cbeams // ASCE Journal of the Engineering Mechanics Division. - Vol. 103, No. EM3, June 1977. pp.395-410.
13. Agapov V.P. Sticheskiye i dinamicheskiye raschetnyye inzhenernykh konstruksiy vychislitel'nom komplekse PRINS// Mashinostroyeniye i inzhenernoye obrazovaniye. - №1 (6), Izd. MGIU. – M., 2006. [Agapov V.P. Static and dynamic calculations of engineering structures in the PRINS computer complex // Mechanical Engineering and Engineering Education. №1 (6), Ed. MGIU. M, 2006. (In Russ.)]
14. Agapov V.P. Metod konechnykh elementov v statike, dinamike i ustoychivosti konstruksiy.- Izd-vo ASV, M., 2005.- 245 s. [Agapov V.P. The finite element method in statics, dynamics and stability of structures. Publishing house DIA, M., 2005. 245 p. (In Russ.)]
15. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element for Solid and Structural Mechanics. Sixth edition. McGraw-Hill, 2005. 631 p.
16. D.R.J.Owen, J.A.Figueiras and F.Damjanic. Finite element analysis of reinforced concrete and prestressed concrete structures including thermal loading // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 41, 1983. pp. 323-366.
17. Agapov V.P., Aydemirov K.R. Raschet zhelezobetonnykh ferm metodom konechnykh elementov s ucheto-m fizicheskoy nelineynosti. Chast' 1// Nauchnoye obozreniye, 2016, № 2, s.31-34. [Agapov V.P., Aydemirov, K.R. Calculation of reinforced concrete trusses by the finite element method taking into account physical nonlinearity. Part 1 // Scientific Review, 2016, № 2, pp. 31-34. (In Russ.)]

18. Agapov V.P., Aydemirov K.R. Raschet zhelezobe-tonnykh ferm metodom konechnykh elementov s uche-tom fizi-cheskoj nelineynosti. Chast' 2// Nauchnoye obozreniye, 2016, № 3, s.22-27. [Agapov V.P., Aydemirov, K.R. Calculation of reinforced concrete trusses by the finite element method taking into account physical nonlinearity. Part 2 // Scientific Review, 2016, № 3, pp. 22-27. (In Russ.)]
19. Agapov V.P., Aydemirov K.R. Raschet ferm me-todom konechnykh elementov s uchetom geometriche-skoj nelineynosti // Promyshlennoye i grazhdan-skoje stroitel'stvo, 2016, № 11, s.4-8. [Agapov V.P., Aydemirov K.R. Calculation of farms by the finite element method taking into account the geometric nonlinearity // Industrial and civil construction, 2016, No. 11, p.4-8. (In Russ.)]
20. Agapov V., Golovanov R. Comparative analysis of the plates in bending // Murgul V., Popovic Z. (eds) EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 692.Springer, Cham. Pp. 1009-1026.DOIhttps://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_109

Сведения об авторах:

Агапов Владимир Павлович - доктор технических наук, профессор, кафедра прикладной механики и математики.

Айдемиров Курбан Рабаданович - кандидат технических наук, доцент, кафедра сопротивления материалов и строительной механики.

Information about authors:

Vladimir P. Agapov - Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Applied Mechanics and Mathematics.

Kurban R. Aydemirov – Cand. Sci.(Technical), Assoc.Prof., Department of material resistance and structural mechanics.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.09.2018.

Принята в печать 23.11.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.09.2018.

Accepted for publication 23.11.2018.

Для цитирования: Багдасаров А.С., Нестеренко А.И., Пупкова А.Ю. Пеногипсовые изделия на основе местных вяжущих. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (4): 153-161. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-153-161

For citation: Bagdasarov A.S., Nesterenko A. I., Pupkova A.Yu. Foam gypsum products based on local binders. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 153-161. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-153-161

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК: 539.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-153-161

ПЕНОГИПСОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ ВЯЖУЩИХ

Багдасаров А.С.¹, Нестеренко А.И.², Пупкова А.Ю.³

^{1,2}Северо-Кавказская государственная академия,

^{1,2}369012, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36, Россия,

³ООО «АНТ»,

³369012, г. Черкесск, пр. Ленина, 3/4, Россия,

¹e-mail: kafedratspism@mail.ru, ²e-mail: aleksandrita_09@mail.ru,

³e-mail: trud-13@mail.ru

Резюме. Цель. Рассмотрены задачи производства поризованных гипсовых изделий на местном гипсовом вяжущем в Карачаево-Черкесской республике. **Метод.** Исследование основано на методе «сухой» минерализации пен, разработанному в Московском государственном строительном университете. В качестве исходных материалов применяли гипсовое вяжущее марки Г-6 Усть-Джегутинского гипсового комбината. В качестве пенообразователя (ПО) выбран пенообразователь окись алкилдиметиламина (окись амина). Выбор ПО выполнен с учетом его совместимости с гипсовым вяжущим. При этом исследовались ПО различных классов. Исследования проводили для получения пеногипса средней плотностью 900 кг/м³. **Результат.** Предложена технология производства пеногипса, в основе которой принята технология производства пенобетона методом «сухой» минерализации пен. Выбор пенообразователя выполнен сравнительной оценкой исследованных параметров пенообразователей различных классов. Разработана методика проектирования составов пеногипса для получения изделий заданной средней плотности. Методика включает определение расхода ГВ, расхода воды и пенообразователя, определения В/Г отношения. Проектирование составов ПГ предложено вести исходя из заданной проектной средней плотности материала ($\rho_{п}$, кг/м³), равной в данном случае расходу двуводного гипса (CaSO₄·2H₂O). В предложенном методе получения пеногипсовых масс отличительной особенностью является использование технологических свойств плотных пен – пен с низкой кратностью. Определены граничные условия получения стеновых пеногипсовых изделий из местного гипсового вяжущего, соответствующих требованиям ГОСТ. **Вывод.** С использованием современных методов исследований установлено, что пеногипсовые изделия из Усть-Джегутинского гипса марки Г-6 удовлетворяют требованиям стандартов для строительных теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных изделий плотностью 400-1000 кг/м³.

Ключевые слова: пеногипсовые изделия; «сухая» минерализация пен; гипсовое вяжущее; технические плотные пены; кратность пены; водотвердое отношение; пеногенератор; текучесть; прочность; влажность; теплопроводность; макро- и микропористость

BUILDING AND ARCHITECTURE

FOAM GYPSUM PRODUCTS BASED ON LOCAL BINDERS

Alexander S. Bagdasarov¹, Alexandra I. Nesterenko², Antonina Yu. Pupkova³

^{1,2}North Caucasian State Academy,

^{1,2}36, Stovropolskaia Str., Cherkessk 369012, Russia,

³3/4, Lenina Ave., Cherkessk 369012, Russia,

¹e-mail: kafedratspism@mail.ru, ²e-mail: aleksandrita_09@mail.ru,

³e-mail: trud-13@mail.ru

Abstract. Objectives. The problems of production of porous gypsum products on a local gypsum binder in the Karachay-Cherkess Republic are considered. **Method.** The study is based on the method of "dry" mineralization of foams, developed at the Moscow State University of Civil Engineering. As the source materials used plaster binder brand G-6 Ust-Dzhegutinsky plaster plant. An alkyl dimethylamine oxide (amine oxide) foaming agent was chosen as a foaming agent (PO). The choice of software is made taking into account its compatibility with the gypsum binder. At the same time, software of various classes was studied. Studies were performed to obtain foamed gypsum with an average density of 900 kg / m³. **Result.** A technology for the production of foam gypsum is proposed, based on the technology for the production of foam concrete by the method of "dry" mineralization of foams. The choice of foaming agent was made by comparative evaluation of the studied parameters of foaming agents of various classes. A technique has been developed for designing foamed gypsum formulations to produce products of a given average density. The technique includes the determination of the flow rate of HS, water flow and foaming agent, the determination of the B / T ratio. It was proposed to design the GHG compositions based on a given design average material density (ρ), which in this case is equal to the consumption of dihydrate gypsum (CaSO₄·2H₂O). In the proposed method of obtaining foam – gypsum masses, the distinctive feature is the use of the technological properties of dense foams with low multiplicity. The boundary conditions for obtaining wall foam-gypsum products from a local gypsum binder that meet the requirements of GOST have been determined. **Conclusion.** Using modern research methods, it has been established that foam-hypo products from Ust-Dzhegutinsky gypsum of grade G-6 meet the requirements of standards for building heat-insulating and construction-heat-insulating products with a density of 400-1000 kg / m³

Keywords: foam products; "dry" mineralization pins; knitting plaster; dense foam; the ratio of the foam; water treatment; foam generator; fluidity; strength; moisture content; thermal conductivity; macro - and microporosity

Введение. Проблема сокращения энергозатрат на содержание и отопление зданий является актуальной. Одним из направлений для решения данной проблемы в КЧР является разработка производства поризованных гипсовых изделий на местном гипсовом вяжущем (ГВ) Усть-Джегутинского гипсового комбината. Актуальной задачей также является удовлетворение требований к теплоизолирующей способности изделий, что ведет к экономии материальных и энергоресурсов, как при строительстве, так и эксплуатации зданий. Кроме того, применение эффективных поризованных изделий в ограждающих конструктивных элементах зданий улучшает комфортные условия внутри здания, как в холодный период года, так и в жаркий период года.

Постановка задачи. В связи с этим целью и задачей научной работы является получение пеногипсовых изделий на основе местного ГВ.

Методы исследования. Пеногипсовые (ПГ) изделия возможно получать по методу «сухой» минерализации пен, разработанному в Московском государственном строительном университете [1]. При этом, техническая устойчивая пена заданной проектной кратностью подается в смеситель с вертикальным валом, а затем ее минерализуют сухим гипсовым вяжущим, ко-

торое, вступая в химическое взаимодействие с водой, находящейся в межпоровых перегородках пены, «бронирует» воздушные пузырьки пены, не позволяя им разрушаться и понижать кратность пеномассы.

Метод «сухой» минерализации технических пен имеет технологические преимущества по сравнению с традиционной схемой получения пенобетонов. Данный метод позволяет получать поризованные гипсовые изделия с заданной проектной плотностью. При этом образцы изделий обладают физико-механическими свойствами, прогнозируемыми на стадии проектирования составов [1-3].

Основными задачами исследований являются:

- 1) предложить технологию пеногипса на основе местных ГВ;
- 2) предложить расчет проектных составов пеногипса для строительных изделий различного назначения;
- 3) исследовать строительно-технические свойства пеногипсовых изделий.

Научная новизна работы состоит в разработке методики проектирования составов пеногипса заданной средней плотности; в определении граничных условий получения пеногипсовых изделий на основе местных ГВ, соответствующих требованиям ГОСТ.

В предложенном методе получения пеногипсовых масс отличительной особенностью является использование технологических свойств плотных пен – пен с низкой кратностью. Известно [1-2, 4-5], что плотные пены имеют сравнительно тонкодисперсную однородную структуру, состоящую из сферических воздушных пузырьков, разделенных толстыми жидкими прослойками, и, как следствие, характеризуются повышенным содержанием жидкой фазы, не перешедшей в адсорбционные слои и текучестью.

Эти факторы определяют технологичность данных пен – малый расход пенообразователя, простота транспортировки и дозировки, обеспечение коротких сроков получения однородной массы и их высоких литьевых свойств. В связи с чем, была исследована возможность получения пеногипса плотностью в сухом состоянии 400-1000 кг/м³ для изделий различного назначения.

В лабораторных условиях в качестве смесителя нами использовалась скоростная лопастная вертикальная мешалка (СЛВМ), с частотой вращения вала мешалки 750 об/мин.

В качестве исходных материалов применяли гипсовое вяжущее марки Г-6 Усть-Джегутинского гипсового комбината. В качестве пенообразователя (ПО) нами выбран пенообразователь окись алкилдиметиламина (окись амина). Выбор ПО выполнен с учетом его совместимости с гипсовым вяжущим. При этом исследовались ПО различных классов. Исследования проводили для получения пеногипса средней плотностью 900 кг/м³.

Исследовались следующие параметры:

- минимально необходимый расход ПО для получения пеногипса;
- коэффициент выхода пеномассы (Квп);
- кратность пены (Кп);
- величина осадки пены при ее минерализации;
- величина осадки пеногипсовой массы при созревании в формах.

Результаты исследований приведены в табл. 1. По полученным данным минимально-необходимые расход ПО и кратность пены для получения ПГ плотностью 900 кг/м³ составили у окиси амина. Величина осадки пены из окиси амина при минерализации ГВ на несколько порядков меньше по сравнению с другими, а осадка ПГ массы при созревании в формах вообще не обнаружена.

Что объясняется природой пенообразователя - его совместимостью с гипсовым вяжущим при минерализации и при созревании ПГ массы в формах.

На основании полученных данных предпочтение отдано окиси амина, которую использовали в дальнейших исследовательских и опытных работах. В лабораторных условиях были

получены образцы пеногипсовых изделий средней плотностью 400-1000 кг/м³, прочностью соответственно 0,4-4,8 МПа.

Таблица 1. Влияние вида пенообразователя на параметры пеногипсовой массы

Table 1. The effect of the type of foaming agent on the parameters of the foam-gypsum mass

Вид ПО Type of soft- ware	Расход ПО, масс. % воды Consumption software, mass. % water	K_{II} / K_{VII}	Величина осад- ки пены при минерализации, %The amount of foam precipitation during mineraliza- tion,%	Величина осадки ПГ массы при созревании, % The amount of precipitation of PG mass during maturation,%
ПО-2А («Про- гресс») PO-2A (Progress)	0,5	4,5/1,5	18-20	3,5
САМПО	0,2	4/1,4	20-25	5
Неопор- 300Neopor- 300	0,5	3/1,6	10-14	2
Окись амина Amine oxide	0,1	2,5/1,8	0,5-2	0

Зависимость прочности изделий от плотности представлена на рис. 1.

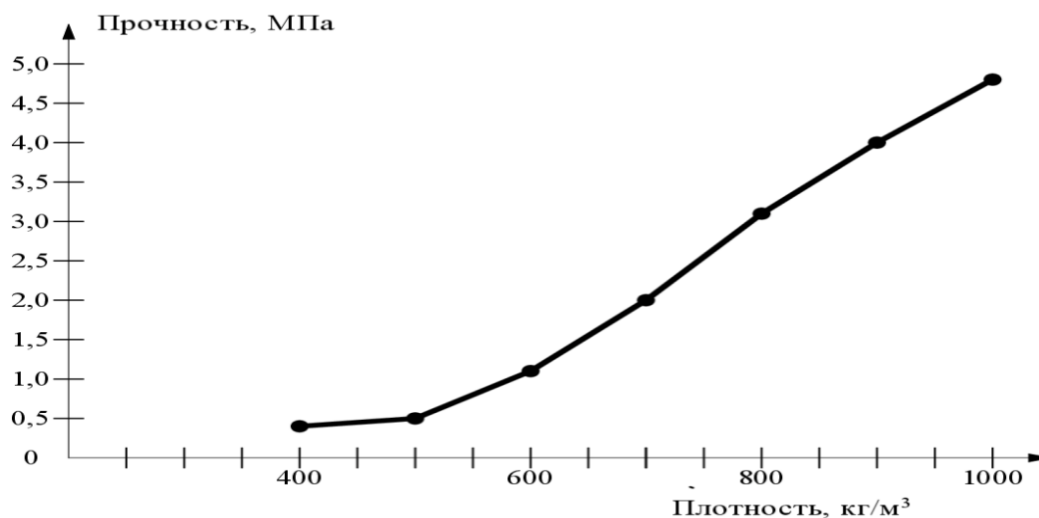


Рис.1 Зависимость прочности пеногипса от плотности

Fig.1. The dependence of the strength of foamed gypsum density

Контроль прочности образцов ПГ на сжатие выполняли по ГОСТ 23789-79 и ГОСТ 10180-2012. Для проведения испытаний применяли образцы – кубы с ребрами размерами 15х15х15 см. Образцы заливали в лабораторные формы из пеногипсовой массы. Контрольные образцы испытывали через 28 суток выдерживания в естественных условиях до состояния равновесной влажности.

Данные рис. 1 показывают, что с уменьшением плотности пеногипса, снижается его прочность, при этом в интервале средней плотности 600-1000 кг/м³ эта зависимость близка к линейной, что обусловлено формированием более рациональной структуры ПГ средней плотности 600-1000 кг/м³ с равномерным распределением пор в объеме материала и более однородной толщиной межпоровых перегородок.

На основании полученных результатов изготовление пеногипса плотностью менее 400 кг/м^3 из гипсового вяжущего марки Г-6, признано нецелесообразным из-за существенного снижения прочности материала.

Прочность ПГ изделий в значительной степени зависит от их влажности, в связи с чем были проведены исследования изменения прочностных свойств образцов, подвергнутых водонасыщению.

При этом установлено, что прочность водонасыщенных образцов значительно понижается. Одной из причин понижения прочности пористых материалов является значительное ослабление контактов кристаллов межпоровых перегородок, что и обуславливает сравнительно низкую прочность. В сухом материале нет условий для межкристаллизационного скольжения.

По данным этих исследований и проведенных экспериментов, можно сделать вывод о том, что фасадную поверхность конструкции, выполненной из ПГ камней следует облицовывать или обрабатывать гидрофобными составами, которые не образуют воздухопроницаемую пленку. Так, по [6] многолетние наблюдения за зданиями из плотного гипсобетона показали, что наиболее удовлетворительно состояние зданий, фасады которых окрашены известковыми красками с добавлением 5% олифы.

Исследованиями установлено, что пеногипс плотностью $400-700 \text{ кг/м}^3$ возможно использовать для устройства самонивелирующихся теплоизоляционных стяжек и теплоизоляционных слоев в стенах, а изделия плотностью $800-1000 \text{ кг/м}^3$ - для возведения стен малоэтажных коттеджных зданий и ограждающих самонесущих стен в каркасных многоэтажных зданиях.

Также выполнены исследования пористой структуры и теплопроводности ПГ изделий. Известно, что общая пористость материала с ячеистой структурой образуется из ячеистой пористости (макропористости) и пористости межпоровых перегородок (микропористости). По [7] на долю ячеистой пористости приходится примерно 90% от общего ее объема.

Объем ячеистой пористости определяется пространственным расположением пор (их упаковкой), распределением пор по размерам, максимальным и средним размером пор, их формой, толщиной межпоровых перегородок. Увеличение диаметра пор приводит к повышению объема пористости за счет уменьшения числа межпоровых перегородок и наоборот.

Однако в крупных порах заметно возрастает конвективный теплообмен и теплопроводность такого материала, несмотря на возрастание объема газовой фазы, не снижается. Поэтому необходимо стремиться к созданию мелкопористой структуры с равномерным распределением пор в объеме материала. При условии равномерного распределения пор всех диаметров и при их количественном соотношении 1:1:1:1 – может быть достигнут наибольший объем пористости [7].

Анализ макроструктуры образцов конструкционно-теплоизоляционного пеногипса показал, что в пеногипсе плотностью 800 кг/м^3 средний диаметр пор равен 0,38 мм, распределение пор по размерам двухмодальное, поры имеют сферическую форму, нарушений сплошности стенок пор не наблюдается. С повышением средней плотности ПГ средний размер пор снижается и составляет для плотности 1000 кг/м^3 – 0,27 мм.

Теплопроводность является главной характеристикой теплозащитных свойств поризованных теплоизоляционных изделий. Известно [7, 8], что влажность ячеистых бетонов существенно влияет на данный показатель. По [7] на каждый процент влажности прирост теплопроводности составляет 7-8,5%. В связи с чем, как уже отмечалось выше, ПГ изделия следует предохранять от увлажнения.

Коэффициент теплопроводности пеногипса определяли по ГОСТ 7076-99, отбор образцов по ГОСТ 10180-2012. Было определено, что для ПГ плотностью 500 кг/м^3 коэффициент теплопроводности составил 0,09 Вт/мК, что коррелируется с данными, полученными ранее в МГСУ (бывший МИСИ) [9] для пеногипса аналогичной плотности, изготовленного методом «сухой минерализации» пен.

В процессе исследовательских работ нами разработана методика проектирования составов пеногипса заданной средней плотности. Методика включает определение расхода ГВ, расхода воды и пенообразователя, определения В/Т отношения. Проектирование составов ПГ предложено вести исходя из заданной проектной средней плотности материала ($\rho_{П}$, кг/м³), равной в данном случае расходу двухводного гипса (CaSO₄·2H₂O).

Величина последнего включает расход полуводного гипсового вяжущего и количество химически связанной воды ($\approx 18 \text{ масс. \% гипсового вяжущего}$). С учетом гигроскопической влаги пеногипсового изделия и расхода добавок, проектная средняя плотность определяется по формуле:

$$\rho_{П} = 1,23(\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}) \text{ или } \rho_{П} = 1,23 \cdot \text{ГВ} , \quad (1)$$

где ГВ – гипсовое вяжущее.

Откуда определяют требуемый расход ГВ

$$\text{ГВ} = \frac{\rho_{П}}{1,23} \quad (2)$$

Расход расчетных сухих компонентов смеси (ГВ, добавок) составит твердую часть (Т) проектируемого состава пеногипса, которую (после соответствующих преобразований) рекомендуется определять по формуле:

$$T = 0,84 \cdot \rho_{П} \quad (3)$$

С учетом В/Т отношения, принимаемого по результатам предварительных экспериментов, равным 0,6 – 0,7 определяют общее содержание воды (В) в смеси пеногипса:

$$B = 0,65 \cdot T \quad (4)$$

Расчетную плотность пеногипсовой массы в мокром состоянии (кг/м³) определяют по формуле:

$$\rho_{П-мокр} = T + B = 1,65T \quad (5)$$

Расход пенообразователя принимают не более 0,1 масс. % В (табл. 1).

Для проверки расчетных значений расхода пенообразователя в лаборатории готовят пробные замесы и уточняют необходимый расход пенообразователя с учетом химического и механического пеногашения при ее минерализации. Расчет ведется по формуле:

$$K_{ВП}^{mp} = K_{П} \frac{\rho_{Ф-мокр}}{\rho_{П-мокр}} \quad (6)$$

где $K_{ВП}^{mp}$ - требуемый коэффициент выхода пеногипсовой массы;

$K_{П}$ – расчетная кратность пены;

$\rho_{Ф-мокр}$ - фактически полученная плотность пеногипсовой массы в мокром состоянии, кг/м³.

Расчётный состав проверяется и при необходимости уточняется на пробных замесах.

В результате исследовательских и опытно-промышленных работ предложена технология производства пеногипса из ГВ.

В основу предлагаемой технологии принята технология производства пенобетона методом «сухой» минерализации пен, разработанной в Московском государственном строительном университете [1-3].

Принципиальная технологическая схема производства пеногипса представлена на рис. 2.

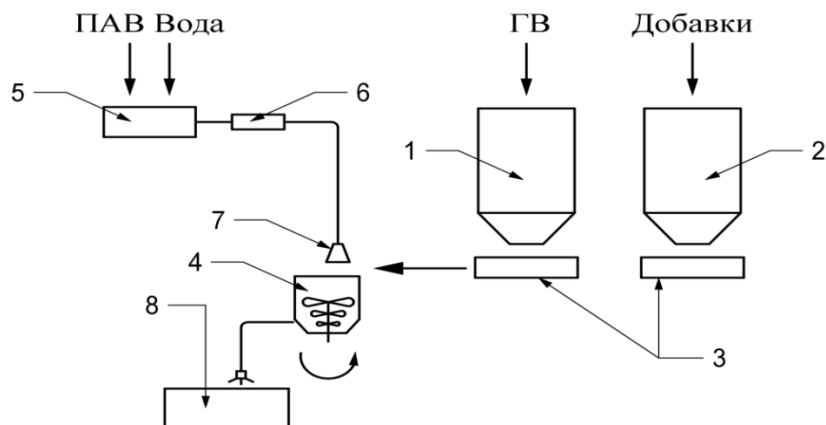


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема производства пеногипса

Fig. 2. Principle flow chart of foamed gypsum production

1 – бункер ГВ; 2 – бункер добавок; 3 – весовой дозатор; 4 – скоростная лопастная вертикальная мешалка; 5 – бак водного раствора ПО; 6 – насос; 7 – пеногенератор; 8 – формы для изделий.

По предложенной технологической схеме были получены опытные образцы мелкоштучных пеногипсовых стеновых блоков плотностью $800-1000 \text{ кг/м}^3$, удовлетворяющих ГОСТ 6133-84.

По [3] данная технология пенобетонов может применяться и в построечных условиях при монолитном домостроении.

Вывод. Таким образом, с использованием современных методов исследований установлено, что пеногипсовые изделия из Усть-Джегутинского гипса марки Г-6 удовлетворяют требованиям стандартов для строительных теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных изделий плотностью $400-1000 \text{ кг/м}^3$.

Разработана методика проектирования составов ПГ для получения изделий заданной средней плотности и предложена технология ПГ изделий на основе местных ГВ.

В дальнейшем планируется выполнить оптимизацию технологических и рецептурных параметров производства по методикам [10, 11] и разработать технологический регламент и исходные данные местным гипсовым заводам на проектирование линии по производству пеногипсовых строительных изделий.

Библиографический список:

1. Технология заливочного пеногипса / А. П. Меркин, Т. Е. Кобидзе, А. П. Никитин, Е. А. Зудяев/ Сельское строительство., 1988.–№12.
2. В стационарном и мобильном вариантах / А. П. Меркин, Т. Е. Кобидзе, Е. А. Зудяев/ Механизация строительства., 1990. – №10. –С. 7–9.
3. Мобильная установка для приготовления и подачи пенобетонов «сухой» минерализации для монолитного домостроения /А. П.Меркин, Е. А. Зудяев, И. Г. Селезнев и др./Строительные и дорожные машины.,1994. – №12.
4. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения/В. К. Тихомиров. – М.: Химия, 1975. – 256 с.
5. Меркин А. П. Непрочное чудо / А. П. Меркин, П. Р. Таубе. – М.: Химия, 1983. – 224 с.
6. Ферронская А. В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций / А. В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
7. Горлов Ю. П., Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий / Ю.П. Горлов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
8. Домокеев А. Г., Строительные материалы / А. Г. Домокеев. – М.: Высшая школа, 1989. – 495 с.
9. Теплоизоляционные материалы из пеногипса и пенобетона / А. П. Меркин, Т. Е. Кобидзе, Е. А. Зудяев / Экспресс информация МИСИ им. В. В. Куйбышева., 1989.
10. Вознесенский Т. В. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков., Киев: Высшая школа, 1989.– 328 с.
11. Вознесенский Т. В. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Я. П. Иванов, И. И. Николов., Киев: Будивэльнык, 1989. – 240 с.

12. Пеногипс на основе фосфогипса / Меркин А.П., Устименко О.В., Артомасов Б. А./Журнал «Строительные материалы», №4-М.,1995
13. Багдасаров А.С., Номенклатура материалов и новые гипсовые изделия Усть-Джегутинского комбината./ Джанибеков Р.А., Джазаев М.А./ Труды Всероссийского семинара «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» г. Москва, 2002.
14. Багдасаров А.С., Формирование пористой структуры пенофосфогипса. Сборник материалов I-го международного научно - практического семинара «Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве». - г. Днепропетровск, 2003.
15. Багдасаров А.С., Оптимизация структуры и стойкости технических пен. Материалы конференции ИСиЭ СКГГТА. г.Черкесск,- 2011.
16. Багдасаров А.С., Пеногипс на основе фосфогипса, БИЦ СевКавГГТА, г.Черкесск, 2017.
17. Багдасаров А.С., Экологичные строительные изделия из фосфогипса. Материалы XV Международной научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технология» North Charleston, USA, - 2018
18. Шигапов Р.И., Использование пеногипса в малоэтажном строительстве. ООО «Уфимская гипсовая компания» - 2015г.
19. Румянцев Б.М. Технология облегченных пеногипсовых материалов. Сб. материалов Академические чтения «Развитие теорий и технологий в области силикатных и гипсовых материалов», М, МГСУ. 2000.
20. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. - М.: Издательство АСВ, 488 с., с илл.
21. Баранов И.М., Реутова Н.А., Способ изготовления пеногипсовых изделий, композиция для изготовления пеногипсовых изделий, Федеральный институт промышленной собственности, отделение ВПТБ, 1997.

References:

1. Tekhnologiya zalivochnogo penogipsa /A. P. Merkin, T. Ye. Kobidze, A. P. Nikitin, Ye. A. Zudyayev/ Sel'skoye stroitel'stvo., 1988.–№12. [Technology of casting foamed gypsum / A. P. Merkin, T. E. Kobidze, A. P. Nikitin, E. A. Zudyayev / Rural Construction., 1988. –No.12. (In Russ.)]
2. V stacionarnom i mobil'nom variantakh / A. P. Merkin, T. Ye. Kobidze, Ye. A. Zudyayev/ Mekhanizatsiya stroitel'stva., 1990. – №10. –S. 7–9. [In stationary and mobile versions / A. P. Merkin, T. E. Kobidze, E. A. Zudyayev / Construction mechanization., 1990. - №10. -WITH. 7–9. (In Russ.)]
3. Mobil'naya ustanovka dlya prigotovleniya i podachi penobetonov «sukhoj» mineralizatsii dlya monolitnogo domostroyeniya /A. P.Merkin, Ye. A. Zudyayev, I. G. Seleznev i dr./Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny.,1994. – №12. [Mobile unit for the preparation and supply of “dry” mineralization foam concrete for monolithic housing construction / A. P. Merkin, E. A. Zudyayev, I. G. Seleznev, et al. / Construction and Road Machines., 1994. - №12. (In Russ.)]
4. Tikhomirov V. K. Peny. Teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya/V. K. Tikhomirov. – М.: Khimiya, 1975. – 256 s. [Tikhomirov V.K. Foams. Theory and practice of their receipt and destruction / In. K. Tikhomirov. - М.: Chemistry, 1975. - 256 p. (In Russ.)]
5. Merkin A. P. Neprochnoye chudo / A. P. Merkin, P. R. Taube. – М.: Khimiya, 1983. – 224 s [Merkin A. P. The fragile miracle / A. P. Merkin, P. R. Taube. - М.: Chemistry, 1983. - 224 p. (In Russ.)]
6. Ferronskaya A. V. Dolgovechnost' gipsovykh materialov, izdeliy i konstruksiy / A. V. Ferronskaya. – М.: Stroyizdat, 1984. – 256 s. [Ferronskaya A.V. Durability of gypsum materials, products and structures / A.V. Ferronskaya. - М.: stroiizdat, 1984. - 256 p. (In Russ.)]
7. Gorlov YU. P., Tekhnologiya teploizolyatsionnykh i akusticheskikh materialov i izdeliy / YU.P. Gor-lov. – М.: Vysshaya shkola, 1989. – 384 s. [Gorlov Yu. P., Technology of heat-insulating and acoustic materials and products / Yu.P. Horus - М.: Higher School, 1989. - 384 p. (In Russ.)]
8. Domokeyev A. G., Stroitel'nyye materialy / A. G. Domokeyev. – М.: Vysshaya shkola, 1989. – 495 s. [Domokeyev A.G., Building materials / A.G. Domokeyev. - М.: Higher School, 1989. - 495 p.(In Russ.)]
9. Teploizolyatsionnyye materialy iz penogipsa i penobetona / A. P. Merkin, T. Ye. Kobidze, Ye. A. Zu-dyayev / Ekspres informatsiya MISI im. V. V. Kuybysheva., 1989. [Thermal insulation materials from foamed gypsum and foam concrete / A. P. Merkin, T. E. Kobidze, E. A. Zu-dyayev / Express information IISS them. V.V. Kuibyshev., 1989. (In Russ.)]
10. Voznesenskiy T. V. Chislennyye metody resheniya stroitel'no-tekhnologicheskikh zadach na EVM / V. A. Voznesenskiy, T. V. Lyashenko, B. L. Ogarkov., Kiyev: Vysshaya shkola, 1989.– 328 s. [Voznesensky T. V. Numerical methods for solving construction-technological problems on a computer / V. A. Voznesensky, T. V. Lyashenko, B. L. Ogarkov., Kiev: Higher School, 1989.– 328 p. (In Russ.)]
11. Voznesenskiy T. V. EVM i optimizatsiya kompozitsionnykh materialov / V. A. Voznesenskiy, T. V. Lyashenko, YA. P. Ivanov, I. I. Nikolov., Kiyev: Budivel'nyk, 1989. – 240 s. [Voznesensky, TV systems and the optimization of composite materials / V. A. Voznesensky, T. V. Lyashenko, Ya. P. Ivanov, I. I. Nikolov., Kiev: Budivelnyk, 1989. - 240 p. (In Russ.)]

12. Penogips na osnove fosfogipsa / Merkin A.P., Ustimenko O.V., Artomasov B. A./Zhurnal «Stroi-tel'nyye materialy», №4-M.,1995 [Phenogips based on phosphogypsum / Merkin A.P., Ustimenko O.V., Artomasov B.A. / Journal of Construction Materials, No. 4-M., 1995(In Russ.)]
13. Bagdasarov A.S., Nomenklatura materialov i novyye gipsovyye izdeliya Ust'-Dzhegutinskogo kom-binata./ Dzhanibekov R.A., Dzhazayev M.A./ Trudy Vserossiyskogo seminar «Povysheniye effektivnosti proizvodstva i primeneniya gipsovykh materialov i izdeliy» g. Moskva, 2002. [Bagdasarov AS, Nomenclature of materials and new gypsum products of the Ust-Dzhegutinsky plant. / Dzhanibekov RA, Dzhazaev MA / Proceedings of the All-Russian seminar "Improving the efficiency of production and use of gypsum materials and products" Moscow, 2002. (In Russ.)]
14. Bagdasarov A.S., Formirovaniye poristoy struktury penofosfogipsa. Sbornik materialov I-go mezhdunarodnogo nauchno - prakticheskogo seminar «Teoriya i praktika proizvodstva i primeneniya yacheistogo betona v stroitel'stve». - g. Dnepropetrovsk, 2003. [Bagdasarov AS, Formation of the porous structure of penophosphogypsum. Collection of materials of the I-st international scientific and practical seminar "Theory and practice of production and use of cellular concrete in construction." - Dnepropetrovsk, 2003. (In Russ.)]
15. Bagdasarov A.S., Optimizatsiya struktury i stoykosti tekhnicheskikh pen. Materialy konferentsii ISiE CKGGTA. g.Cherkessk,- 2011. [Bagdasarov AS, Optimization of the structure and durability of technical foams. Proceedings of the Conference of IT and EEU. Cherkessk, - 2011. (In Russ.)]
16. Bagdasarov A.S., Penogips na osnove fosfogipsa, BITS SevKavGGTA, g.Cherkessk, 2017. [Bagdasarov A.S., Phenogips based on phosphogypsum, BIC SevKavGGTA, Cherkessk, 2017. (In Russ.)]
17. Bagdasarov A.S., Ekologichnyye stroitel'nyye izdeliya iz fosfogipsa. Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «21 vek: fundamental'naya nauka i tekhnologiya» North Charleston, USA, - 2018 [Bagdasarov A.S., Eco-friendly building products from phosphogypsum. Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference "21st Century: Fundamental Science and Technology" North Charleston, USA, - 2018(In Russ.)]
18. Shigapov R.I., Ispol'zovaniye penogipsa v maloetazhnom stroitel'stve. ООО «Ufimskaya gipsovaya kompaniya» - 2015g. [Shigapov RI, The use of foam in gypsum in low-rise construction. LLC Ufa Gypsum Company - 2015(In Russ.)]
19. Rummyantsev B.M. Tekhnologiya oblegchennykh penogipsovykh materialov. Sb. materialov Akademicheskoye chteniya «Razvitiye teorii i tekhnologiy v oblasti silikatnykh i gipsovykh materialov», M, MGSU. 2000. [Rummyantsev B.M. The technology of lightweight foam-gypsum materials. Sat materials Academic readings "The development of theories and technologies in the field of silicate and gypsum materials", M, MGSU. 2000(In Russ.)]
20. Gipsovyye materialy i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye). Spravochnik. Pod obshchey red. A.V. Ferronskoy. - M.: Izdatel'stvo ASV, 488 s., s ill. [Gypsum materials and products (production and use). Directory. Under the general ed. A.V. Ferron. - M. : Publishing house DIA, 488 p., With ill. (In Russ.)]
21. Baranov I.M., Reutova N.A., Sposob izgotovleniya penogipsovykh izdeliy, kompozitsiya dlya izgotovleniya penogipsovykh izdeliy, Federal'nyy institut promyshlennoy sobstvennosti, otdeleniye VPTB, 1997. [Baranov I.M., Reutov N.A., Method for the manufacture of foam-gypsum products, composition for the manufacture of foam-gypsum products, Federal Institute of Industrial Property, VPTB, 1997. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Багдасаров Александр Сергеевич - кандидат технических наук, доцент, кафедра «Строительство и управление недвижимостью».

Нестеренко Александра Ивановна - старший преподаватель кафедры «Строительство и управление недвижимостью»

Пупкова Антонина Юрьевна - инженер-проектировщик .

Information about authors:

Alexander S. Bagdasarov - Cand. Sci.(Technical), Assoc.Prof., Department of "Construction and Property Management" .

Alexandra I. Nesterenko – Senior Lecturer, Department of "Construction and Property Management".

Antonina Yu. Pupkova – Design Engineer.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 18.10.2018.

Принята в печать 27.11.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 18.10.2018.

Accepted for publication 27.11.2018.

Для цитирования: Баутдинов Д.Т., Джамалудинов М.М., Жукова К.С. Напряженное состояние системы трех параллельных туннелей без обделки от собственного веса анизотропного скального массива. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45 (4):162-171. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-162-171

For citation: Bautdinov D.T., Djamaludinov M.M., Zhukova K.S. Stressed state of a system of three parallel tunnels without drawing from own weight of an anisotropic rock massif. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45(4):162-171. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-162-171

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 502/504: 69.035.4: 539.31

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-162-171

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ТРЕХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТУННЕЛЕЙ БЕЗ ОБДЕЛКИ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА АНИЗОТРОПНОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА

Баутдинов Д.Т.¹, Джамалудинов М.М.², Жукова К.С.³

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия,

²АО «ЧиркейГЭСстрой»,

²357506, Россия, г. Пятигорск, пос. Энергетик, ул. Подстанционная, 18, Россия,

³ООО «РТ - СоцСтрой»,

³121151, г. Москва, наб. Тараса Шевченко, 23а, Россия,

¹e-mail: d Amir.tt1@mail.ru, ²e-mail: Djamaludinov86@mail.ru,

³e-mail: zhukova.kristina.sergeevna@yandex.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является проведение параметрического анализа напряженного состояния анизотропного скального массива на контурах выработок системы трех параллельных туннелей круговой формы без обделки от собственного веса массива, при различных отношениях упругих характеристик скального массива в ортогональных направлениях, и при различных расстояниях между туннелями, используя модель трансверсально-изотропной среды. **Метод.** Расчет системы из трех параллельных туннелей без обделки большой протяженности, проложенных в крепком трансверсально-изотропном скальном массиве, сведен к задаче плоской деформации теории упругости для трансверсально-изотропной среды, содержащей параллельные выработки. Применена модель трансверсально-изотропной среды (частный случай анизотропной среды), при которой скальный массив в одной плоскости обладает характеристиками изотропной среды (плоскость изотропии), а в перпендикулярном направлении – отличными от изотропной среды характеристиками. Напряженное состояние было исследовано методом конечного элемента с использованием программного комплекса ANSYS. Предварительно были определены размеры и тип конечного элемента, пригодного для расчета на основе решения в программном комплексе верификационной задачи Кириша. **Результат.** Определены относительные тангенциальные напряжения на контурах трех параллельных туннелей в зависимости от степени анизотропии скального массива и в зависимости от расстояния между параллельными туннелями. Проведена оценка влияния расстояния между туннелями на напряженное состояние на контурах трех параллельных туннелей, в зависимости от степени анизотропии. **Вывод.** Результаты параметрического анализа показывают, что на напряженное состояние существенное влияние оказывает степень анизотропии упругих свойств грунтового массива и расстояние между туннелями. При проектировании подземных сооружений необходимо учитывать анизотропию упругих свойств грунтового массива; более детально определять физико-механические свойства скальных грунтов и особое внимание уделять упругим характеристикам. Учет трансверсальной-изотропии и расстояния между туннелями ведет как к увеличению, так и к уменьшению тангенциальных напряжений на контурах параллельных туннелей. При некоторых отношениях упругих характеристик в ортогональных направлениях, независимо от расстояния между туннелями, на контурах туннелей отсутствуют растягивающие напряжения, что благоприятно отражается на работе гидротехнического туннеля.

Ключевые слова: модуль деформации, коэффициент Пуассона, трансверсально-изотропная среда, система трех параллельных туннелей, теория упругости

BUILDING AND ARCHITECTURE

STRESSED STATE OF A SYSTEM OF THREE PARALLEL TUNNELS WITHOUT DRAWING FROM OWN WEIGHT OF AN ANOTROPHONE ROCK MASSIF

Damir T. Bautdinov¹, Magomed M. Djamaludinov², Kristina S. Zhukova³

¹Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,

¹49 Timiryazevskaya Str., Moscow 127550, Russia,

²JSC «ChirkeyGESstroy»,

²18 Podstancionnaya Str., Pyatigorsk 357506, Russia,

³LLC RT – SotsStroy,

³23a Tarasa Shevchenko quay, Moscow 3121151, Russia,

¹e-mail: damir.tt1@mail.ru, ²e-mail: Djamaludinov86@mail.ru,

³e-mail: zhukova.kristina.sergeevna@yandex.ru

Abstract. Objectives. The aim of the study is to carry out a parametric analysis of the stress state of an anisotropic rock massif on the contours of the workings of a system of three parallel circular tunnels without lining due to the mass of the massif, for various ratios of the elastic characteristics of the rock massif in orthogonal directions, and at different distances del transverse isotropic medium. **Method.** The calculation of a system of three parallel tunnels without a large extension lining, laid in a strong transversely isotropic rock massif, is reduced to the problem of plane deformation of the theory of elasticity for a transversely isotropic medium containing parallel workings. A model of a transversely isotropic medium (a special case of an anisotropic medium) is used, in which the rock massif in one plane has the characteristics of an isotropic medium (the isotropy plane), and in the perpendicular direction, characteristics different from the isotropic medium. The stress state was investigated by the finite element method using the ANSYS software package. The sizes and type of the finite element suitable for calculation on the basis of the solution in the program complex of the verification task were previously determined. The Kirsch problem was accepted as the verification problem. **Result.** The relative tangential stresses on the contours of three parallel tunnels were determined depending on the degree of anisotropy of the rock mass and depending on the distance between parallel tunnels. The influence of the distance between the tunnels on the stress state on the contours of three parallel tunnels was evaluated, depending on the degree of anisotropy. **Conclusion.** The results of a parametric analysis of the system of three parallel free-flow tunnels without lining, depending on the degree of anisotropy of the rock mass and the distance between the tunnels, show that the stress state is significantly affected by the degree of anisotropy of the elastic properties of the soil massif and the distance between the tunnels. When designing underground structures, it is necessary to take into account the anisotropy of the elastic properties of the soil mass. It is also necessary to determine in more detail the physical and mechanical properties of rocky soils and pay special attention to elastic characteristics. As studies have shown, taking into account transverse-isotropy and the distance between the tunnels leads to both an increase and a decrease in tangential stresses on the contours of parallel tunnels. At some ratios of elastic characteristics in orthogonal directions, regardless of the distance between the tunnels, there are no tensile stresses on the contours of the tunnels, which favorably affects the operation of the hydraulic tunnel.

Keywords: deformation modulus, Poisson's ratio, transversely isotropic medium, system of three parallel tunnels, theory of elasticity

Введение. Одними из основных сооружений, входящих в состав гидроузлов, мелиоративных систем и систем водоснабжения, являются гидротехнические туннели. При расходах воды более 500 м³/с, а также неблагоприятных инженерно-геологических условиях, целесообразна проходка двух и более туннелей. Как правило, туннели прокладываются параллельно в одной горизонтальной плоскости.

Безнапорные, а также напорные гидротехнические туннели при глубине их заложения не менее половины величины внутреннего напора воды, проходящие в крепких, слабо трещиноватых скальных неразрываемых грунтах могут возводиться без обделки. Возведение гидротехнических туннелей без обделки сокращает сроки строительства на 10-15% и снижает их стоимость на 20-30%, по сравнению с возведением туннелей с несущей обделкой. Согласно существующим нормам [1], массивы скальных грунтов следует считать анизотропными при коэф-

фициенте анизотропии более 1,5. При этом в нормах [2] указано, что для туннелей, располагаемых в анизотропных грунтах с отношением модулей деформации в разных направлениях более 1,4, расчеты необходимо выполнять с учетом анизотропии. Наиболее распространенный тип скального грунта – осадочная горная порода, особенность которой – слоистость – чередование слоев, которые образуются при периодическом накоплении осадков. Также, любой тип скального грунта может быть пронизан горизонтальными трещинами. Вышеизложенные требования свидетельствуют о том, что при расчете гидротехнических туннелей, проходящих в грунтах с выраженной анизотропией, модель изотропного тела не применима.

Постановка задачи. В работе проводится параметрический анализ напряженного состояния трансверсально-изотропного скального массива на контурах системы трех параллельных туннелей круговой формы без отделки, от собственного веса массива, в зависимости от степени анизотропии и расстояния между туннелями. Проводится оценка влияния расстояния между туннелями на напряженное состояние на контурах трех параллельных выработок, в зависимости от степени анизотропии.

Методы исследования. Анизотропной называется среда, у которой наблюдаются различия в упругих характеристиках для различных направлений [10], [11], [15], [17].

Для анизотропной среды число независимых упругих постоянных равно 21 [3], [8], [12], что затрудняет применение этой модели на практике. Широкое распространение получила модель трансверсально-изотропной среды (частный случай анизотропной среды), при которой грунт в одной плоскости обладает характеристиками изотропной среды (плоскость изотропии), а в перпендикулярном направлении – отличными от изотропной среды характеристиками [6], [7] (рис. 1).

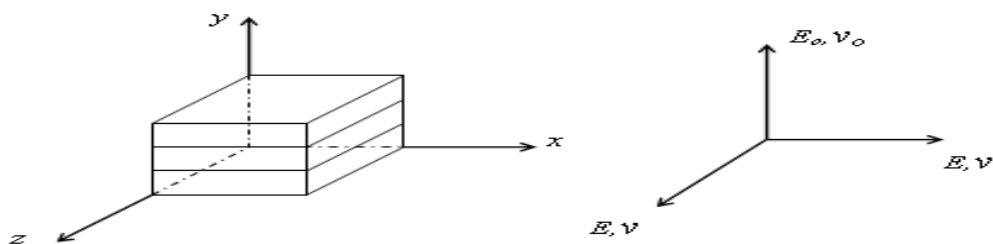


Рис. 1. Модель трансверсально-изотропной среды
Fig. 1. Model of a transversely isotropic medium

где: $E=E_x=E_z$ – модуль деформации для растяжения-сжатия в направлении плоскости изотропии; $E_o=E_y$ – модуль деформации для растяжения-сжатия в направлении, нормальном к плоскости изотропии; $\nu=\nu_{zx}=\nu_{xz}$ – коэффициент Пуассона, характеризующий поперечное сжатие в плоскости изотропии при растяжении в плоскости изотропии; $\nu_o=\nu_{xy}=\nu_{zy}$ – коэффициент Пуассона, характеризующий поперечное сжатие в плоскости нормальной к плоскости изотропии при растяжении в плоскости изотропии; $G=G_{xz}$ – модуль сдвига в плоскости изотропии (ZOХ) определяемый по известной зависимости (1), $G_o=G_{xy}=G_{yz}$ – модуль сдвига в любой плоскости, перпендикулярной к плоскости изотропии (ZOХ), который можно определить по формуле К. Вольфа (2) [3]:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \cdot \quad (1)$$

$$G_o = \frac{E \cdot E_o}{E + E_o (1 + 2\nu_o)} \cdot \quad (2)$$

Параметрический анализ выполнен методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS [14]. Предварительно были определены размер и тип элемента, пригодного для расчета по результатам решения верификационной задачи. В качестве верификационной задачи была рассмотрена упругая изотропная среда, подверженная сжатию и содержащая круглую выработку. Для такой задачи имеется точное аналитическое решение Кирша

[3]. Результаты расчетов с использованием программного комплекса ANSYS показали хорошее соответствие точному аналитическому решению (погрешность менее 1%).

В качестве расчетной схемы, моделирующей систему трех безнапорных гидротехнических туннелей глубокого заложения круговой формы без отделки, проложенных в трансверсально-изотропном скальном грунте с различными отношениями упругих характеристик в ортогональных направлениях, была принята бесконечная упругая трансверсально-изотропная среда, содержащая три параллельные выработки круговой формы, находящаяся в условиях плоской деформации [5], [13].

В качестве краевых условий на значительном удалении от выработок, рассматривалась вертикальная равномерно распределенная нагрузка сжатия, приложенная к горизонтальной границе расчетной области, моделирующая собственный вес скального массива. Также, вследствие того что боковое расширение грунта невозможно [4], [16] на вертикальных границах расчетной области поставлены горизонтальные связи, препятствующие боковому расширению.

На рис.2 представлена расчетная схема системы трех параллельных туннелей с учетом вертикальной и горизонтальной симметрии расчетной области с учетом трансверсальной изотропии скального массива.

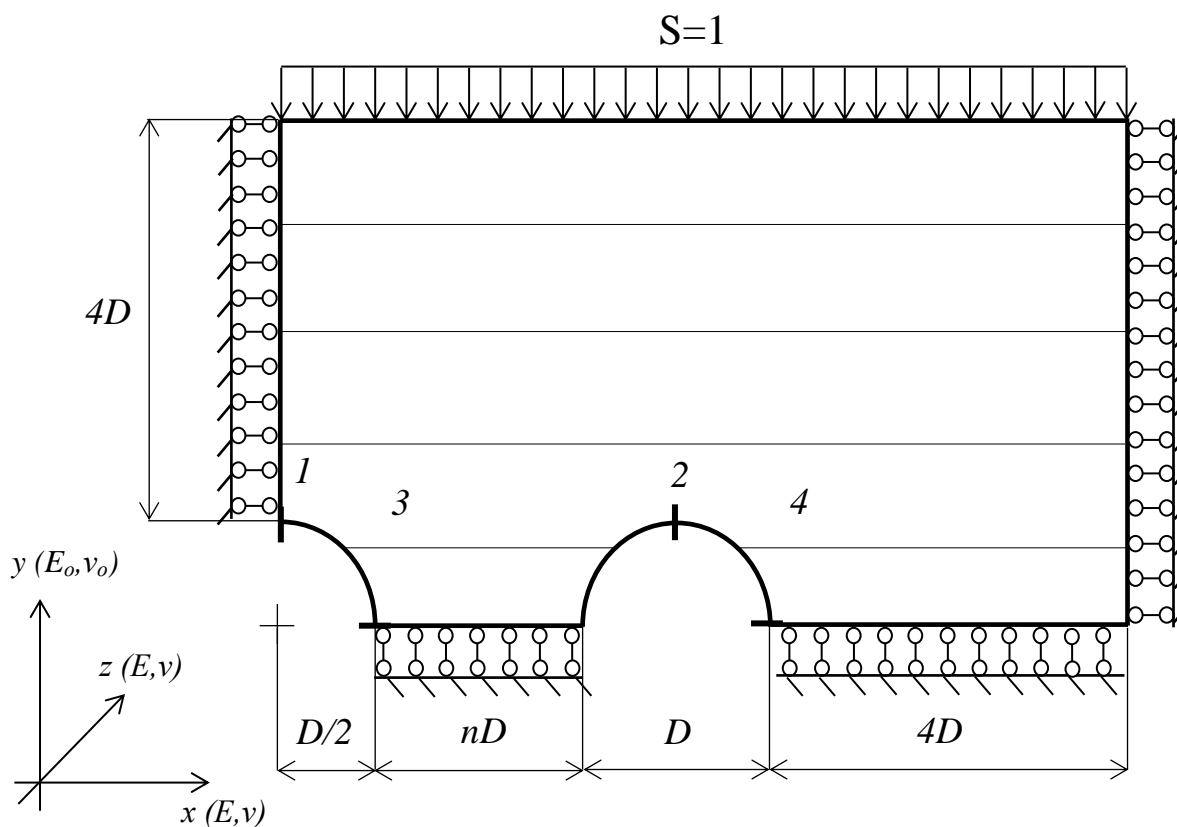


Рис. 2. Расчетная схема, моделирующая собственный вес грунта на систему трех параллельных туннелей, по модели трансверсально-изотропной среды с учетом вертикальной и горизонтальной симметрии расчетной области. (D – диаметр туннеля, nD – расстояние между туннелями)

Fig. 2. The design scheme that simulates the ground weight of the soil on the system of three parallel tunnels, according to the model of a transversely isotropic medium, taking into account the vertical and horizontal symmetry of the computational region. (D is the diameter of the tunnel, nD is the distance between the tunnels)

Обсуждение результатов. В процессе расчета задавались различные отношения упругих характеристик скального массива в ортогональных направлениях (отношения модулей деформаций E/E_0 и отношения коэффициентов Пуассона ν_0/ν в диапазоне от 1 до 3) и задавались

различные расстояния между туннелями $nD = (1;2;3;4;5;6)D$. Коэффициент Пуассона в плоскости изотропии скального массива был задан $\nu=0.1$, что соответствует крепкой скале.

Рассмотрим результаты расчета на единичную нагрузку от собственного веса скального массива на систему трех параллельных безнапорных туннелей без обделки, проложенных в трансверсально-изотропном скальном грунте. Зная относительные тангенциальные напряжения на контурах выработок от единичного воздействия можно определить истинные напряжения, умножив относительные тангенциальные напряжения на реальную величину нагрузки.

Относительные тангенциальные напряжения определялись в сечениях 1, 3 для центрального туннеля и в сечениях 2 и 4 для крайних туннелей, то есть в сечениях, где локализуются максимальные растягивающие тангенциальные напряжения (сечения 1 и 2), а в случае их отсутствия, максимальные сжимающие тангенциальные напряжения (сечения 3 и 4). Сечения представлены на рис. 2.

Таблица 1. Максимальные относительные тангенциальные растягивающие напряжения на контуре системы трех параллельных туннелей без обделки от собственного веса трансверсально-изотропного скального массива, в зависимости от отношения упругих характеристик в ортогональных направлениях и расстояния между туннелями
Table 1. Maximum relative tangential tensile stresses on the contour of a system of three parallel tunnels without lining the transversely isotropic rock mass from their own weight, depending on the ratio of the elastic characteristics in orthogonal directions and the distance between the tunnels

ν_0/ν	$n=1$						$n=2$				
	E/E_0										
	сечение	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	1	0,538	0,661	0,755	0,831	0,897	0,564	0,696	0,794	0,872	0,937
	2	0,558	0,690	0,792	0,875	0,945	0,584	0,721	0,826	0,912	0,984
1,5	1	0,404	0,510	0,589	0,650	0,701	0,416	0,529	0,611	0,671	0,719
	2	0,412	0,525	0,609	0,673	0,725	0,429	0,546	0,633	0,699	0,752
2	1	0,267	0,357	0,419	0,463	0,486	0,266	0,369	0,423	0,465	0,493
	2	0,263	0,357	0,421	0,466	0,498	0,272	0,360	0,435	0,480	0,512
2,5	1	0,129	0,201	0,245	0,270	0,283	0,115	0,188	0,230	0,252	0,259
	2	0,114	0,186	0,230	0,253	0,259	0,115	0,189	0,232	0,255	0,263
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$n=3$						$n=4$				
	E/E_0										
	сечение	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	1	0,590	0,734	0,844	0,932	1,006	0,609	0,760	0,878	0,974	1,054
	2	0,611	0,756	0,869	0,961	1,038	0,631	0,783	0,901	0,998	1,081
1,5	1	0,434	0,558	0,649	0,718	0,772	0,448	0,579	0,676	0,751	0,811
	2	0,451	0,576	0,668	0,739	0,796	0,468	0,598	0,695	0,771	0,832
2	1	0,277	0,379	0,449	0,497	0,530	0,287	0,394	0,469	0,521	0,558
	2	0,290	0,392	0,462	0,511	0,546	0,304	0,411	0,485	0,537	0,574
2,5	1	0,118	0,198	0,245	0,269	0,278	0,124	0,207	0,257	0,284	0,295
	2	0,127	0,206	0,252	0,277	0,286	0,138	0,220	0,269	0,296	0,307
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$n=5$						$n=6$				
	E/E_0										
	сечение	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	1	0,627	0,782	0,904	1,004	1,09	0,644	0,802	0,927	1,031	1,119
	2	0,646	0,802	0,924	1,026	1,112	0,657	0,816	0,942	1,046	1,135
1,5	1	0,464	0,597	0,697	0,776	0,84	0,479	0,614	0,717	0,798	0,865
	2	0,481	0,615	0,715	0,794	0,859	0,491	0,627	0,730	0,812	0,878
2	1	0,299	0,409	0,486	0,541	0,580	0,313	0,424	0,502	0,559	0,600
	2	0,314	0,424	0,501	0,556	0,595	0,323	0,435	0,514	0,571	0,612
2,5	1	0,133	0,218	0,269	0,298	0,311	0,144	0,23	0,283	0,313	0,326
	2	0,147	0,231	0,283	0,311	0,323	0,153	0,24	0,293	0,323	0,336
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

В табл. 1 и табл. 2 приведены значения наибольших относительных растягивающих и сжимающих тангенциальных напряжений в сечениях 1 и 3 (центральный туннель) и в сечениях 2 и 4 (крайние туннели) системы трех параллельных туннелей, в зависимости от отношений упругих характеристик скального массива в ортогональных направлениях и от расстояния между туннелями соответственно.

Из табл.1 видно, что для всего диапазона изменения отношений модулей деформации E/E_0 и при отношениях коэффициентов Пуассона в диапазоне от 1 до 2,5 в сечении 1 (центральный туннель) и в сечении 2 (крайние туннели) возникают растягивающие напряжения, которые увеличиваются при увеличении отношений модулей деформации, и уменьшаются, при увеличении отношений коэффициентов Пуассона, по сравнению с напряжениями в случае изотропии ($E/E_0=1, \nu/\nu=1$).

Таблица 2. Максимальные относительные тангенциальные сжимающие напряжения на контуре системы трех параллельных туннелей без отделки от собственного веса трансверсально-изотропного скального массива, в зависимости от отношения упругих характеристик в ортогональных направлениях и расстояния между туннелями.

Table 2. Maximum relative tangential compressive stresses on the contour of a system of three parallel tunnels without lining their own weight trans-versal-isotropic rock mass, depending on the ratio of elastic characteristics in orthogonal directions and the distance between the tunnels.

ν/ν	$n=1$						$n=2$				
	E/E_0										
	сечение	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	3	-3,17	-2,97	-2,85	-2,78	-2,73	-3,01	-2,83	-2,71	-2,64	-2,58
	4	-3,05	-2,87	-2,76	-2,69	-2,64	-2,95	-2,78	-2,67	-2,60	-2,55
1,5	3	-3,15	-2,96	-2,85	-2,78	-2,73	-2,98	-2,80	-2,70	-2,63	-2,58
	4	-3,01	-2,84	-2,74	-2,67	-2,63	-2,91	-2,74	-2,65	-2,58	-2,54
2	3	-3,13	-2,95	-2,85	-2,79	-2,75	-2,94	-2,78	-2,69	-2,63	-2,59
	4	-2,97	-2,81	-2,72	-2,67	-2,63	-2,87	-2,72	-2,63	-2,57	-2,54
2,5	3	-3,12	-2,95	-2,87	-2,82	-2,79	-2,91	-2,77	-2,68	-2,64	-2,61
	4	-2,94	-2,79	-2,72	-2,67	-2,64	-2,83	-2,69	-2,62	-2,57	-2,55
3	3	-3,11	-2,96	-2,89	-2,86	-2,84	-2,89	-2,76	-2,69	-2,66	-2,64
	4	-2,91	-2,78	-2,71	-2,68	-2,67	-2,80	-2,68	-2,61	-2,58	-2,57
	$n=3$						$n=4$				
	E/E_0										
	сечение	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	3	-2,95	-2,78	-2,68	-2,60	-2,55	-2,92	-2,75	-2,65	-2,58	-2,53
	4	-2,92	-2,75	-2,65	-2,58	-2,53	-2,92	-2,74	-2,64	-2,57	-2,52
1,5	3	-2,91	-2,75	-2,65	-2,59	-2,54	-2,88	-2,72	-2,63	-2,57	-2,52
	4	-2,88	-2,72	-2,61	-2,56	-2,51	-2,87	-2,71	-2,61	-2,55	-2,50
2	3	-2,87	-2,72	-2,64	-2,58	-2,54	-2,84	-2,69	-2,61	-2,55	-2,52
	4	-2,84	-2,69	-2,60	-2,55	-2,51	-2,83	-2,68	-2,59	-2,54	-2,50
2,5	3	-2,84	-2,70	-2,63	-2,58	-2,55	-2,80	-2,67	-2,60	-2,55	-2,52
	4	-2,80	-2,66	-2,59	-2,54	-2,52	-2,79	-2,65	-2,58	-2,53	-2,50
3	3	-2,81	-2,69	-2,62	-2,59	-2,58	-2,77	-2,65	-2,59	-2,56	-2,55
	4	-2,76	-2,64	-2,58	-2,55	-2,54	-2,75	-2,63	-2,57	-2,54	-2,52
	$n=5$						$n=6$				
	E/E_0										
	сечение	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	3	-2,91	-2,74	-2,64	-2,57	-2,52	-2,91	-2,74	-2,64	-2,57	-2,52
	4	-2,91	-2,74	-2,64	-2,57	-2,52	-2,92	-2,74	-2,64	-2,57	-2,52
1,5	3	-2,87	-2,70	-2,62	-2,55	-2,51	-2,87	-2,70	-2,61	-2,55	-2,50
	4	-2,87	-2,70	-2,61	-2,55	-2,50	-2,87	-2,71	-2,61	-2,55	-2,50
2	3	-2,83	-2,68	-2,59	-2,54	-2,50	-2,82	-2,67	-2,59	-2,53	-2,50
	4	-2,83	-2,67	-2,59	-2,53	-2,49	-2,83	-2,67	-2,59	-2,53	-2,49
2,5	3	-2,78	-2,65	-2,58	-2,54	-2,51	-2,78	-2,65	-2,57	-2,53	-2,50
	4	-2,78	-2,65	-2,57	-2,53	-2,50	-2,78	-2,65	-2,57	-2,53	-2,49
3	3	-2,76	-2,63	-2,57	-2,54	-2,53	-2,74	-2,62	-2,57	-2,54	-2,52
	4	-2,76	-2,63	-2,56	-2,53	-2,52	-2,75	-2,63	-2,56	-2,53	-2,51

Такая картина наблюдается при любых расстояниях между туннелями.

Например, при $E/E_0=2,5$, $\nu_0/\nu=1,5$ и $n=1$ значения максимальных растягивающих напряжений составляют 0,650 в сечении 1 (центральный туннель) и 0,673 в сечении 2 (крайние туннели), что на 20% больше соответствующих напряжений 0,538 в сечении 1 и 0,558 в сечении 2 в случае изотропии при $E/E_0=1$, $\nu_0/\nu=1$ и $n=1$. При $E/E_0=3$, $\nu_0/\nu=2,5$ и $n=3$ значения максимальных растягивающих напряжений составляют 0,278 в сечении 1 (центральный туннель) и 0,286 в сечении 2 (крайние туннели), что в 2,1 раза меньше соответствующих напряжений 0,590 в сечении 1 и 0,611 в сечении 2 в случае изотропии при $E/E_0=1$, $\nu_0/\nu=1$ и $n=3$.

При отношении коэффициентов Пуассона $\nu_0/\nu = 3$ и во всем диапазоне изменения отношений модулей деформации, независимо от расстояния между туннелями, на контурах выработок растягивающие напряжения не возникают.

Из табл.2 следует, что наибольшие сжимающие напряжения, которые возникают в сечении 3 (центральный туннель) и в сечении 4 (крайние туннели) уменьшаются как с увеличением отношений модулей деформации, так и с увеличением отношений коэффициентов Пуассона, при любых расстояниях между туннелями.

Например, при $E/E_0=1,5$, $\nu_0/\nu=1,5$ и $n=2$ значения максимальных сжимающих напряжений составляют -2,80 в сечении 3 (центральный туннель) и -2,74 в сечении 4 (крайние туннели), что на 8% меньше соответствующих напряжений -3,01 в сечении 3 и -2,95 в сечении 4 в случае изотропии при $E/E_0=1$, $\nu_0/\nu=1$ и $n=2$. При $E/E_0=3$, $\nu_0/\nu=2,5$ и $n=4$ значения максимальных сжимающих напряжений составляют -2,52 в сечении 3 (центральный туннель) и -2,50 в сечении 4 (крайние туннели), что на 16% и 17% меньше соответствующих напряжений -2,92 в сечении 3 и -2,92 в сечении 4 в случае изотропии при $E/E_0=1$, $\nu_0/\nu=1$ и $n=4$.

Как показали результаты параметрического анализа, значительные относительные тангенциальные растягивающие напряжения, которые могут возникать на контурах выработок при некоторых отношениях упругих характеристик, возрастают с увеличением расстояния между выработками.

Если растягивающие напряжения малы (в 20 и более раз меньше сжимающих напряжений на контурах) то определяющую роль играют относительные тангенциальные сжимающие напряжения, которые уменьшаются с ростом расстояния между выработками.

Следует также отметить, что при любых расстояниях между выработками можно найти такие отношения упругих характеристик, при которых на контурах системы трех параллельных выработок растягивающие напряжения не возникают, что благоприятным образом отражается на работе туннелей без обделки.

Вывод. Проведенный параметрический анализ показал, что напряженное состояние на контурах выработок существенно зависит от отношений упругих характеристик скального массива и от расстояния между туннелями.

Как видно из расчетов, во всем диапазоне изменения отношений модулей деформаций, при отношениях коэффициентов Пуассона $\nu_0/\nu=1, 1.5, 2$ и при любых расстояниях между выработками, максимальные относительные тангенциальные растягивающие напряжения на контуре крайней выработки, больше чем растягивающие напряжения на контуре центральной.

При $\nu_0/\nu = 2.5$ наблюдается обратная картина – наибольшие относительные тангенциальные растягивающие напряжения возникают на контуре центральной выработки. При $\nu_0/\nu=3$ на контурах выработок относительные тангенциальные растягивающие напряжения не возникают.

Максимальные относительные тангенциальные сжимающие напряжения во всем диапазоне изменения отношений модулей деформаций и при отношениях коэффициентов Пуассона $\nu_0/\nu=1, 1.5, 2, 2.5$ возникают на контуре центральной выработки, а при отношении $\nu_0/\nu=3$, значения сжимающих напряжений на контурах центральной и крайней выработки практически не отличаются друг от друга при любых расстояниях между выработками.

Максимальные относительные тангенциальные растягивающие напряжения на контурах трех параллельных выработок, увеличиваются при увеличении отношений модулей деформации, и уменьшаются, при увеличении отношений коэффициентов Пуассона, по сравнению с напряжениями в случае изотропии при любом расстоянии между выработками.

Максимальные относительные тангенциальные сжимающие напряжения, уменьшаются как с увеличением отношений модулей деформации, так и с увеличением отношений коэффициентов Пуассона, при любых расстояниях между туннелями.

Растягивающие напряжения, которые могут возникать на контурах выработок при некоторых отношениях упругих характеристик, возрастают с увеличением расстояния между выработками. Если растягивающие напряжения малы, то определяющую роль играют относительные тангенциальные сжимающие напряжения, которые уменьшаются с ростом расстояния между выработками.

Следует также отметить, что при любых расстояниях между выработками можно найти такие отношения упругих характеристик, при которых на контурах системы трех параллельных выработок растягивающие напряжения не возникают, что благоприятным образом отражается на работе туннелей без обделки.

Библиографический список:

1. СНиП 2.02.02-85*. Основания гидротехнических сооружений: утв. Госстроем СССР 12.12.85[ред. 30.06.2003]. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 67 с.
2. СНиП 2.06.09-84. Туннели гидротехнические: утв. Госстроем СССР 14.11.84: взамен СН 238-73. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 28 с.
3. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высш. шк., 1983. 288 с.
5. Баутдинов Д.Т. Конечно-элементный анализ гидротехнических туннелей без обделки, проложенных в трансверсально-изотропных скальных грунтах. Дисс. канд. тех. наук. М.-2012. -175с.
6. Баутдинов Д.Т. Исследование напряженного состояния трансверсально-изотропного скального грунта вблизи гидротехнического туннеля круговой формы сечения. //Приволжский научный журнал.- 2011.- № 3. - С. 93-98.
7. Фролов М.И., Баутдинов Д.Т., Боев Ю.А. Системный анализ напряженного состояния гидротехнических сооружений. М.: Институт СНГ, 2012. -392с. - с.365 - 388.
8. Фролов М.И. Теория упругости и упруго-пластичности в перемещениях. – М. Институт СНГ. -2012.-166с.
9. Д.П. Прочухан, С.А. Фрид, Л.К. Доманский. Скальные основания гидротехнических сооружений. – Л.: Стройиздат, 1971.-190с.
10. Баутдинов Д.Т., Джамалудинов М.М. Напряженное состояние скального грунта вблизи гидротехнического туннеля круговой формы сечения с учетом анизотропии грунтовой среды. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.- 2016.- № 4. – С. 144-152.
11. Баутдинов Д.Т., Джамалудинов М.М. Конечно - элементный анализ напряженного состояния подземных гидротехнических сооружений с учетом анизотропии основания //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.- 2017. - № 5. - С. 56-61.
12. Li, J.C., Li, H.B., Ma, G.W., Zhou, Y.X., 2013. Assessment of underground tunnel stability to adjacent tunnel explosion. Tunnel. Underground Space Technol. 35, 227–234.
13. Jiang, N., Zhou, C., 2012. Blasting vibration safety criterion for a tunnel linear structure. Tunnel. Underground Space Technol. 32, 52–57.
14. ANSYS, 2009. User Manual Version 12. ANSYS Inc. AUTODYN, 2009. User Manual Version 12.
15. Voytenko I.V. Influence of cohesion on parameters of the heterogeneous anisotropic soil active pressure, Tehnički glasnik 9, 1(2015), 35-39.

16. Ayberk Kaya, Fikri Bulut, Selçuk Alemdag and Aytuna Sayin. Analysis of support requirements for a tunnel portal in weak rock: A case study from Turkey, *Scientific Research and Essays* Vol. 6(31), pp. 6566-6583, 16 December, 2011. DOI: 10.5897/SRE11.1691.
17. Y. Zhou, J. Zhao. Assessment and planning of underground space use in Singapore, *Tunnelling and Underground Space Technology* 55, 3(2016) 249-256. DOI: 10.1016/j.tust.2015.12.018

References:

1. SNiP 2.02.02-85*. Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: utv. Gosstroyem SSSR 12.12.85 [red. 30.06.2003]. – M.: Gosstroy SSSR, 1985. – 67 s. [SNiP 2.02.02-85 *. The foundations of hydraulic structures: approved. State Construction Committee of the USSR 12.12.85 [ed. 30.06.2003]. - M.: Gosstroy USSR, 1985. - 67 s. (In Russ.)]
2. SNiP 2.06.09-84. Tunneli gidrotekhnicheskiye: utv. Gosstroyem SSSR 14.11.84: vzamen SN 238-73. – M.: Gosstroy SSSR, 1985. – 28 s. [SNiP 2.06.09-84. Hydrotechnical tunnels: approved. State Construction Committee of the USSR 11/14/84: instead of SN 238-73. - M.: Gosstroy USSR, 1985. - 28 s. (In Russ.)]
3. Lekhnitskiy S.G. Teoriya uprugosti anizotropnogo tela/ S.G. Lekhnitskiy. – M.: Nauka, 1977. – 416 s. [Lekhnitskiy S.G. Theory of elasticity of anisotropic body / S.G. Lekhnitskiy. - M.: Science, 1977. - 416 p. (In Russ.)]
4. Tsytoich N.A. Mekhanika gruntov / N.A. Tsytoich. – M.: Vyssh. shk, 1983. 288 s [Tsytoich N.A. Soil mechanics / N.A. Tsytoich. - M.: Higher. MK, 1983. 288 p. (In Russ.)]
5. Bautdinov D.T. Konechno-elementnyy analiz gidrotekhnicheskikh tunney bez obdelki, prolozhennykh v transversal'no-izotropnykh skal'nykh gruntakh. Diss. kand. tekhn. nauk. M.-2012. -175s. [Bautdinov D.T. Finite element analysis of hydraulic tunnels without lining, laid in transversely isotropic rocky soils. Diss. Cand. those. sciences. M.-2012. -175s (In Russ.)]
6. Bautdinov D.T. Issledovaniye napryazhennogo sostoyaniya transversal'no-izotropnogo skal'nogo grunta vblizi gidrotekhnicheskogo tunnelya krugovoy formy secheniya. //Privolzhskiy nauchnyy zhurnal.- 2011.- № 3. - S. 93-98. [Bautdinov D.T. Investigation of the stress state of transversely isotropic rock soil near the hydraulic tunnel of circular section shape. // Volga scientific journal .- 2011.- № 3. - p. 93-98. (In Russ.)]
7. Frolov M.I., Bautdinov D.T., Boyev. YU.A. Sistemnyy analiz napryazhennogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. M.: Institut SNG, 2012. -392s. - s.365 - 388. Frolov M.I., Bautdinov D.T., Fights. Yu.A. System analysis of the stress state of hydraulic structures. M.: CIS Institute, 2012. -392c. - p.365 - 388. (In Russ.)]
8. Frolov M.I. Teoriya uprugosti i uprugo-plastichnosti v peremeshcheniyakh. – M. Institut SNG. -2012.-166s. [Frolov M.I. The theory of elasticity and elastic-plasticity in displacements. - M. CIS Institute. -2012.-166c. (In Russ.)]
9. D.P. Prochukhan, S.A. Frid, L.K. Domanskiy. Skal'nyye osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. – L.: Stroyizdat, 1971.-190s. [D.P. Prochukhan, S.A. Fried, L.K. Domanskiy. Rocky foundations of hydraulic structures. - L.: Stroyizdat, 1971.-190s. (In Russ.)]
10. Bautdinov D.T., Dzhamaludinov M.M. Napryazhennoye sostoyaniye skal'nogo grunta vblizi gidrotekhnicheskogo tunnelya krugovoy formy secheniya s uchetom anizotropii gruntovoy sredy. // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki.- 2016.- № 4. – S. 144-152. [Bautdinov D.T., Jamaludinov M.M. The stress state of the rocky soil near the hydraulic tunnel of circular sectional shape, taking into account the anisotropy of the soil environment. // Herald of the Dagestan State Technical University. Technical sciences .- 2016.- № 4. - p. 144-152. (In Russ.)]
11. Bautdinov D.T., Dzhamaludinov M.M. Konechno - elementnyy analiz napryazhennogo sostoyaniya podzemnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s uchetom anizotropii osnovaniya //Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsey i sooruzheniy.- 2017. - № 5. - S. 56-61. [Bautdinov D.T., Jamaludinov M.M. Of course - elemental analysis of the stress state of underground hydraulic structures taking into account the anisotropy of the base // Building mechanics of engineering structures and structures.- 2017. - № 5. - p. 56-61. (In Russ.)]
12. Li, J.C., Li, H.B., Ma, G.W., Zhou, Y.X., 2013. Assessment of the underground tunnel. *Tunnel. Underground Space Technol.* 35, 227–234.
13. Jiang, N., Zhou, C., 2012. Blasting vibration safety criterion for a tunnel linear structure. *Tunnel. Underground Space Technol.* 32, 52–57.
14. ANSYS, 2009. User Manual Version 12. ANSYS Inc. AUTODYN, 2009. User Manual Version 12.
15. Voytenko I.V. Influence of cohesion on the parameters of heterogeneous soil pressure, *Tekhnicheskii glasnik* 9, 1 (2015), 35-39.
16. Ayberk Kaya, Fikri Bulut, Selçuk Alemdag and Aytuna Sayin. An analysis of the requirements for a weak portal: A case study from Turkey, Vol. 6 (31), pp. 6566-6583, 16 December, 2011. DOI: 10.5897 / SRE11.1691.
17. Y. Zhou, J. Zhao. Assessment and planning of underground space use in Singapore, *Tunneling and Underground Space Technology* 55, 3 (2016) 249-256. DOI: 10.1016 / j.tust.2015.12.018

Сведения об авторах:

Сведения об авторах:

Баутдинов Дамир Тахирович – кандидат технических наук, доцент, кафедра «Инженерные конструкции».

Джамалудинов Магомед Магомеднабиевич – ведущий инженер отдела капитального строительства.

Жукова Кристина Сергеевна – главный специалист.

Information about the authors:

Damir T. Bautdinov - Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of «Engineering Design».

Magomed M. Djamaludinov – Leading engineer of Capital construction.

Kristina S. Zhukova–Chief Specialist.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.08.2018.

Принята в печать 23.11.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.08.2018.

Accepted for publication 23.11.2018.

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 (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 направлению 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 редколлгией окончательного текста статьи.

Адрес редакционного совета: 367026, РД, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «ДГТУ», Учебно-лекционный корпус 2, редакция журнала «Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки». Технические вопросы можно выяснить по электронному адресу: vestnik.dgtu@mail.ru и по телефону 8(8722)62-39-64.

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.

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 45– №4 – 2018.

HERALD
OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES
Makhachkala, Volume 45, No.4, 2018.

Верстка: Шагина С.Б.

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

Editorial and Publisher address:70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Daghestan, Russia.

FSBEE HE «DSTU»

Tel./fax (8722)623715

(8722)623964

«БЕСПЛАТНО»

Подписано в печать 30.12.2018г. Сдано в печать 30.12.2018г.

Формат 60x84 ¹/₈. Гарнитура «Times». Бумага офсетная

Тираж 500. Усл. п.л. 22,00 Уч. изд.л. 22,00

Заказ № _____

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Лотос»
367018. Республика Дагестан, г. Махачкала, пр-кт Петра I, 61.