

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702

ISSN 0236-2910 (Print), 2313-0636 (Online)

Том 27, № 2. 2017

Научный журнал

Основан в январе 1990 г.

Выходит один раз в квартал

16+



Vol. 27, no. 2. 2017

SCHOLARLY JOURNAL

Founded in January 1990

Issued quarterly

ВЕСТНИК МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

MORDOVIA UNIVERSITY BULLETIN

DOI: 10.15507/0236-2910

Учредитель и издатель –
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
образования «Национальный
исследовательский Мордовский
государственный университет
им. Н. П. Огарёва»

FOUNDER AND PUBLISHER –
Federal State
Budgetary Educational
Institution
of Higher Education
“National Research
Ogarev Mordovia
State University”

E-mail: vestnik_mrsu@mail.ru; **http:** <http://vestnik.mrsu.ru>

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК)

Индексируется в Web of Science (ESCI), Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), а также EBSCO, Index Copernicus и ResearchBib

Является членом Directory of Open Access Journals (DOAJ),

Комитета по этике научных публикаций,

Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) и CrossRef

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство ПИ № ФС77-65881 от 27.05.2016 г.

Подписной индекс в каталогах агентств «Роспечать» и «МК-Периодика» – **70539**

Адрес учредителя, издателя и редакции:
430005, Россия, Республика Мордовия,
г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68
Телефон, факс: +7 (8342) 48-14-24

Founder, Publisher and Editorial House address:
68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005,
Republic of Mordovia, Russia
Phone, fax: +7 (8342) 48-14-24

© ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», 2017

Научный журнал «Вестник Мордовского университета»

принимает не опубликованные ранее научные статьи и дискуссионные материалы научного характера кандидатов и докторов наук, преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов (в соавторстве).

Наименование и содержание рубрик журнала соответствуют отраслям науки и группам специальностей научных работников, согласно Номенклатуре специальностей научных работников:

01.04.00 Физика

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

14.01.00 Клиническая медицина

14.03.00 Медико-биологические науки

Журнал осуществляет научное рецензирование (двустороннее слепое) всех поступающих в редакцию материалов с целью экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в издательстве и редакции в течение 5 лет.

Редакция журнала направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ.

Редакция журнала направляет копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении соответствующего запроса.

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная





“Mordovia University Bulletin” journal

accepts scholarly articles and debatable academic materials not published before from holders of the following degrees: Ph.D., Dr.Sci., lecturer, post-graduate student and senior student (co-authored).

The titles and contents of the journal sections correspond to fields of science and specialty groups of scientists, according to the Nomenclature of scientific specialties:

- 01.04.00 Physics
- 05.13.00 Computer Science, Computer Engineering and Management
- 05.20.00 Agroengineering Systems of Processes and Machines
- 14.01.00 Clinical Medicine
- 14.03.00 Medical and Biological Sciences

All reviewers are acknowledged experts in the areas they are responsible for. Reviews are stored in the publishing house and publishing office during 5 years.

Editorial staff sends to the authors of the submitted materials copies of reviews or a substantiated refusal.

Editorial staff of the journal forwards copies of reviews in Ministry of Education and Science of the Russian Federation by request.

All the materials of the “Mordovia University Bulletin” journal are available under Creative Commons “Attribution” 4.0 license



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Вдовин Сергей Михайлович – *главный редактор*, ректор ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук, доцент, ORCID ID: 0000-0001-7363-1389, rector@mrsu.ru (Саранск, Россия)

Маргулис Виктор Александрович – *главный научный редактор*, заведующий кафедрой теоретической физики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор физико-математических наук, профессор, ORCID ID: 0000-0001-6281-9714, margulisva@mrsu.ru (Саранск, Россия)

Полутин Сергей Викторович – *заместитель главного редактора*, директор НИИ регионологии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор социологических наук, профессор, ORCID ID: 0000-0003-0399, polutin.sergei@yandex.ru (Саранск, Россия)

Гордина Светлана Викторовна – *ответственный секретарь*, кандидат педагогических наук, ORCID ID: 0000-0003-2265-418X, vestnik_mrsu@mail.ru (Саранск, Россия)

Сенин Петр Васильевич – *научный руководитель*, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор, ORCID ID: 0000-0003-3400-7780, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru (Саранск, Россия)

Ватолкина Наталья Шамильевна – *координатор международного совета*, начальник управления международных связей ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук, доцент, ORCID ID: 0000-0002-6721-9088, vatolkina@intoffice.mrsu.ru (Саранск, Россия)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Агеев Фаиль Таипович – *руководитель научно-диспансерного отдела НИИ кардиологии им. Мясникова А. Л. ФГБУ «Российский кардиологический научно-производственный комплекс»*, доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)

Алексеева Екатерина Иосифовна – *член-корреспондент Российской академии наук*, заведующий ревматологическим отделением ФГБУ «Научный центр здоровья детей РАМН», декан педиатрического факультета ГБОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Минздрава России», доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)

Анисимов Владимир Николаевич – *член-корреспондент Российской академии наук*, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела канцерогенеза и онкогеронтологии НИИ онкологии им. Н. Н. Петрова Росмедтехнологий, ORCID ID: 0000-0002-3683-861X (Санкт-Петербург, Россия)

Балыкова Лариса Александровна – *член-корреспондент Российской академии наук*, директор медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор медицинских наук, профессор, ORCID ID: 0000-0003-3921-4930 (Саранск, Россия)

Дианов Евгений Михайлович – *академик Российской академии наук*, директор ФГБУН «Научный центр волоконной оптики Российской академии наук», доктор физико-математических наук, профессор, ORCID ID: 0000-0002-5017-2287 (Москва, Россия)

Ервиченков Александр Анатольевич – *профессор кафедры инфекционных болезней Первого МГМУ им. И. М. Сеченова*, доктор медицинских наук, профессор, ORCID ID: 0000-0002-5087-6946 (Москва, Россия)

Ерофеев Владимир Трофимович – *член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук*, декан архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)

Железникова Ольга Евгеньевна – *директор Института электроники и светотехники ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»*, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)

Игумнов Леонид Александрович – *директор Научно-исследовательского института механики*, заведующий кафедрой теоретической, компьютерной и экспериментальной механики Института информационных технологий математики и механики ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», доктор физико-математических наук, профессор (Нижний Новгород, Россия)

Калашиников Владимир Иванович – *заведующий кафедрой технологии строительных материалов и деревообработки ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»*, доктор технических наук, профессор, ORCID ID: 0000-0002-1979-4678 (Пенза, Россия)

Кечемайкин Владимир Николаевич – *директор Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»*, кандидат экономических наук (Саранск, Россия)

Коровин Александр Яковлевич – *заведующий кафедрой факультетской хирургии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет»*, доктор медицинских наук, профессор, ORCID ID: 0000-0002-7986-4455 (Краснодар, Россия)



Котляров Андрей Александрович – декан медицинского факультета ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет» (МИФИ) Обнинского института атомной энергетики (ИАТЭ), доктор медицинских наук, профессор, ORCID ID: 0000-0003-2766-7895 (Обнинск, Россия)

Котин Александр Владимирович – заведующий кафедрой механизации переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор, ORCID ID: 0000-0003-0078-1866 (Саранск, Россия)

Лишманов Юрий Борисович – член-корреспондент Российской академии медицинских наук, заместитель директора по НИР ФГБУ «Научно-исследовательский институт кардиологии» СО РАМН, доктор медицинских наук, профессор, ORCID ID: 0000-0002-3928-7462, Researcher ID: F-5940-2014, Scopus Author ID: 35611250600 (Томск, Россия)

Макаров Леонид Михайлович – руководитель Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий у детей и подростков ФМБА России на базе ФГБУЗ ЦДКБ Федерального Медико-Биологического Агентства, доктор медицинских наук, профессор, ORCID ID: 0000-0002-0111-3643 (Москва, Россия)

Мидленко Владимир Ильич – директор Института медицины, экологии и физической культуры ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», доктор медицинских наук, профессор (Ульяновск, Россия)

Микаева Светлана Анатольевна – профессор кафедры ПР-4 «Электротехника и электроника» ФГБОУ ВО «Московский технологический университет», доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)

Нищев Константин Николаевич – директор Института физики и химии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат физико-математических наук, доцент, ORCID ID: 0000-0001-7905-3700 (Саранск, Россия)

Прытков Юрий Николаевич – директор Аграрного института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)

Скрябин Владимир Александрович – профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», доктор технических наук, профессор, ORCID ID: 0000-0001-7156-9198 (Пенза, Россия)

Чучаев Иван Иванович – декан факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)

Ямашкин Анатолий Александрович – заведующий кафедрой землеустройства и ландшафтного планирования ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор географических наук, профессор (Саранск, Россия)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Аллахвердиев Сурхай Рагим оглы – профессор кафедры лесной индустрии Бартынского государственного университета, доктор биологических наук, профессор (Бартын, Турция)

Бобрышев Юрий Вениаминович – старший научный сотрудник кафедры анатомии медицинского факультета Университета Нового Южного Уэльса, доктор биологических наук, профессор (Сидней, Австралия)

Булгаков Алексей Григорьевич – профессор Института строительного дела Дрезденского технического университета, доктор технических наук, профессор (Дрезден, Германия)

Бурбулис Наталия – директор Института биологии и биотехнологии растений, научный руководитель лаборатории Агробiotехнологии при Университете им. Александра Стулгинскиса, доктор биомедицинских наук, профессор (Каунас, Литва)

Ганс Гуски – Институт патологии, клиника «Вивантес Берлин», член Немецкого общества патологии, действительный член Российской академии естественных наук, доктор медицинских наук, профессор (Берлин, Германия)

Духовскис Павел Викентьевич – заведующий лабораторией физиологии растений Института садоводства и овощеводства Литовского научного центра аграрных и лесных наук, действительный член АН Литвы, хабилитированный доктор, профессор (Бабтай, Литва)

Кусмарцев Федор Васильевич – декан физического факультета Университета Лафборо, кандидат физико-математических наук (Лафборо, Великобритания)

Лайко Ирина Михайловна – старший научный сотрудник, заведующий отделом селекции и семеноводства конопли Института лубяных культур Национальной академии аграрных наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Глухов, Украина)

Радованович Милан Милошевич – высший научный сотрудник Географического института «Jovan Cvijic» Сербской академии наук и искусств, доктор географических наук, профессор (Белград, Сербия)

Сосунов Александр Алексеевич – Колумбийский университет, департамент нейрохирургии, доктор медицинских наук, профессор (Нью-Йорк, США)



EDITORIAL BOARD

Sergey M. Vdovin – *Editor in Chief*, Rector of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Economics), docent, ORCID ID: 0000-0001-7363-1389, rector@mrsu.ru (Saransk, Russia)

Viktor A. Margulis – *Science Editor in Chief*, Head of Theoretical Physics Chair of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor, ORCID ID: 0000-0001-6281-9714, margulisva@mrsu.ru (Saransk, Russia)

Sergey V. Polutin – *Deputy Editor in Chief*, Director of Research Institute of Regional Studies, National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Sociology), professor, ORCID ID: 0000-0003-0399, polutin.sergei@yandex.ru (Saransk, Russia)

Svetlana V. Gordina – *Executive Editor*, Ph.D. (Pedagogy), ORCID ID: 0000-0003-2265-418X, vestnik_mrsu@mail.ru (Saransk, Russia)

Petr V. Senin – *Scientific Supervisor*, Vice Rector for Science and Research, Dr.Sci. (Engineering), professor, ORCID ID: 0000-0003-3400-7780, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru (Saransk, Russia)

Natalya Sh. Vatolkina – *International Council Coordinator*, Ph.D. (Economics), Head of International Office, docent, ORCID ID: 0000-0002-6721-9088, vatolkina@intoffice.mrsu.ru (Saransk, Russia)

EDITORIAL COUNCIL

Fail T. Ageyev – Head of Research and Prophylaxis Division of Myasnikov Cardiology Research Institute of Federal State Institution of Russian Cardiological research-and-production complex of Federal Agency for Public Health and Human Services, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)

Yekaterina I. Alekseyeva – Member-Correspondent of Russian Academy of Sciences, Head of Rheumatologic Department of Federal State Budgetary Scientific Institution “Scientific Centre of Children Health”, Dean of Pediatrics Department of Sechenov First Moscow State Medical University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)

Vladimir N. Anisimov – Member-Correspondent of Russian Academy of Sciences, Head of Oncogenesis Department of Petrov Oncology Research Institute, Dr.Sci. (Medicine), professor, ORCID ID: 0000-0002-3683-861X (St. Petersburg, Russia)

Larisa A. Balykova – Member-Correspondent of Russian Academy of Sciences, Director of Medical Institute of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Medicine), professor, ORCID ID: 0000-0003-3921-4930 (Saransk, Russia)

Ivan I. Chuchayev – Dean of Mathematics and Information Technology Faculty of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)

Yevgeniy M. Dianov – Academician of Russian Academy of Sciences, Director of Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor, ORCID ID: 0000-0002-5017-2287 (Moscow, Russia)

Leonid A. Igumnov – Director of Research Institute of Mechanics, Head of Numerical Simulation of Theoretical, Computer and Experimental Mechanics Chair of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Nizhny Novgorod, Russia)

Vladimir I. Kalashnikov – Head of Construction Material Technology and Woodwork Chair of Penza State University of Architecture and Building, Dr.Sci. (Engineering), professor, ORCID ID: 0000-0002-1979-4678 (Penza, Russia)

Vladimir N. Kechemaykin – Director of Ruzayevka Campus of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Economy) (Saransk, Russia)

Aleksandr Ya. Korovin – Head of the Chair of Faculty Surgery, Kuban State Medical University, Dr. Sci. (Medicine), professor, ORCID ID: 0000-0002-7986-4455 (Krasnodar, Russia)

Aleksandr V. Kotin – Director of Institute of Mechanics and Energy of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Engineering), professor, ORCID ID: 0000-0003-0078-1866 (Saransk, Russia)

Andrey A. Kotlyarov – Dean of Medical Faculty of National Research Nuclear University MEPhI, Dr.Sci. (Medicine), professor, ORCID ID: 0000-0003-2766-7895 (Obninsk, Russia)

Yuriy B. Lishmanov – Member-Correspondent of Russian Academy of Medical Sciences, Deputy Director of Federal State Budgetary Scientific Institution “Research Institute for Cardiology”, Dr.Sci. (Medicine), professor, ORCID ID: 0000-0002-3928-7462, Researcher ID: F-5940-2014, Scopus Author ID: 35611250600 (Tomsk, Russia)



Leonid M. Makarov – Head of Syncopal Conditions and Cardiac Arrhythmia in Children and Juveniles of Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation, Dr.Sci. (Medicine), professor, ORCID ID: 0000-0002-0111-3643 (Moscow, Russia)

Vladimir I. Midlenko – Director of Institute of Medicine, Ecology and Physical Education of Ulyanovsk State University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Ulyanovsk, Russia)

Svetlana A. Mikayeva – Professor of Electrotechnics and Electronics Chair of Moscow Engineering University, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)

Konstantin N. Nishchev – Director of Institute of Physics and Chemistry of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Phys.-Math.), docent, ORCID ID: 0000-0001-7905-3700 (Saransk, Russia)

Yuriy N. Prytkov – Director of Institute of Agriculture of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)

Vladimir A. Skryabin – Professor Machine Engineering Technology Chair of Penza State University, Dr.Sci. (Engineering), professor, ORCID ID: 0000-0001-7156-9198 (Penza, Russia)

Anatoliy A. Yamashkin – Head of Land Utilization and Landscape Design Chair of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Geography), professor (Saransk, Russia)

Vladimir T. Yerofeyev – Member-Correspondent of Russian Academy of Architecture and Construction sciences, Dean of Architectural And Civil Engineering Faculty of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)

Aleksandr A. Yerovichenkov – Professor of Infectious Diseases Chair of Sechenov First Moscow State Medical University, Dr.Sci. (Medicine), professor, ORCID ID: 0000-0002-5087-6946 (Moscow, Russia)

Olga Ye. Zheleznikova – Director of Institute of Electronics and Light Engineering of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Surhay Allahverdi – Head of Forest Industry Chair of Bartin University, Dr.Sci. (Biology), professor (Bartin, Turkey)

Yuriy V. Bobryshev – Senior Research Associate of School of Medical, Faculty of Medicine, University of New South Wales, Dr.Sci. (Biology), professor (Sydney, Australia)

Aleksey G. Bulgakov – professor of Faculty of Architecture of Dresden University of Technology, Dr.Sci. (Engineering), professor (Dresden, Germany)

Natalya Burbulis – Director of Institute of Rural Culture, Research Adviser of Agrobiotechnology laboratories of Aleksandras Stulginskis University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Kaunas, Lithuania)

Hans Guski – Institute of Pathology, Vivantes Klinikum Berlin, German Society of Pathology member, full member of the Russian Academy of Natural Sciences, Dr.Sci. (Medicine), professor (Berlin, Germany)

Pavel V. Duchovskis – Head of Plant Physiology Laboratories of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, fellow of Lithuanian Academy of Sciences, Dr. habil., professor (Babtai, Lithuania)

Fedor V. Kusmartsev – Dean of Institute of Physics of Loughborough University, Ph.D. (Phys.-Math.) (Loughborough, Great Britain)

Irina M. Layko – Senior Research Associate, Head of Hemp Breeding and Seedage of Textile Plants of Institute of Bast Crops of the National Academy of Agricultural of Sciences Ukraine, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Glukhov, Ukraine)

Milan M. Radovanovich – Director of Geographic Institute “Jovan Cvijic” of Serbian Academy of Sciences and Arts, Dr.Sci. (Geography), professor (Belgrad, Serbia)

Aleksandr A. Sosunov – Columbia University, Department of Neurosurgery, Dr.Sci. (Medicine), professor (New York, USA)



СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М. Теоретическое обоснование способов восстановления работоспособности привода клапанного механизма головки блока цилиндров	154
Чугунов М. В., Полункина И. Н. Оптимальное проектирование сильфонной техники на платформе SolidWorks	169
Борисова Л. В., Димитров В. П. Лингвистический подход к решению задачи технологической регулировки комбайнов	178
Овчинников В. А. Результаты исследований повреждения семян мелкосеменных культур дисковым высевальным аппаратом	190

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Шелехов И. Ю., Шишелова Т. И., Смирнов Е. И., Иноземцев В. П. Комбинированная электрическая система отопления для каркасных домов	198
Савельев А. П., Скворцов А. Н., Еналеева С. А., Глотов С. В. Применение сотовых и ячеистых конструкций для защиты от шума на предприятиях перерабатывающей отрасли АПК	215
Волчихин В. И., Иванов А. И., Сериков А. В., Серикова Ю. И. Квантовая суперпозиция дискретного спектра состояний математической молекулы корреляции для малых выборок биометрических данных	224
Ширяев В. Д., Бикмурзина Р. Р. Кооперативный вариант игры преследования с двумя преследователями и одним убегающим: сильная устойчивость множества дележей	239

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Гущина О. А. Применение интеллектуальных систем при управлении рисками программных проектов	250
Тумбинская М. В. Обеспечение защиты от нежелательной информации в социальных сетях	264
<i>Информация для авторов и читателей (на рус. яз.)</i>	<i>289</i>
<i>Информация для авторов и читателей (на англ. яз.)</i>	<i>291</i>



CONTENTS

AGROENGINEERING SYSTEMS OF PROCESSES AND MACHINES

Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. A theoretical basis for the methods to restore working capacity of valve-actuating gear of the cylinder block head	154
Chugunov M. V., Polunina I. N. Optimum design of the metal bellows on the SolidWorks platform	169
Borisova L. V., Dimitrov V. P. A linguistic approach to solving of the problem of technological adjustment of combines	178
Ovchinnikov V. A. Results of the study of damage to small seeds from the disk sowing apparatus	190

PHYSICS AND MATHEMATICS

Shelekhov I. Yu., Shishelova T. I., Smirnov Ye. I., Inozemtsev V. P. Combined electric heating system for timber frame houses	198
Savelyev A. P., Skvortsov A. N., Yenaleyeva S. A., Glotov S. V. Noise protection of agricultural workers with cellular structures	215
Volchikhin V. I., Ivanov A. I., Serikov A. V., Serikova Yu. I. Quantum superposition of the discrete spectrum of mathematical correlation molecule status for small samples of biometric data	224
Shiryayev V. D., Bikmurzina R. R. Cooperative option of pursuit game with two pursuers and one evader. A strong stability of division variety	239

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

Gushchina O. A. The use of intelligent systems for risk management in software projects	250
Tumbinskaya M. V. Providing protection from targeted information in social networks	264
<i>Information for authors and readers of the journal (in Russian)</i>	289
<i>Information for authors and readers of the journal (in English)</i>	291



ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ / AGROENGINEERING SYSTEMS OF PROCESSES AND MACHINES

УДК 62-224.2:62-89

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.154-168

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИВОДА КЛАПАННОГО МЕХАНИЗМА ГОЛОВКИ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

П. В. Сенин*, Н. В. Раков, А. М. Макейкин*ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)***vice-rector-innov@adm.mrsu.ru*

Введение. Статья посвящена повышению надежности головок блоков цилиндров за счет восстановления работоспособности клапанного механизма и элементов привода.

Материалы и методы. Для определения возможного хода гидрокомпенсаторов клапанных механизмов в новых и бывших в эксплуатации головках блоков цилиндров двигателя ЗМЗ-406 был использован метод размерного анализа. На основании микрометражных исследований и проведенных расчетов было описано несколько способов восстановления работоспособности головки блока цилиндров.

Результаты исследования. В результате проведенных исследований размерных цепей было установлено, что ход гидрокомпенсаторов в клапанных механизмах новых головок блоков цилиндров двигателя ЗМЗ-406 составляет 2,3 мм с предельными отклонениями $\pm 0,15$ мм. Для обоснования рациональных способов восстановления был произведен расчет размерной цепи, где в качестве допусков составляющих звеньев использовались предельные значения износов поверхностей, определяемые микрометражными исследованиями бывших в эксплуатации головок блоков цилиндров. В результате было установлено, что при наилучшей комбинации износов возможный допустимый ход гидрокомпенсатора составляет 1,98 мм, а при наихудшей – $-0,74$ мм, т. е. хода гидрокомпенсатора не хватает, чтобы компенсировать износы составляющих звеньев.

Обсуждение и заключения. Было предложено 4 способа повышения работоспособности клапанных механизмов. В качестве критерия выбора способа ремонта рекомендуется использовать суммарное значение просадки клапана. Ход гидрокомпенсаторов после ремонтных воздействий составляет в данном случае 1,57–2,36 мм, что соответствует ходу гидрокомпенсаторов новых головок блоков цилиндров.

Ключевые слова: головка блока цилиндров, клапанный механизм, клапан, гидрокомпенсатор, восстановление, работоспособность, способ ремонта, размерная цепь

Для цитирования: Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М. Теоретическое обоснование способов восстановления работоспособности привода клапанного механизма головки блока цилиндров // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 154–168. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.154-168



Благодарности: Опубликовано при поддержке проекта № г/б 2-17 «Разработка технологий и средств повышения долговечности деталей, узлов, агрегатов машин и оборудования, путем создания наноструктурированных покрытий источниками концентрированной энергии», проектной части в рамках работы «Проведение научно-исследовательских работ (фундаментальных научных исследований, прикладных научных исследований и экспериментальных разработок)».

A THEORETICAL BASIS FOR THE METHODS TO RESTORE WORKING CAPACITY OF VALVE-ACTIATING GEAR OF THE CYLINDER BLOCK HEAD

P. V. Senin*, N. V. Rakov, A. M. Makeykin

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**vice-rector-innov@adm.mrsu.ru*

Introduction. The article describes the method of reliability improvement of the valve-actuating gear of the cylinder block head.

Material and Methods. The method of the dimensional analysis was used for definition of the possible travel of hydro compensator valve mechanisms in the new and used cylinder heads of ZMZ 406 motor. The method is based on micrometer research and precise calculations.

Results. The hydro compensator travel in the valve mechanisms of new motor cylinder heads of ZMZ-406 engine is 2.3 mm with maximum deviations of ± 0.15 mm. An estimation of dimensional chain was calculated for the rational methods of recovery. The limit values of surface wear were used as the limits of component links. The values were obtained using micrometer researches of used heads of cylinder blocks. When the best combination of wear, possible hydrocompensator travel is 1.98 mm, and when the worst one minus is 0.74 mm, that is, the hydrocompensator travel is not enough to compensate for the wear of component parts.

Discussion and Conclusions. The authors of the article propose four ways to improve efficiency of valve mechanisms. As a criterion for selecting a method of repair is proposed to use the total value of the valve. Sinkage for the proposed methods, hydrocompensator travel after repair is from 1.57 to 2.36 mm, which corresponds to the hydrocompensator travel of the new motor cylinder heads.

Keywords: cylinder block head, valve mechanism, valve, hydrocompensator bar, restoration, working capacity, repair mode, dimensional chain

For citation: Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. A theoretical basis for the methods to restore working capacity of valve-actuating gear of the cylinder block head. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(2):154-168. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.154-168

Acknowledgements: The research was carried out with the support of the project no. g/b 2-17 Development of Technologies and Means for Increasing the Durability of Parts, Units, Machines and Equipment Assemblies by Creating Nanostructured Coatings with Sources of Concentrated Energy, the project part within the framework of the work Conducting Research Works (Fundamental Scientific Research, Applied Research and Experimental Development).

Введение

Головка блока цилиндров (ГБЦ) двигателя вместе с цилиндром образует надпоршневую полость, в которой происходят все тепловые процессы рабочего цикла. Клапанные механизмы в ГБЦ отвечают за выпуск смеси воздуха с топливом, сжатие рабочей смеси и выпуск отработавших газов. Нарушение их правильной работы приводит к потере мощности двигателя, повышенному расходу топлива и, в дальнейшем, полной неисправности двигателя.

В клапанных механизмах важную роль играет тепловой зазор клапанов. Для нормальной работы двигателя необходимо соблюдать время открытия/закрытия клапанов и сохранять их герметичность в закрытом состоянии. Когда двигатель еще не прогрет, между торцом клапана и коромыслом, или толкателем и распределительным валом должен присутствовать определенный заводом зазор, рассчитанный исходя из температурного расширения металлов. В процессе работы двигателя трущиеся детали изнашиваются, установленные зазоры изменяются. В современных двигателях (например, ЗМЗ-406) для регулирования теплового зазора в клапанном механизме ГБЦ используются толкатели с гидрокompенсаторами, которые автоматически выбирают зазор в зависимости от нагрева и состояния (износа) деталей двигателя и газораспределительного механизма.

Таким образом, основной задачей при проведении ремонтных работ по восстановлению работоспособности привода клапанного механизма ГБЦ является приведение характеристик составляющих элементов привода к заводским значениям.

Обзор литературы

В научной и учебной литературе можно выделить несколько направлений в области повышения надежности ГБЦ.

Одни работы посвящены диагностированию технического состояния ГБЦ. Например, в статье [1] для определения теплового зазора клапанов предлагается использовать нейтронно-сетевые модули диагностирования ДВС.

В других изучается теплонапряженное состояние ГБЦ, что позволяет оперативно определять и прогнозировать уровень теплового состояния в широком диапазоне режимов нагружения [2].

Третьи рассматривают пути повышения долговечности за счет совершенствования технологий изготовления и ремонта. Основное внимание в этом случае уделяется восстановлению работоспособности деталей и поверхностей ГБЦ, таких как направляющие втулки клапанов, клапаны, привалочная плоскость и седла клапанов¹ [3–5]. В рамках данного направления на кафедре технического сервиса машин ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» была разработана технология восстановления отверстий под распределительный вал алюминиевой ГБЦ двигателя ЗМЗ-406 [6]. Данная технология основана на применении комбинированного метода восстановления, при котором электроискровая обработка выступает в качестве подложки, а покрытия, полученные холодным газодинамическим напылением, являются основным слоем, воспринимающим нагрузку [7–8].

В статье [9] по результатам многофакторного эксперимента обосновываются режимы холодного газодинамического напыления по расходу

¹ **Ширяев В. М.** Повышение долговечности выпускных клапанов форсированных двигателей : дис. ... канд. техн. наук. Коломна, 1983. 196 с. URL: <http://dlib.rsl.ru/01003436266>



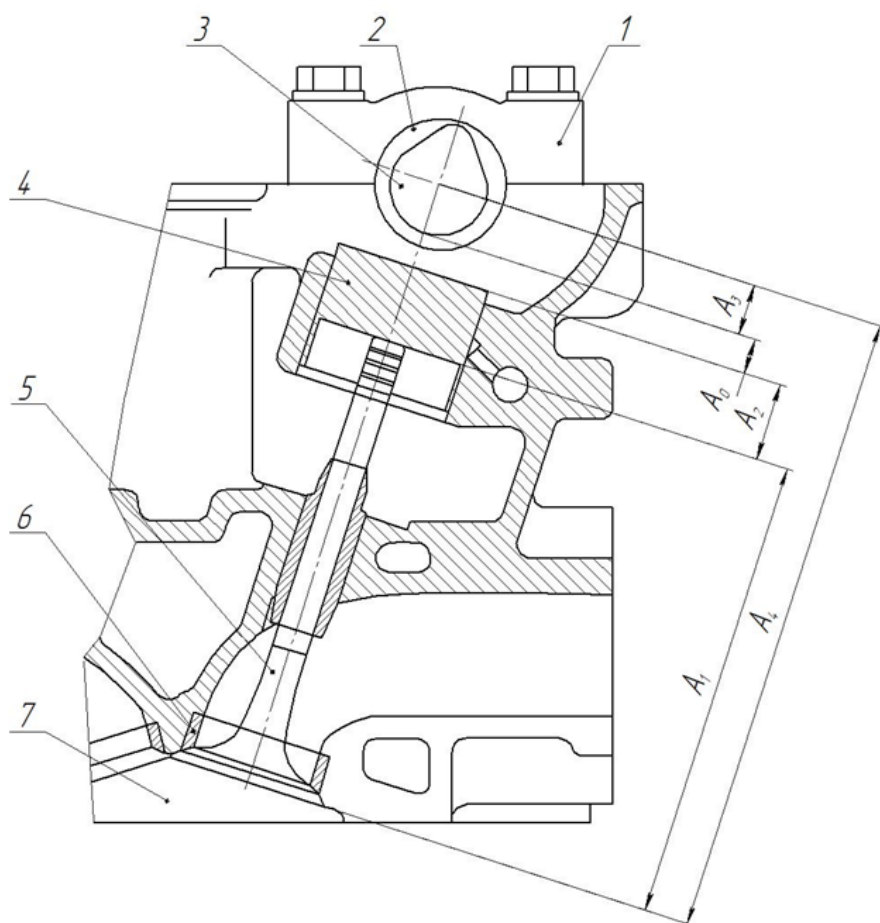
порошкового материала. Теоретические аспекты предлагаемого метода рассмотрены в трудах Ф. Х. Бурумкулова [7; 10; 12–16], А. Д. Верхотурова [14], В. И. Иванова [8; 10–16], С. А. Величко [10–13], П. А. Ионина [10; 13] и др. Авторы работ [10–15] рассматривают особенности процесса и свойства наноструктурированных покрытий получаемых электроискровой обработкой. Возможность использования электроискровой обработки и холодного газодинамического напыления рассмотрена в работе [16], где эффективность приме-

нения комбинированных покрытий обоснована оценкой прочности сцепления.

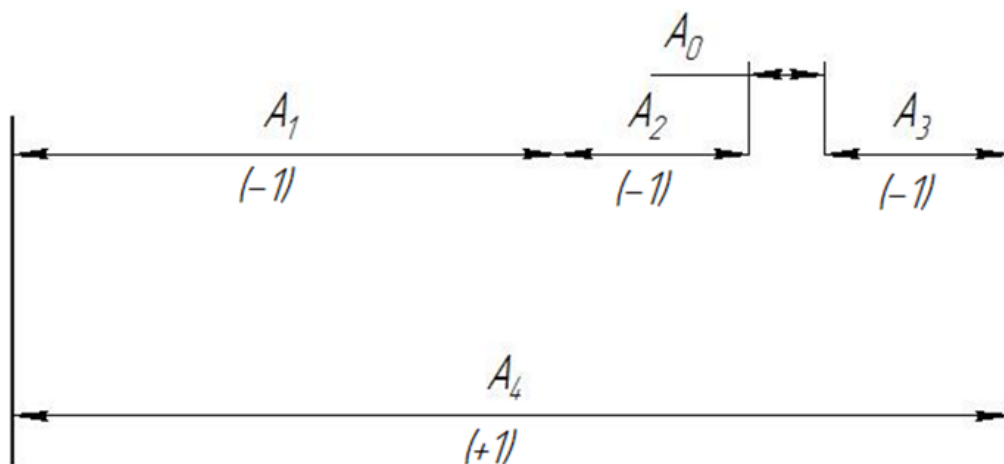
Недостатком всех проанализированных работ является то, что ГБЦ не рассматривается в них как единый агрегат. Следовательно, отсутствуют рекомендации по обоснованию рациональных способов восстановления работоспособности ГБЦ. Данную задачу предлагается решить на примере ГБЦ двигателя ЗМЗ-406.

Материалы и методы

Схема клапанного механизма двигателя представлена на рисунке (а).



а



б

Р и с у н о к. Схема клапанного механизма и его привода: а) клапанного механизма; б) размерной цепи (1 – бугели крепления распределительных валов; 2 – распределительный вал; 3 – кулачок; 4 – гидрокомпенсатор (в сжатом состоянии); 5 – клапан; 6 – седло клапана; 7 – корпус головки блока цилиндров; A_1 – длина клапана; A_2 – толщина гидрокомпенсатора; A_3 – радиус тыльной стороны кулачка; A_4 – расстояние от торца тарелки клапана до оси отверстия под распределительный вал; A_0 – ход гидрокомпенсатора)

F i g u r e. Valve mechanisms with actuator: а) valve mechanism; б) dimension chains (1 – ski lift of fastening the camshaft; 2 – camshaft; 3 – cam; 4 – hydrocompensator (in compressed condition); 5 – valve; 6 – valve seat; 7 – the body of the cylinder block head; A_1 – valve length; A_2 – hydrocompensator thickness; A_3 – the radius of the back side of the cam; A_4 – distance from the end of the valve to the axis of the hole under the camshaft; A_0 – the hydrocompensator travel)

Как видно из рисунка, на изменение толщины гидрокомпенсатора 4 оказывает влияние изменение положения клапана 5 и распределительного вала 2. Изменение положения данных деталей в процессе эксплуатации происходит за счет образования износов на фаске тарелки и торце клапана 5, рабочей поверхности седла 6 и поясков отверстия под распределительный вал.

При капитальном ремонте ГБЦ изношенные поверхности клапана 5 и седла 6 обрабатываются до выведения следов износа, а пояски отверстия восстанавливаются осаживанием бугелей 1 и расточкой со смещением в сторону привалочной плоскости. Это значительно уменьшает ход гидроком-

пенсатора и, следовательно, межремонтный ресурс ГБЦ в целом.

Цель исследования – определение допустимой величины хода гидрокомпенсатора и теоретическое обоснование рациональных способов восстановления работоспособности элементов клапанного узла и его привода.

Для решения задач в рамках заявленной цели был применен метод анализа размерности.

Рассмотрим размерную цепь, представленную на рисунке (б), где замыкающим звеном A_0 является допустимый ход гидрокомпенсатора, при котором разгерметизация камеры сгорания не происходит. Размерной цепи принадлежат следующие звенья:



A_1 – длина клапана, принимаем $A_1 = 104,1^{+0,10}_{-0,10}$ мм²;

A_2 – толщина гидрокомпенсатора в максимально сжатом состоянии (из-за отсутствия данных определялась на новых гидрокомпенсаторах микрометрическими исследованиями), $A_2 = 16,0^{+0,05}_{-0,05}$ мм;

A_3 – радиус тыльной стороны кулачка, $A_3 = 18,5^{+0,05}_{-0,05}$ мм²;

A_4 – расстояние от торца тарелки клапана до оси отверстия под распределительный вал (определялось на новых ГБЦ микрометрическими исследованиями), $A_4 = 140,9^{+0,10}_{-0,10}$ мм.

Допустимая величина хода гидрокомпенсатора определялась методом максимума-минимума в результате решения обратной задачи. Предполагалось, что в процессе обработки или сборки возможно сочетание наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих размеров или обратное их сочетание. Оба случая – наихудшие в смысле получения точности замыкающего звена, но их возникновение маловероятно, поскольку отклонения размеров в основном группируются в центре поля допуска.

Расчет производился в следующей последовательности³.

1. Вычисление номинального размера замыкающего звена A_Δ :

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, m$ – порядковый номер звена; ξ_i – передаточное отношение i -го звена размерной цепи; A_i – номинальный размер i -го звена размерной цепи.

2. Определение координаты середины поля допуска Δ_0 замыкающего звена:

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0_i}, \quad (2)$$

где Δ_{0_i} – координата середины допуска i -го звена размерной цепи:

$$\Delta_{0_i} = \frac{\Delta_{\epsilon_i} + \Delta_{\eta_i}}{2}, \quad (3)$$

где Δ_{ϵ_i} и Δ_{η_i} – верхнее и нижнее предельное отклонение i -го звена размерной цепи соответственно.

3. Нахождение величины поля допуска T_Δ замыкающего звена при расчете методом максимума-минимума:

$$T_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i, \quad (4)$$

где T_i – допуск i -го звена размерной цепи:

$$T_i = \Delta_{\epsilon_i} - \Delta_{\eta_i}. \quad (5)$$

4. Расчет предельных отклонений замыкающего звена:

$$\Delta_{\epsilon_\Delta} = \Delta_0 + \frac{T_0}{2}, \quad (6)$$

$$\Delta_{\eta_\Delta} = \Delta_0 - \frac{T_0}{2}. \quad (7)$$

Результаты исследования

Подставив числовые значения в формулы (1–7), получили следующие результаты.

1. Номинальный размер замыкающего звена:

$$A_0 = (1 \cdot 140,9) + (-1 \cdot 104,1) + (-1 \cdot 16,0) + (-1 \cdot 18,5) = 2,3 \text{ мм.}$$

2. Координаты середины полей допусков:

– составляющих звеньев:

$$\Delta_{0_1} = \frac{0,1 + 0}{2} = 0,05 \text{ мм,}$$

$$\Delta_{0_2} = \frac{0,05 + 0}{2} = 0,025 \text{ мм,}$$

² Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Двигатель ЗМЗ-40524.10. ОАО «Заволжский моторный завод». 2008. 85 с.

³ РД 50-635-87. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей: методические указания. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. 43 с.

$$\Delta_{0_3} = \frac{0 - 0,05}{2} = -0,025 \text{ мм},$$

$$\Delta_{0_4} = \frac{0,1 + 0}{2} = 0,05 \text{ мм};$$

– замыкающего звена:

$$\Delta_{0_\Delta} = (-1 \cdot 0,05) + (-1 \cdot 0,025) +$$

$$+ (-1 \cdot (-0,025)) + (1 \cdot 0,05) = 0 \text{ мм}.$$

3. Допуски:

– составляющих звеньев:

$$T_1 = 0,1 - 0 = 0,1 \text{ мм},$$

$$T_2 = 0,05 - 0 = 0,05 \text{ мм},$$

$$T_3 = 0 - (-0,05) = 0,05 \text{ мм},$$

$$T_4 = 0,1 - 0 = 0,1 \text{ мм};$$

– замыкающего звена

$$T_\Delta = 0,1 + 0,05 + 0,05 + 0,1 = 0,3 \text{ мм}.$$

4. Предельные отклонения замыкающего звена:

$$\Delta_{e_i} = 0 + \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ мм},$$

$$\Delta_{e_0} = 0 - \frac{0,3}{2} = -0,15 \text{ мм}.$$

Из проведенных расчетов видно, что в новых ГБЦ двигателя ЗМЗ-406 допустимая величина хода гидрокомпенсатора составляет 2,3 мм с предельными отклонениями $\pm 0,15$ мм. Действительный ход гидрокомпенсатора должен находиться в пределах 2,15–2,45 мм.

Расчет был произведен при условии максимального сжатия гидрокомпенсатора, т. е. для момента разгерметизации камер сгорания в цилиндрах двигателя. Чтобы устранить данное явление и увеличить межремонтный ре-

сурс при проведении ремонтных работ, необходимо уменьшить допустимую величину смещения на 0,5 мм. Тогда при обосновании способов технологических воздействий на клапанные механизмы толщина гидрокомпенсатора в максимально сжатом состоянии: $A_2 = 16,5^{+0,05}$ мм.

Для того чтобы обосновать рациональные способы восстановления произвели расчет размерной цепи, представленной на рис. 1, б, где в качестве допусков составляющих звеньев использовались предельные значения износов поверхностей, определяемые микрометражными исследованиями головок блоков цилиндров, бывших в эксплуатации [7]: $A_1 = A_1^{из}$ – длина клапана с учетом износа торцевой поверхности, $A_1^{из} = 104_{-0,08}^{-0,02}$ мм; $A_4 = A_4^{из}$ – расстояние от торца тарелки клапана до оси отверстия под распределительный вал с учетом износов, определяется как

$$A_4^{из} = U_{кл}^{\phi} + U_{след} + U_{р/вал}^{отв},$$

где $U_{кл}^{\phi}$ – износ фаски тарелки клапана, $U_{кл}^{\phi} = 0,2\text{--}1,34$ мм; $U_{след}$ – износ рабочей поверхности седла, $U_{след} = 0,27\text{--}1,60$ мм; $U_{р/вал}^{отв}$ – радиальный износ поясков отверстия под распределительный вал, $U_{р/вал}^{отв} = 0,02\text{--}0,09$ мм.

Таким образом, $A_4^{из} = 140_{-0,48}^{-0,48}$ мм.

Износы поверхностей гидрокомпенсатора и радиуса тыльной стороны кулачка не превышают 0,01 мм. Если пренебречь данными износами, $A_2 = 16,0_{-0,05}^{+0,05}$ мм, $A_3 = 18,5_{-0,05}^{-2,98}$ мм.

Подставив числовые значения в формулы (2–7), получим следующие результаты.

1. Координаты середины полей допусков:

– составляющих звеньев:

$$\Delta_{0_1} = \frac{-0,02 + (-0,08)}{2} = -0,05 \text{ мм},$$

$$\Delta_{0_2} = \frac{0,05 + 0}{2} = 0,025 \text{ мм},$$



$$\Delta_{0_3} = \frac{0 - 0,05}{2} = -0,025 \text{ мм},$$

$$\Delta_{0_4} = \frac{-0,48 + (-2,98)}{2} = -1,73 \text{ мм};$$

– замыкающего звена:

$$\Delta_{0_\Delta} = (-1 \cdot (-0,05)) + (-1 \cdot 0,025) + (-1 \cdot (-0,025)) + (1 \cdot (-1,73)) = -1,68 \text{ мм}$$

2. Допуски:

– составляющих звеньев:

$$T_1 = -0,02 - (-0,08) = 0,06 \text{ мм},$$

$$T_2 = 0,05 - 0 = 0,05 \text{ мм},$$

$$T_3 = 0 - (-0,05) = 0,05 \text{ мм},$$

$$T_4 = -0,48 - (-2,98) = 2,50 \text{ мм};$$

– замыкающего звена:

$$T_\Delta = 0,06 + 0,05 + 0,05 + 2,50 = 2,72 \text{ мм}$$

3. Предельные отклонения замыкающего звена:

$$\Delta_{e_\Delta} = -1,68 + \frac{2,72}{2} = -0,32 \text{ мм},$$

$$\Delta_{H_\Delta} = -1,68 - \frac{2,72}{2} = -3,04 \text{ мм}.$$

Таким образом, $A_\Delta = 2,3_{-3,06}^{0,30}$ мм.

Следовательно, при наилучшей комбинации износов возможный допустимый ход гидрокомпенсатора составляет 1,98 мм, а при наихудшей – –0,74 мм, т. е. хода гидрокомпенсатора не хватает, чтобы компенсировать износы составляющих звеньев.

На основе результатов микрометрических исследований и размерного анализа было предложено несколько вариантов восстановления работоспо-

собности клапанного узла и его привода (табл. 1). За критерий выбора способа восстановления клапанных узлов головки блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406 рекомендуется использовать величину суммарного значения прокладки клапана $A_4^{из}$.

На основе предложенного критерия было разработано 4 способа восстановления работоспособности исследуемого клапанного механизма.

Способ 1

Если суммарное значение прокладки клапана составляет 0,5–1,0 мм, а на поясках отверстий видны задиры и выровы металла глубиной до 0,5 мм, износы фаски тарелки клапана и рабочей поверхности седла правятся до выведения следов износа с припуском на 0,01–0,02 мм. При наличии задиры на поясках отверстия под распределительный вал производится осаживание бугелей с последующей расточкой и притиркой алмазными развертками.

Способ 2

Если суммарное значение прокладки клапана составляет 1,0–1,8 мм, а на поясках отверстий видны задиры и выровы металла глубиной до 1 мм, изношенное седло клапана обрабатывается до выведения следов износа с припуском 0,01–0,02 мм. Клапан, бывший в эксплуатации, меняется на новый. Задиры и выровы металла на поясках отверстий под распределительные валы восстанавливаются комбинированным методом с последующей расточкой и притиркой алмазными развертками. Комбинированный метод восстановления изношенного объема металла на поясках заключается в применении электроискровой наплавки и холодного газодинамического напыления [4–8]. В процессе механической обработки ось поясков отверстий смещается в сторону привалочной плоскости на 0,07–0,10 мм.

Таблица 1

Table 1

Результаты микрометричных исследований звеньев размерной цепи
Results of micrometer research of the dimensional chain links

Варианты дефектов / Options of defects	Просадка клапана, мм / Drodown of the valve, mm				Износ торца клапана / Wear of end face of valve, A_1^{uz}	Дефекты на по- ясах отверстий под распределе- тельный вал / Defects in hole belts for camshaft
	Износ фаски тарелки клапана / Wear of valve bevel, $U_{кл}^ф$	Износ рабочей поверхно- сти седла / Wear of working surface of saddle, $U_{с\text{лед}}$	Износ поясков отверстия под распреде- лительный вал / Wear of hole belts the for camshaft, $U_{р\text{вал}}^{отв}$	Суммарное значение просадки клапана / Total value of the valve sinkage, A_4^{uz}		
1	0,19–0,44	0,27–0,56	0,02–0,03	0,48–1,03	0,02–0,03	Задир, выровы металла глуби- ной до 0,5 мм. Вероятность по- явления дефекта до 8 % / Burrs, loss of metal up to 0,5 mm in depth. Probability of defect to 8 %
2	0,39–0,76	0,63–0,96	0,04–0,06	1,04–1,78	0,02–0,05	Задир, выровы металла глуби- ной свыше 1 мм. Вероятность по- явления дефекта до 23 % / Burrs, loss of metal over 1 mm in depth. Prob- ability of defect to 23 %
3	0,75–1,29	1,02–1,60	0,04–0,09	1,08–2,98	0,02–0,08	Задир, выровы металла глу- биной свыше 1 мм. Вероят- ность появления дефекта до 46 % / Burrs, loss of metal up to 1 mm in depth. Probability of defect to 46 %
4	0,76–1,34	1,02–1,60	0,03–0,04	1,08–2,98	0,02–0,08	Пояски отвер- стий без види- мых дефектов / Hole belts without visible defects



Таблица 2
Table 2

Результаты размерного анализа способов восстановления работоспособности клапанного механизма двигателя ЗМЗ-406

Results of the dimensional analysis of the methods to restore functionality of valve mechanism of ZMZ-406 engine

Параметры / Parameters	Звенья размерной цепи / Links of a dimensional chain					Составляющие отклонения звена A_4 / Deflection of link components A_4			
	A_Δ	A_1	A_2	A_3	A_4	$U_{\text{кл}}$	$U_{\text{след}}$	$U_{\text{отср. вал}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Способ 1 / Method 1									
Числовое значение звена, мм / Numerical value of a link, mm	1,8	$104,1_{-0,05}^{-0,04}$	$16,5_{-0,05}^{+0,05}$	18,5 _{-0,05}	$140,9_{-1,09}^{-0,54}$				
$\Delta_{\text{отср. вал}}$	-0,770	-0,045	0,025	-0,025	-0,815	-0,21	-0,29	-0,04	
T_i	0,66	0,01	0,05	0,05	0,55	-0,46	-0,58	-0,05	
$\Delta_{\text{ед. вал}}$			-0,44						
$\Delta_{\text{ед. вал}}$			-1,10						
Способ 2 / Method 2									
Числовое значение звена, мм / Numerical value of a link, mm	1,8	$104,1_{-0,05}^{+0,1}$	$16,5_{-0,05}^{+0,05}$	18,5 _{-0,05}	$140,9_{-1,08}^{-0,72}$	0	-0,65	-0,07	
$\Delta_{\text{отср. вал}}$	-0,950	0,050	0,025	-0,025	-0,900	-0,98		-0,10	
T_i	0,56	0,10	0,05	0,05	0,36				
$\Delta_{\text{ед. вал}}$			-0,67						
$\Delta_{\text{ед. вал}}$			-1,23						

Ход гидрокомпенсатора составляет
(с учетом запаса 0,5 мм) 1,20–1,86 мм /
Run of hydrocompensator is (taking into
account a stock of 0,5 mm) 1,20–1,86 mm

Ход гидрокомпенсатора составляет
(с учетом запаса 0,5 мм) 1,07–1,63 мм /
Run of hydrocompensator is (taking into
account a stock of 0,5 mm) 1,07–1,63 mm



Окончание табл. 2 / End of table 2

Способ 3 / Method 3							
Числовое значение звена, мм / Numerical value of a link, mm	1,8	104,1 ^{+0,1}	16,5 ^{+0,05}	18,5 ^{-0,05}	140,9 ^{-0,12} -0,15	0	-0,12 -0,15
Δ_{0i}	-0,185	0,050	0,025	-0,025	-0,135	Ход гидрокомпенсатора составляет (с учетом запаса 0,5 мм) 2,00–2,23 мм / Run of hydrocompensator is (taking into account a stock of 0,5 mm) 2,00–2,23 mm	
T_i	0,23	0,10	0,05	0,05	0,03		
$\Delta_{e\Delta}$			-0,07				
$\Delta_{n\Delta}$			-0,30				
Способ 4 / Method 4							
Числовое значение звена, мм / Numerical value of a link, mm	1,8	104,1 ^{+0,1}	16,5 ^{+0,05}	18,5 ^{-0,05}	140,9 ^{-0,04} -0,06	0	-0,04 -0,06
Δ_{0i}	-0,100	0,05	0,025	-0,025	-0,050	Ход гидрокомпенсатора составляет (с учетом запаса 0,5 мм) 2,09–2,31 мм / Run of hydrocompensator is (taking into account a stock of 0,5 mm) 2,09–2,31 mm	
T_i	0,22	0,10	0,05	0,05	0,02		
$\Delta_{e\Delta}$			+0,01				
$\Delta_{n\Delta}$			-0,21				



Способ 3

Если суммарное значение просадки клапана составляет 1,8–3,0 мм, а на поясках отверстий видны задиры и выровы металла глубиной свыше 1 мм, изношенное седло клапана и клапан меняются на новые. Пояски отверстий под распределительные валы восстанавливаются комбинированным методом с последующей расточкой и притиркой алмазными развертками. В процессе механической обработки ось поясков отверстий смещается в сторону привалочной плоскости на 0,12–0,15 мм.

Способ 4

Если суммарное значение просадки клапана составляет 1,8–3,0 мм, а на поясках отверстий отсутствуют дефекты, изношенное седло клапана и клапан меняются на новые. Бугели осаживаются с последующей расточкой и притиркой алмазными развертками. В процессе механической обработки ось поясков отверстий смещается в сторону привалочной плоскости на 0,05–0,06 мм.

Для всех предложенных способов был произведен расчет размерной цепи и определен возможный ход гидрокомпенсатора после ремонтных воздействий (табл. 2). Дополнительно для увеличения хода гидрокомпенсаторов при ремонте клапанных механизмов 1-м

и 2-м способами допускается обрабатывать торец стержня клапана максимум на 0,45–0,50 мм. При этом ход гидрокомпенсаторов составит 1,70–2,36 мм и 1,57–2,13 мм соответственно.

Из-за различного теплового нагружения впускные и выпускные клапаны просаживаются на разные величины. В этом случае на одной ГБЦ применяются различные способы восстановления работоспособности клапанного механизма.

Обсуждение и заключения

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

1. Допустимая величина хода гидрокомпенсатора в клапанном механизме ГБЦ двигателя ЗМЗ-406 составляет 2,3 мм с предельными отклонениями $\pm 0,15$ мм.

2. Предложены 4 способа повышения работоспособности клапанных механизмов. В качестве критерия выбора способа ремонта рекомендуется использовать суммарное значение просадки клапана.

3. В предложенных способах повышения работоспособности клапанных механизмов ход гидрокомпенсаторов после ремонтных воздействий составляет 1,57–2,36 мм, что соответствует ходу гидрокомпенсаторов новых ГБЦ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Злотин Г. Н., Лютин К. И., Федянов Е. А. Построение и обучение нейтронно-сетевой модели виброакустического диагностирования кулачкового распределительного механизма ДВС // Известия ВолгГТУ. 2009. Т. 2, № 7 (55). С. 28–31. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12891459>
2. Ивашенко Н. А., Новиков В. Г., Киселев С. А. Экспериментально-расчетное определение тепловых потоков в головках цилиндра дизеля типа КамАЗ-740 // Вестник БГТУ. 2004. № 4. С. 72–77. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23053704>
3. Евграфов В. А., Баяк И. И. Особенности получения покрытий Ni-P-Cu химическим способом // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2009. № 11. С. 24–25. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=13022945>
4. Новиков А. Н., Жуков В. В. Восстановление головки блока цилиндров двигателя // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2006. № 3. С. 7–8. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9196689>
5. Трелин А. А. Исследование технологических факторов, влияющих на качество ремонта головок блока цилиндров // Труды ГОСНИТИ. 2006. Т. 98. С. 62–66. URL: <http://www.gosniti.ru/forms/Trelin.doc>
6. Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М. Технологические рекомендации по восстановлению опор распределительного вала головки блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406 // *Energoeffektivnaya Agroengineering systems of processes and machines*

ные и ресурсосберегающие технологии и системы : сб. науч. ст. междунар. науч. конф., посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. Саранск, 2016. С. 235–239. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26276046>

7. Повышение надежности головок блока цилиндров комплексным ремонтом с применением прогрессивных методов восстановления деталей / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111, № 2. С. 4–8. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18956287>

8. Применение электроискрового и холодного газодинамического метода нанесением металлопокрытий при ремонте блоков цилиндров / В. И. Иванов [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2012. № 3. С. 11–15. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17529718>

9. **Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М.** Влияние технологических режимов холодного газодинамического напыления на коэффициент использования порошкового материала // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 55–56. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18224835>

10. Повышение ресурса агрегатов созданием на рабочих поверхностях деталей наноструктурированных покрытий / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Технология металлов. 2008. № 1. С. 2–7. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9904906>

11. Investigation into the performance of the friction surfaces developed by electrospark treatment / S. A. Velichko [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2016. Vol. 52, no 3. P. 225–232. DOI: 10.3103/S1068375516030133

12. Plasticity of electrospark / F. Kh. Burumkulov [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2014. Vol. 50, no 2. P. 106–110. DOI: 10.3103/S1068375514020033

13. The properties of nanocomposite coatings formed on a steel 20h surface by means of electrospark processing using rodshaped electrodes of steels 65 g and sv 08 / F. Kh. Burumkulov [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2009. No. 6 (260). P. 455–460. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20147553>

14. Formation of the surface layer on a low-carbon steel in electrospark treatment / V. I. Ivanov [et al.] // Welding International. 2013. Vol. 27, no. 11. P. 903–906. DOI: 10.1080/09507116.2013.796643

15. **Ivanov V. I., Burumkulov F. Kh.** On electrodeposition of thick coatings of increased continuity // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2014. Vol. 50, no. 5. P. 377–383. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25553805>

16. Исследование прочности сцепления электроискровых и газодинамических покрытий / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Электронная обработка материалов. 2011. Т. 47. № 2. С. 24–29. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20175280>

Поступила 03.03.2017; принята к публикации 06.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Сенин Пётр Васильевич, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3400-7780>**, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru

Раков Николай Викторович, доцент кафедры технического сервиса машин, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3687-9371>**, nikolaymgu@yandex.ru

Макейкин Анатолий Михайлович, преподаватель кафедры технического сервиса машин, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4629-0886>**, s.f.f@yandex.ru

Вклад соавторов: П. В. Сенин: научное руководство, анализ и доработка текста; Н. В. Раков: подготовка начального текста с последующей доработкой, анализ литературных данных; А. М. Макейкин: подготовка и первичный анализ литературных данных, верстка и редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



REFERENCES

1. Zlotin G. N., Lyutin K. I., Fedyanov Ye. A. [Construction and training of neutron-network model of vibroacoustic diagnosing of the cam distributive mechanism DVS]. *Izvestiya VolgGTU* = Bulletin VSTU. 2009; Vol. 2; 7(55):28-31. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12891459> (In Russ.)
2. Ivashchenko N. A., Novikov V. G., Kiselev S. A. [Experimental and computational determination of heat flow in the cylinder heads of KAMAZ-740 diesel]. *Vestnik BGTU* = Bulletin BSTU. 2004; 4:72-77. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23053704> (In Russ.)
3. Yevgrafov V. A., Bayak I. I. [Features of the coatings Ni-P-Cu by chemical means]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva* = Mechanization and Electrification of Agriculture. 2009; 11:24-25. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=13022945> (In Russ.)
4. Novikov A. N., Zhukov V. V. [The restoration of the cylinder block head of the engine]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya* = Repair. Restoration. Modernization. 2006; 3:7-8. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9196689> (In Russ.)
5. Trelin A. A. [A research of technological factors affecting the quality of repair of the cylinder block heads]. *Trudy GOSNITI* = Works of GOSNITI. 2006; 98:62-66. Available at: <http://www.gosniti.ru/forms/Trelin.doc> (In Russ.)
6. Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. [Technological recommendations for restoring the support of the camshaft of the cylinder head of the engine block ZMZ-406]. In: *Energoeffektivnye i resursosberegayuchshiye tekhnologii i sistemy: sb. nauch. st. mezhdunar. nauch. konf., posvyachshennoy pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora F. Kh. Burumkulova* = Energy-Efficient and Resource-Saving Technologies and Systems. Saransk. 2016; 235-239. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26276046> (In Russ.)
7. Burumkulov F. Kh., Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. Increase of reliability of cylinder heads by complex repair with application of progressive methods of restoration of details. *Trudy GOSNITI* = Works of GOSNITI. 2013; 2(111):4-8. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18956287> (In Russ.)
8. Ivanov V. I., Kostyukov A. Yu., Denisov V. A., Rakov N. V., Potapov A. V. [The use of electrospark and cold gas-dynamic method of applying the metal coatings in the repair of cylinder blocks]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya* = Repair. Restoration. Modernization. 2012; 3:11-15. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17529718> (In Russ.)
9. Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. Impact of cold gas-dynamic spraying operating modes on the coefficient of utilization of powder stuff. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2012; 10:55-56. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18224835> (In Russ.)
10. Burumkulov F. Kh., Velichko S. A., Davydkin A. M., Ivanov V. I., Ionov P. A., Rakov N. V. [Improvement in service life of units by means of creating the nanostructured coatings on the working surfaces of parts]. *Tekhnologiya metallov* = Technology of Metals. 2008; 1:2-7. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9904906> (In Russ.)
11. Velichko S. A., Senin P. V., Martynov A. V., Ivanov V. I. Investigation into the performance of the friction surfaces developed by electrospark treatment. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2016; 3(52):225-232. DOI: 10.3103/S1068375516030133
12. Burumkulov F. Kh., Ivanov V. I., Velichko S. A., Denisov V. A. Plasticity of electrospark. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014; 2(50):106-110. DOI: 10.3103/S1068375514020033
13. Burumkulov F. Kh., Senin P. V., Velichko S. A., Ivanov V. I., Ionov P. A., Okin M. A. The properties of nanocomposite coatings formed on a steel 20h surface by means of electrospark processing using rodshaped electrodes of steels 65 g and sv 08. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2009; 6(260):455-460. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20147553>
14. Ivanov V. I., Panin Y. S., Konevtsov L. A., Burumkulov F. Kh., Verkhoturov A. D., Gordiyenko P. S. Formation of the surface layer on a low-carbon steel in electrospark treatment. *Welding International*. 2013; 11(27):903-906. DOI: 10.1080/09507116.2013.796643



15. Ivanov V. I., Burumkulov F. Kh. On electrodeposition of thick coatings of increased continuity. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014; 50(5):377-383. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25553805>

16. Burumkulov F. Kh., Denisov V. A., Kostyukov A. Yu., Ivanov V. I., Zadorozhnyi R. N., Potapov A. V. Strength of electric spark and the gas dynamic coatings. *Elektronnaya obrabotka materialov* = Electronic Material Processing. 2011; 2(47):24-29. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20175280> (In Russ.)

Submitted 03.03.2017; revised 06.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Petr V. Senin, Vice-Rector for Science, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3400-7780>, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru.

Nikolay V. Rakov, Associate Professor of Technical Service Machines Chair, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3687-9371>, nikolaymgu@yandex.ru.

Anatoliy M. Makeykin, Lecturer of Technical Service Machines Chair, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4629-0886>, s.f.f@yandex.ru.

Contribution of the co-authors: P. Senin: scientific supervision, analysis and revision of the draft; N. Rakov: writing the draft, reviewing and analyzing the literature; A. Makeykin: analyzing the literature, writing the final text.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.



ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛЬФОННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЛАТФОРМЕ SOLIDWORKS

М. В. Чугунов, И. Н. Полунина*

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

**my_pk@mail.ru*

Введение. Металлические сильфоны широко применяются в различных технических системах в качестве чувствительных, компенсирующих и разделяющих элементов. Разнообразие возможных конструктивных решений с применением сильфонов обуславливает широкий диапазон типоразмеров, указанных в ГОСТ. В связи с этим актуальной является задача проектирования сильфонной техники, которая в рассматриваемом случае сводится к выбору сильфона, соответствующего заданным техническим условиям. Целью исследования является разработка методики и программного обеспечения для решения задач автоматизации оптимального проектирования конструкций рассматриваемого класса.

Материалы и методы. Система автоматизированного проектирования SolidWorks используется в данной работе как платформа для разработки Stand-Alone приложения, позволяющего автоматически формировать 3D-модель сильфона по заданным параметрам, извлекаемым из базы данных и отвечающим заданным техническим условиям. Доступ к функционалу SolidWorks, средствам анализа SolidWorks Simulation и соответствующей базе данных обеспечивался посредством COM-технологии. Для решения оптимизационной задачи использовался функционал, разработанный авторами данной статьи Add-In приложения SolidWorks; средой разработки послужила MS Visual Studio C++ (2015). Работа проводилась на основе объектно-ориентированного программирования с использованием API SolidWorks.

Результаты исследования. Была разработана методика оптимального проектирования сильфонной техники. Программное обеспечение представляет собой готовое для практического использования приложение SolidWorks, формирующее проектное решение в виде 3D-моделей (деталей и сборок), которое соответствует заданным техническим условиям.

Обсуждение и заключения. Разработанная методика и программное обеспечение значительно (на порядок и выше) сокращает время, затрачиваемое на разработку проектных решений для конструкций рассматриваемого класса.

Ключевые слова: сильфонная техника, оптимальное проектирование, SolidWorks, база данных, объектно-ориентированное программирование, параметрическая модель, COM-технология, API, OLE DB

Для цитирования: Чугунов М. В., Полунина И. Н. Оптимальное проектирование сильфонной техники на платформе SolidWorks // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 169–177. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.169-177

OPTIMUM DESIGN OF THE METAL BELLOWS ON THE SOLIDWORKS PLATFORM

M. V. Chugunov, I. N. Polunina*

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**my_pk@mail.ru*

Introduction. The metal bellows are widely used in various technical systems as the sensitive, compensating and separating elements. A variety of possible constructive solutions using bellows causes a broad range of standard sizes specified in GOST. In this regard the problem of the metal bellows design, which in the present case resolves itself to the choice of the bellow corresponding to the set specifications optimum, is important. Thus, the purpose of the research is the development of technique and software for the optimum design automation of the considered class structures.

Materials and Methods. SolidWorks is the world leader in the area of CAD/CAE computer aided design-engineering system and possesses not only a developed standard functionality, but also opportunities of extension of this functionality by the user. In this article SolidWorks is used as a platform for the development of Add-In application to create automatically the metal bellow 3D model for the given parameters from the database corresponding to the given specifications. At the same time access to SolidWorks simulation functionality, through the analysis of SolidWorks Simulation, and to the appropriate database is provided by COM technology. For the solution of the optimization problem, the functionality of the Add-In-application developed by authors of this article is used. A development environment is MS Visual Studio C ++ (2015). The basis for work is object-oriented programming with API SolidWorks use.

Results. The technique of optimum design of the metal bellows is developed. The software represents the SolidWorks application for practical use creating the project solution in the form of 3D models (parts and assemblies) corresponding to the given specifications.

Discussion and Conclusions. The developed technique and software reduce considerably time for the development of the project for structures of the considered class.

Keywords: metal bellows, optimum design, SolidWorks, databases, object-oriented programming, parametric models, COM technologies and API, OLE DB

For citation: Chugunov M. V., Polunina I. N. Optimum design of the metal bellows on the SolidWorks platform. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(2):169-177. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.169-177

Введение

Задача автоматизированного проектирования предполагает создание интегрированных междисциплинарных моделей, соответствующих различным аспектам описания объекта проектирования (конструкторским и функциональным), а также различным видам обеспечения (математического, программного, информационного). В числе данных моделей выделяются 3D-модели (детали и сборки), математические (аналитические и численные), инфор-

мационные (базы данных), алгоритмические и программные.

В статье реализовано комплексное решение задачи автоматизированного оптимального проектирования сильфонов на основе использования моделей всех указанных типов в интегрированной форме.

Обзор литературы

В научной литературе имеется значительное количество примеров решения частных задач подобного рода, которые основаны на отдельно взятых



моделях аналитического или численного типа. Например, в фундаментальной работе¹ представлены аналитические методы расчета и проектирования сильфонов, основанные на теории пластин и оболочек и адаптированные к инженерной расчетной практике. В статье [1] рассматриваются варианты применения сильфонов и соответствующие процедуры с использованием средств автоматизации расчетов, также основанных на аналитических методах. В работе [2] приводится аналитическое описание деформаций сильфона как объемного твердого тела, ограниченного заданными поверхностями. Такое описание позволяет изучить поля деформаций и напряжений, возникающих в толще реальных оболочек.

В настоящее время для анализа состояния и поведения сильфонной техники используются в основном численные методы. В частности, в работах [3–4] приводятся и анализируются конечно-элементные модели сильфонов в среде системы ANSYS; в статье [3] исследуется циклическая прочность сильфона при вынужденных осевых колебаниях; в работе [4] дается оценка долговечности сильфона при малоцикловой усталости в случае циклического нагружения, сжатия, растяжения и изгиба.

Основой для комплексного решения послужила разработанная авторами статьи параметрическая библиотека для моделирования сильфонов в среде SolidWorks [5], позволяющая осуществлять автоматическое построение 3D-модели сильфона на основе паттерна проектирования с заданными типоразмерами. Недостатком данной библиотеки является то, что параме-

тры сильфона представляют собой глобальные переменные или определяются с помощью уравнений, однако исходные значения необходимо вводить вручную.

В данной работе параметрическая библиотека в контексте конструкторского аспекта описания объекта проектирования интегрируется с соответствующей базой данных в единой среде оптимального автоматизированного проектирования (САПР) «Сильфоны».

Материалы и методы

В процессе исследования использовались следующие методы, технологии, среды моделирования и разработки.

1. CAD/CAE-система SolidWorks (Simulation) как среда 3D-моделирования, проектирования, анализа и оптимизации проектных решений.

2. Объектная модель компонентов COM (Component Object Model)²⁻³, позволяющая получить доступ к моделям и функционалу приложения, в данном случае SolidWorks.

3. Среда разработки MS Visual Studio C++ широкого спектра назначения².

4. Технология OLE DB (Object Linking and Embedding, Database), реализующая поддержку со стороны MS Visual Studio C++ и позволяющая осуществить прямой доступ к данным. По существу, OLE DB представляет собой набор COM-интерфейсов. При этом интегрируются не только системы автоматизированного управления, но и системы управления данными [6]. Редактирование базы данных может осуществляться как в среде MS Access, так и в программе пользователя, организуемой доступ к данным средствами OLE DB.

¹ Сильфоны: расчет и проектирование / Под ред. Л. Е. Андреевой. М. : Машиностроение, 1975. 156 с.

² Шеферд Д. Программирование на Microsoft Visual C++.NET: мастер-класс. М. : Русская редакция ; СПб. : Питер, 2007. 928 с.

³ Роджерсон Д. Основы COM. М. : Русская редакция, 2000. 400 с.

Результаты исследования Информационное обеспечение

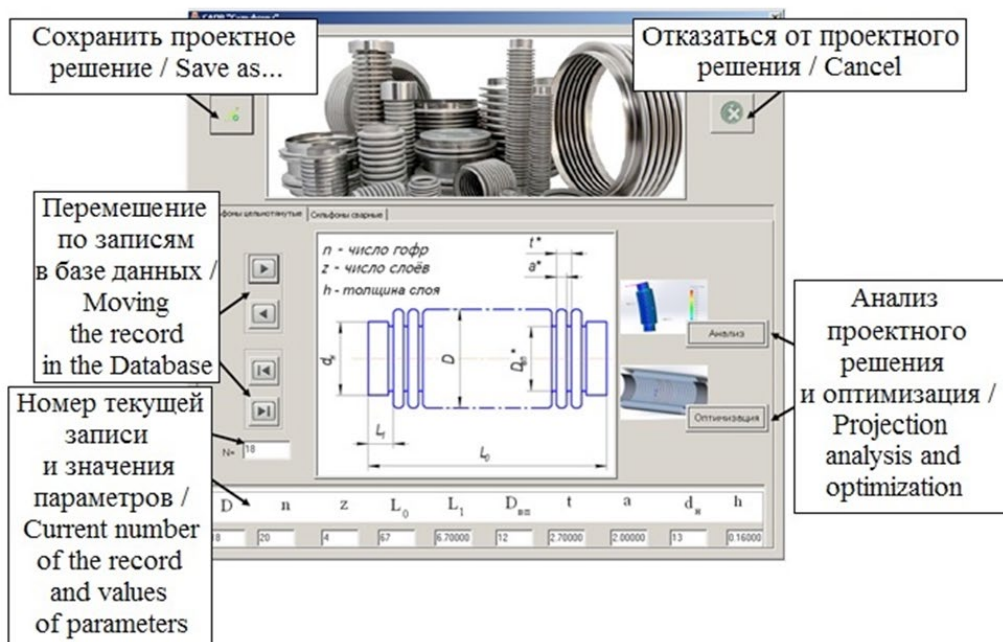
Основу информационного обеспечения САПР «Сильфоны» составляют файлы ACCDB (MDB) базы данных Access. Для двух наиболее распространенных типов металлических сильфонов (цельнотянутых и сварных) геометрические параметры (ГОСТ 21744-83, ГОСТ 21754-81) хранятся в соответствующих файлах базы данных.

На рис. 1 показано окно разработанного нами приложения САПР «Сильфоны», которое организует доступ к данным, просмотр и редактирование записей. Окно содержит две вкладки, соответствующие двум типам

сильфонов. На каждой вкладке расположены следующие элементы:

- эскиз сильфона с указанием его геометрических параметров;
- поля для вывода и редактирования параметров, извлекаемых из базы данных;
- элементы управления, позволяющие перемещаться по записям.

Кнопка «Сохранить проектное решение» позволяет сохранить все текущие документы. На начальной стадии проектирования происходит формирование и сохранение документа параметрической 3D-модели сильфона SolidWorks, параметры которой соответствуют выбранной записи из базы данных.



Р и с. 1. Окно приложения САПР «Сильфоны»
F i g. 1. CAD application window Sylphons

Математическое обеспечение

Математическое обеспечение представляет собой метод конечных элементов, реализованный в виде конечноэлементного процессора как штатного компонента SolidWorks

Simulation. В качестве оптимизационной модели используется метод Хана и Пауэлла [7] для решения задачи нелинейного математического программирования (НМП) в следующем виде:



найти

$$\min_{x \in R} C(x) \quad (1)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} A_j \leq x_j \leq B_j, \quad j = \overline{1, n}, \\ \phi_k(x) \leq 1, \quad k = \overline{1, m}, \end{aligned} \quad (2)$$

где x – вектор управляемых параметров; $C(x)$ – целевая функция, выражающая собой критерий качества объекта проектирования (массу сильфона); $n = 2$ – количество управляемых параметров и, соответственно, количество геометрических ограничений (размерность пространства оптимизации); A_j и B_j – геометрические ограничения на управляемые параметры снизу и сверху соответственно; $m = 1$

$$\phi_1(x) = \frac{\sigma_{\max}^{\text{экв. vM}}}{[\sigma]} (\sigma_{\max}^{\text{экв. vM}} - \text{максимальное}$$

для конструкции эквивалентное напряжение по Мизесу, $[\sigma]$ – допускаемое напряжение) – функциональное ограничение по прочности.

$$\begin{aligned} x^{(j)}(x_{i-1}^{(j)}, x_i^{(j)}, x_{i+1}^{(j)}) &= x_i^{(j)} \frac{x_{i-1}^{(j)} + x_i^{(j)}}{2} \leq x_i^{(j)} \leq \frac{x_{i+1}^{(j)} + x_i^{(j)}}{2}, \\ x_0^{(j)} &= x_1^{(j)} - \frac{x_2^{(j)} - x_1^{(j)}}{2}, x_{N+1}^{(j)} = x_N^{(j)} + \frac{x_N^{(j)} - x_{N-1}^{(j)}}{2}, \end{aligned}$$

где N_j – количество дискретных значений j -той переменной.

Программное обеспечение

Для реализации COM используется класс интерфейсных смарт-указателей CComPtr.

На рис. 2 проиллюстрирован механизм функционирования COM. Интерфейсы используются Stand-Alone приложением; при этом доступ к SolidWorks и MS Access реализуется посредством смарт-указателей, которые осуществляют связь приложения с документом

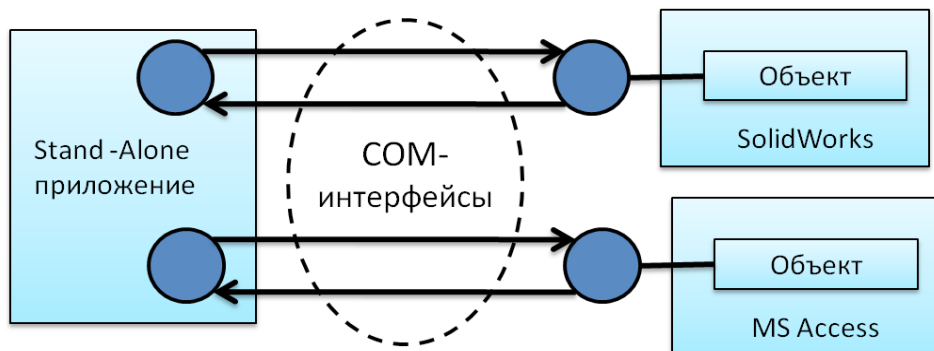
Основу программного обеспечения в части решения задачи НМП составляет набор подпрограмм [8], конвертированных нами в среду разработки MS Visual Studio C++.

В качестве управляемых параметров рассматриваются количество гофр и количество слоев оболочки. Вследствие трудоемкости оптимизационных процедур с алгоритмически заданными функциями оптимизации задача (1–2) решается с использованием многоточечных аппроксимаций⁴. Алгоритм в данном случае сводится к поэтапной замене функций оптимизации упрощенными аналитическими моделями (метамоделями), сформированными на основе анализа результатов экспериментов с исходной конечноэлементной моделью [9]. В завершение каждого этапа оптимизационного процесса, согласно [10], производится замена непрерывных значений дискретными. В данной работе для такой замены была использована функция принадлежности:

и уравнениями SolidWorks, конечноэлементным процессором (исследования Simulation), оболочками SolidWorks, результатами анализа Simulation и данными MS Access. Детали решения оптимизационной задачи на платформе SolidWorks с использованием COM и API SolidWorks подробно изложены в работе [11]. Программный модуль оптимального проектирования и имитационного моделирования на базе API SolidWorks зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности⁵.

⁴ **Торопов В. В.** Multipoint approximation method in optimization problems with expensive function values / Ed. by A. Sydow // Computational Systems Analysis. Elsevier, 1992. P. 207–212.

⁵ **Небайкина Ю. А., Чугунов М. В., Шекин А. В.** Модуль оптимального проектирования и имитационного моделирования на базе API SolidWorks // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611492 от 16 февраля 2011 г.



```
CComPtr<IModelDoc2> doc;
CComPtr<IEquationMgr> swEqnMgr;
CComPtr<ICWStudy> Study;
CComPtr<ICWShell> Shell;
CComPtr<ICWResults> Results;
CComPtr<IAccessor> spAccessor;
```

Документ SolidWorks
Уравнения SolidWorks
Исследования Simulation
Оболочки
Результаты
Данные

Р и с. 2. Реализация COM-технологии

F i g. 2. COM-technology realization

Из приведенных на рис. 2 указателей дополнительных комментариев требует только указатель на оболочки `CComPtr<ICWShell> Shell`. Создание данного указателя обусловлено необходимостью автоматического формирования граничных условий при изменении параметрической модели, связанном, например, с увеличением количества гофр сильфона. При создании дополнительных гофр распределенная нагрузка не переносится автоматически на вновь созданные оболочки; таким образом, эту проблему необходимо решить программно при помощи указателей Shell.

Пример

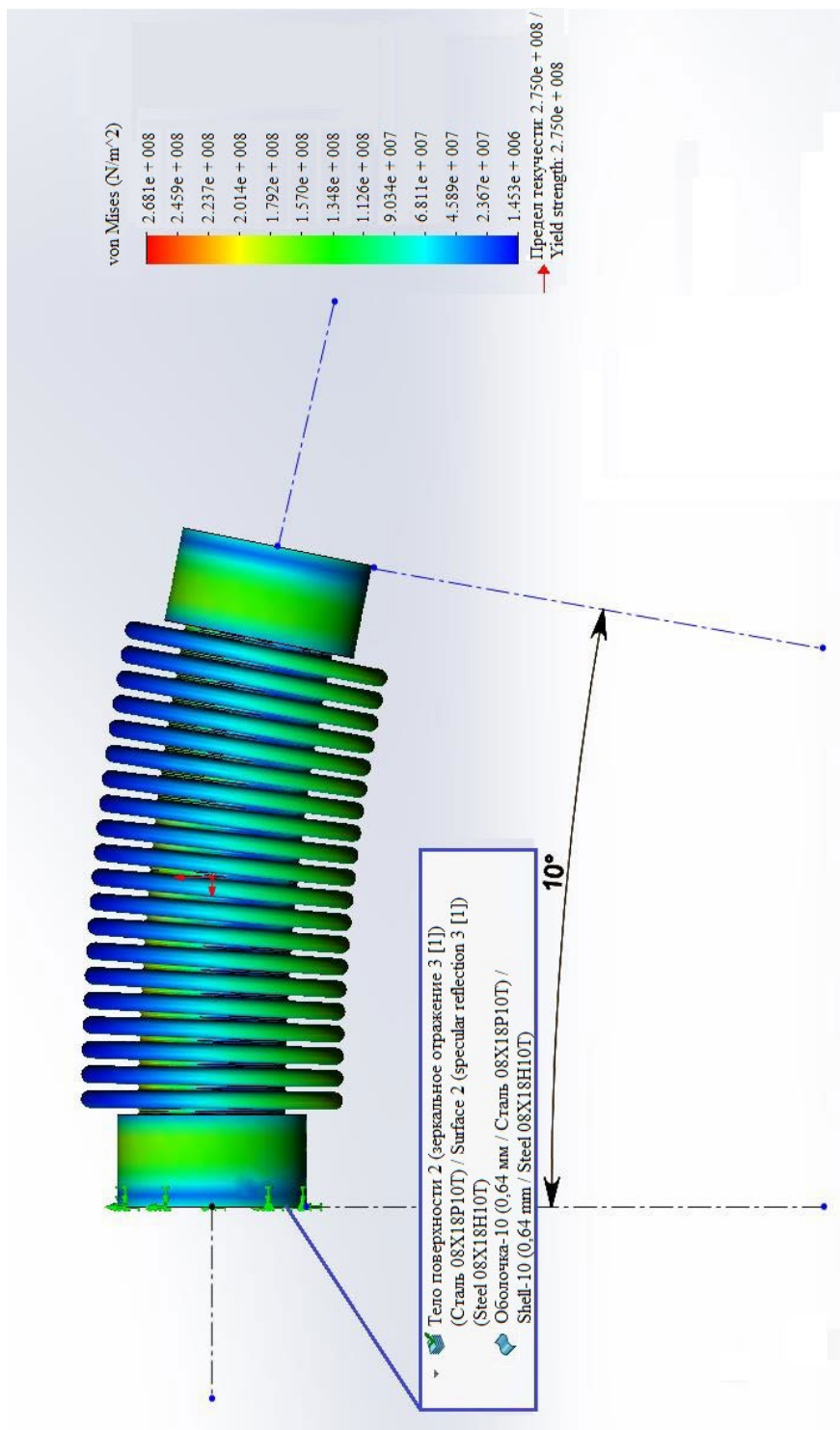
Решена задача оптимального выбора цельнотянутого многослойного сильфона, используемого в качестве компенсатора для соединения труб с нарушением соосности в 10° . Внешнее давление $p = 16$ МПа, количество

Обсуждение и заключения

Разработанная методика и программное обеспечение позволяет эффективно решать задачи проектирования сильфонной техники в CAD/CAE среде, отвечающей техническим усло-

слов $Z = 3$, диаметр $d_n = 13$ мм, число гофр $n = 16$ (рис. 3). Материал сильфона – коррозионно- и жаростойкая сталь 08X18H10T, условный предел текучести $\sigma_{0.2} = 275$ МПа. Физико-механические параметры назначались в момент выбора материала из соответствующей базы данных SolidWorks. Левое торцевое сечение рассматривалось как жестко заделанное; на правое торцевое сечение наложено ограничение, соответствующее заданному положению относительно левого. Оптимизационная задача (1–2) решалась при условии $[\sigma] = \sigma_{0.2}$. На рис. 3 показан результат анализа напряженно-деформированного состояния, соответствующего оптимальному выбору из ряда параметров, согласно ГОСТ: $n^* = 20$, $z^* = 4$. Разработанное нами программное обеспечение готовится к регистрации в Федеральной службе по интеллектуальной собственности как программа для ЭВМ. виям и государственным стандартам в удобной для инженера форме. По нашим оценкам экономия времени для решения задач проектирования конструкций рассматриваемого класса может быть снижена минимум на порядок.

Процессы и машины агроинженерных систем



Р и с. 3. Напряженно-деформированное состояние оптимального проектного решения
Fig. 3. Stress-deformed behavior of optimal design solution

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Басыров В. С. Сильфоны – применение и расчет // Датчики и системы. 2006. № 7. С. 18–21. URL: <http://naukarus.com/silfony-primenenie-i-raschet>
2. Гвоздев С. С., Кудрявцева И. М., Мануйлов К. В. Аналитическое описание изгибаний сильфона с помощью абелевых функций // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17, № 1. С. 140–143. URL: http://ntv.ifmo.ru/ru/article/2431/article_2431.htm
3. Хлопенко Н. Я., Гаврилов С. А. Циклическая прочность и жесткость сильфонов выравнивающего устройства упорного подшипника // Проблемы трибологии. 2009. № 2. С. 58–61. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19139107>
4. Аистов А. И., Скворцов Ю. В., Перов С. Н. Расчет сильфонного компенсатора на малоцикловую прочность // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 2. С. 158–163. URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_2_158_163.pdf
5. Параметрическая библиотека для металлических сильфонов в среде SolidWorks / М. В. Чугунов [и др.] // Наукоедение : интернет-журнал. 2016. Т. 8, № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN416.pdf>
6. Вичугова А. А., Вичугов В. Н., Цапко Г. П. Особенности интеграции информационных систем автоматизированного проектирования и систем управления данными // Вестник науки Сибири. 2012. № 5 (6). С. 113–117. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17646631>
7. Powell M. On the quadratic programming algorithm of Goldfarb and Idnani // Mathematical Programming Studies. 1985. Vol. 25. P. 46–61. URL: <http://link.springer.com/chapter/10.1007%2FBFb0121074#page-1>
8. Madsen K., Nielsen H. B., Søndergaard J. Robust subroutines for non-linear optimization // IMM DTU, Report IMM-REP-2002-02. 2002. URL: <http://www.imm.dtu.dk/~km/Fpackage/robust.pdf>
9. Polynkin A., Toropov V. V. Mid-range metamodel assembly building based on linear regression for large scale optimization problems // Struct Multidiscip Optim. 2012. Vol. 45 (4). P. 515–527. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00158-011-0692-1>
10. Liu D., Toropov V. V. Multipoint approximation method for design optimization with discrete variables // 14th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization (MAO) Conf. (Indianapolis, 17–19 September, 2012). URL: <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-5578>
11. Чугунов М. В., Небайкина Ю. А. Программный модуль для решения задач оптимального проектирования в среде SolidWorks на базе API // Наука и образование : электронное науч.-техн. издание. 2011. № 9. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/206217.html>

Поступила 07.03.2017; принята к публикации 12.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Чугунов Михаил Владимирович, заведующий кафедрой конструкторско-технологической информатики, Рузаевский институт машиностроения, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (431440, Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат технических наук, доцент, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5318-5684>**, m.v.chugunov@mail.ru

Полунина Ирина Николаевна, доцент кафедры конструкторско-технологической информатики, Рузаевский институт машиностроения, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (431440, Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат педагогических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1093-8401>**, my_pk@mail.ru

Вклад соавторов: М. В. Чугунов: разработка методики и программного обеспечения для решения задач автоматизации оптимального проектирования сильфонной техники; И. Н. Полунина: расчетные процедуры, компьютерное редактирование текста и графики.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



REFERENCES

1. Basyrov V. S. [Sylphons – using and computation]. *Datchiki i sistemy* = Sensors and Systems. 2006; 7:18-21. Available at: <http://naukarus.com/silfony-primenenie-i-raschet> (In Russ.)
2. Gvozdev S. S., Kudryavtseva I. M., Manuylov K. V. [Analytic definition of sylphon bending using Abel functions]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informacionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* = Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2017; 1(17):140-143. Available at: http://ntv.ifmo.ru/ru/article/2431/article_2431.htm (In Russ.)
3. Khlopenko N. Ya., Gavrilov S. A. Cyclic durability and rigidity of sylphons leveling device of the persistent bearing. *Problemi tribologii* = Problems of Tribology. 2009; 2:58-61. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19139107> (In Russ.)
4. Aistov A. I., Skvortsov U. V., Perov S. N. Estimation of low-cycle life of the sylphon compensator. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Samara Science Center of RAS Bulletin. 2015; 2(17):158-163. Available at: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_2_158_163.pdf (In Russ.)
5. Chugunov M. V., Arsentiev E. O., Laymin A. N., Polunina I. N., Basyrov V. S., Makhrov G. A. Parametrical library for metal bellows in SolidWorks software. *Naukovedeniye* = Science Studies. 2016; 4(8). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN416.pdf> (In Russ.)
6. Vichugova A. A., Vichugov V. N., Capko G. P. [Integration feature of computer aided design information systems and control data systems]. *Vestnik nauki Sibiri* = Siberian Science Bulletin. 2012; 5(6):113-117. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17646631> (In Russ.)
7. Powell M. J. D. A fast algorithm for nonlinear constrained optimization calculations. Report DAMTP 77/NA 2, University of Cambridge. 1977; 144-157. Available at: http://link.springer.com/chapter/10.1007/9781402012107_1
8. Madsen K., Nielsen H. B., Søndergaard J. Robust subroutines for non-linear optimization. IMM DTU, Report IMM-REP-2002-02, 2002. Available at: <http://www.imm.dtu.dk/~km/Fpackage/robust.pdf>
9. Polynkin A., Toropov V. V. Mid-range metamodel assembly building based on linear regression for large scale optimization problems. *Struct Multidiscip Optim*. 2012. 45(4):515-527. Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00158-011-0692-1>
10. Liu D., Toropov V. V. Multipoint approximation method for design optimization with discrete variables. 14th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization (MAO) Conf., Indianapolis, IN, 17-19 September, 2012. Available at: <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-5578>
11. Chugunov M. V., Nebaykina Yu. A. [Optimization of designing with a programme unit by means of SolidWorks API]. *Nauka i obrazovaniye: elektronnoye nauchno-tekhnicheskoye izdaniye* = Science and Education: Electronic Academic and Technical Publication. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/206217.html> (In Russ.)

Submitted 07.03.2017; revised 12.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Mikhail V. Chugunov, Head of Chair of Design and Technology Informatics, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (93 Lenina St., Ruzayevka 431440, Russia), Ph.D. (Engineering), docent, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5318-5684>**, m.v.chugunov@mail.ru

Irina N. Polunina, Associate Professor of Chair of Design and Technology Informatics, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (93 Lenina St., Ruzayevka 431440, Russia), Ph.D. (Pedagogy), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1093-8401>**, my_pk@mail.ru

Contribution of the co-authors: M. Chugunov: development of technique and software for computer aided optimal design of the metal bellows; I. Polunina: computer processing of data, writing the draft, computer drawing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ КОМБАЙНОВ

Л. В. Борисова, В. П. Димитров*

*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический
университет» (г. Ростов-на-Дону, Россия)*

**kaf-gm@donstu.ru*

Введение. В статье рассматривается лингвистический подход к решению задачи технологической регулировки сложных уборочных машин в полевых условиях. Приводится краткая характеристика предметной области. Анализируется место задачи корректировки технологических регулировок рабочих органов зерноуборочного комбайна при выполнении уборочных работ. Выделяется 3 группы признаков рассматриваемой задачи: внешние признаки нарушения качества работы, регулируемые параметры машины и параметры технического состояния. Приводятся численные данные, характеризующие взаимосвязи между внешними признаками и параметрами машины.

Материалы и методы. Зернокомбайн является сложной динамической системой, функционирующей при постоянно меняющихся внешних условиях. Этот факт обуславливает характерные особенности используемых методов технологической регулировки. В статье рассматриваются некоторые отличительные черты задачи принятия решений. При управлении технологическим процессом комбайновой уборки используется как количественная информация, так и качественная. Наличие различных видов неопределенности при рассмотрении семантических пространств факторов внешней среды и параметров машины позволяет предложить для решения задачи метод технологической регулировки, основанный на нечетком логическом выводе.

Результаты исследования. В результате анализа методология принятия решений в нечетких условиях среды адаптирована к изучаемой предметной области. Предлагается обобщенная схема нечеткого управления процессом технологической регулировки машины. Рассматриваются модели изучаемых семантических пространств. Показывается целесообразность использования дедуктивного и индуктивного вывода решений для различных задач предварительной настройки и корректировки технологических регулировок. Предлагается формально-логическая схема процесса принятия решений, основанного на нечетких экспертных знаниях. Данная схема включает основные этапы решения задачи: фазификацию, композицию и дефазификацию. Рассматривается вопрос количественной оценки согласованности экспертных знаний. Приводятся примеры формулировки нечетких продукционных правил база знаний, а также характерные особенности алгоритма корректировки технологических регулировок.

Обсуждение и заключения. Представленный лингвистический подход к решению задачи технологической регулировки машин позволяет обеспечить адекватность описания реальных условий уборки, учет как количественной информации, так и эвристических данных. Модель предметной области служит основой для создания базы знаний и механизма вывода решений интеллектуальной системы поддержки принятия оператором решений при функционировании комбайнов.



Ключевые слова: технологическая регулировка машины, нечеткие экспертные знания, лингвистическое описание, нечеткий логический вывод, фаззификация, композиция, дефаззификация

Для цитирования: Борисова Л. В., Димитров В. П. Лингвистический подход к решению задачи технологической регулировки комбайнов // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 178–189. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.178-189

A LINGUISTIC APPROACH TO SOLVING OF THE PROBLEM OF TECHNOLOGICAL ADJUSTMENT OF COMBINES

L. V. Borisova, V. P. Dimitrov*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

kaf-qm@donstu.ru

Introduction. The article deals with a linguistic approach to the technological adjustment of difficult harvesters in field conditions. The short characteristic of subject domain is provided. The place of the task of adjustment of the combine harvester working bodies in harvesting is considered. Various groups of signs of the considered task are allocated: external signs of violation of quality of work, regulated parameters of the machine, and parameters of technical condition. The numerical data characterizing interrelations between external signs and parameters of the machine are provided.

Materials and Methods. A combine harvester is the difficult dynamic system functioning under constantly changing external conditions. This fact imposes characteristics on the used methods of technological adjustment. Quantitative and qualitative information is used to control harvesting. Availability of different types of uncertainty in considering semantic spaces of factors of the external environment and parameters of the machine allows offering the method of technological adjustment based on an indistinct logical conclusion for the solution of the task.

Results. As the analysis result, the decision making methodology for indistinct environment conditions is adapted for the studied subject domain. The generalized scheme of indistinct management of process is offered to technological adjustment of the machine. Models of the studied semantic spaces are considered. Feasibility of use of deductive and inductive conclusions of decisions for various tasks of preliminary setup and adjustment of technological adjustments is shown. The formal and logical scheme of the decision making process based on indistinct expert knowledge is offered. The scheme includes the main stages of the task solution: fuzzification, composition and defuzzification. The question of the quantitative assessment of expert knowledge coordination is considered. The examples of the formulation of indistinct production rules, the knowledge base, and characteristics of an algorithm for adjusting of technological adjustments are given.

Discussion and Conclusions. The linguistic approach to a technological adjustment of machines provides adequacy of the description of real conditions of cleaning, accounting both quantitative information and heuristic data. The model of subject domain the basis for creation of the knowledge base and the mechanism for concluding provides solutions of the intellectual system of decision support by the operator when the functioning of combines.

Keywords: technological adjustment of machine, indistinct expert knowledge, linguistic description, indistinct logical conclusion, fuzzification, composition, defuzzification

For citation: Borisova L. V., Dimitrov V. P. A linguistic approach to solving of the problem of technological adjustment of combines. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 2(27):178-189. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.178-189

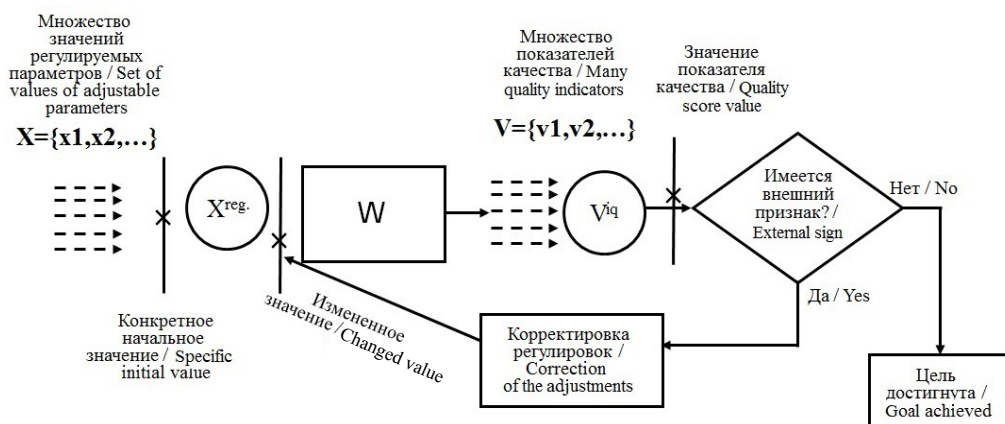
Введение

Создание и внедрение машин нового, интеллектуального типа – превалирующая компонента стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения в Российской Федерации [1]. Зернокомбайн является основной машиной, используемой при уборке многих зерновых культур. Результативность и эффективность уборочных работ напрямую зависит от оптимального решения задачи управления технологическим процессом комбайновой уборки¹.

Потери зерна и невысокая сменная производительность комбайна часто обусловлены непроизводительными затратами, связанными с необходимостью технологической регулировки рабочих органов машины. В полевых условиях достаточно трудно оценить

конкретные значения внешних факторов, влияющих на технологический процесс, а также своевременно обнаружить их изменение². Этот факт обуславливает неправильный выбор рациональных начальных значений регулируемых параметров и параметров технического состояния.

Затруднено также определение точечных значений показателей качества функционирования комбайна. Низкая компетентность оператора часто не позволяет прогнозировать возможные нарушения и определять их причину при обнаружении. Целесообразность корректировки значений технологических параметров комбайна в полевых условиях в основном обусловлена вариабельностью значений факторов внешней среды (рис. 1).



Р и с. 1. Схема взаимосвязи задач настройки и корректировки регулируемых параметров машины в полевых условиях

F i g. 1. Scheme of interrelation of problems of control and adjustment of regulated parameters of the car in field conditions

¹ Технологические операции и технические средства для современных технологий агропромышленного комплекса : монография / Л. В. Борисова [и др.]. Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2012. 158 с. URL: <http://ntb.donstu.ru/content/tehnologicheskie-operacii-i-tehnicheskie-sredstva-dlya-sovremennyh-tehnologiy-agropromyshlennogo-kompleksa>

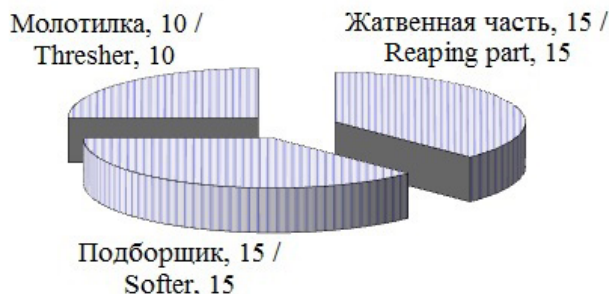
² Рыбалко А. Г. Особенности уборки высокоурожайных зерновых культур (настройка и регулировка машин) : учеб. пособие. М. : Агропромиздат, 1988. 118 с. URL: <http://search.rsl.ru/record/01001410620>



Анализ задачи принятия решений по корректировке значений регулировок показал целесообразность учета двух групп параметров: 1) параметры, значения которых должны быть постоянными (заложенными конструкторами); 2) параметры, значения которых изменяются в зависимости от внешних факторов и, следовательно, при

обнаружении отклонений показателей качества работы (различные виды потерь зерна, дробление, засоренность бункерного зерна и др.).

В результате идентификации технологического процесса комбайновой уборки было выявлено 40 внешних признаков нарушения данного процесса для основных агрегатов комбайна (рис. 2).



Р и с. 2. Количество внешних признаков отклонений показателей качества работы для основных агрегатов комбайна

F i g. 2. Number of external signs of indicators deviations of works quality for the main units of the combine

Нахождение причины отклонения показателя качества от допустимого (рационального) значения является важной задачей. При этом необходимо

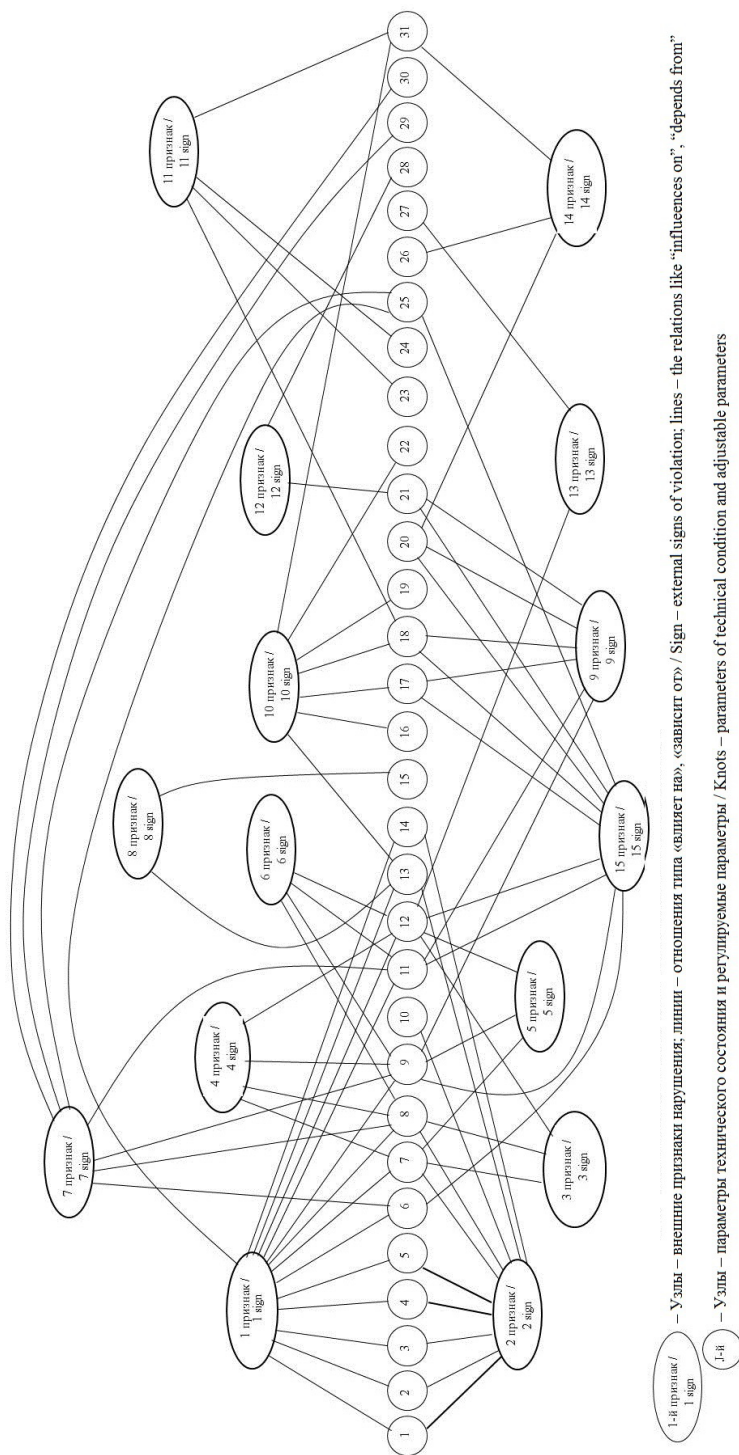
принимать во внимание влияние как регулируемых параметров, так и параметров технического состояния машины (таблица).

Т а б л и ц а

T a b l e

Количество параметров рабочих органов комбайна
Number of working tool parameters of the combine

Параметры / Parameters	Агрегаты комбайна / Combine units		
	Жатвенная часть / Reaping part	Подборщик / Sorter	Молотилка / Thresher
Регулируемые / Regulated	31	23	24
Технического состояния / Technical condition	13	14	14
Среднее количество параметров на один внешний признак нарушения / Average of parameters on one external sign of violation	5	5	6



Р и с. 3. Фрагмент семантической сети предметной области
F i g. 3. Fragment of subject domain semantic network



На рис. 3 приведена семантическая сеть взаимосвязей внешних признаков нарушения качества технологического процесса с параметрами жатвенной части. Наименования узлов сети (в круглых и овальных блоках) см. в работе¹.

Материалы и методы

На основе анализа можно выделить отдельные группы методов регулирования зернокомбайна: основанные на вербальных моделях; на математических моделях; использующие смешанные виды представления знаний; отличающиеся полнотой охвата предметной области и реализацией управляющих воздействий [2].

Поскольку зернокомбайн является сложной динамической системой, функционирующей в условиях, характеризующихся изменчивостью и неопределенностью внешней среды, то центральной задачей управления этой системой является процесс принятия решений (ПР).

В нашем случае задача ПР по технологической регулировке содержательно формулируется следующим образом: имеется непустое множество вариантов решения задачи, причем реализация каждой альтернативы характеризуется определенным исходом, оценивание которого по установленным критериям достаточно полно характеризует альтернативу. Требуется на основании предпочтения лица, принимающего решение (ЛПР), построить модель проблемной области, а на ее основе – осуществить выбор альтернативы, лучшей в заданном (конкретном) смысле [3].

Анализ взаимосвязей между входными и выходными признаками позволяет установить значения искомым параметров на основе модели предпочтений ЛПР и назначенного критерия эффективности.

В ходе исследования была сформулирована задача конструирования процедур ПР на основе исходной нечеткой информации.

Задача технологической регулировки рабочих органов комбайна – это задача ПР в нечеткой среде, которая характеризуется наличием отношений между признаками с размытыми границами, а также высказываний с различной степенью истинности.

Задач ПР может быть формализована короткежем³ вида:

$$\langle A; X; K; f; P_s; D; T \rangle, \quad (1)$$

где A – множество вариантов; X – множество исходов; K – критерий оценки полученных исходов; f – отображение множества X в множество векторных оценок; P_s – структура предпочтений ЛПР.

Необходимо найти решающее правило (алгоритм D), позволяющее производить требуемое действие T над совокупностью альтернатив A .

Результаты исследования

Основные положения методологии ПР адаптированы для рассматриваемой проблемной области. Для повышения эффективности и результативности функционирования комбайнов во время уборочных работ нами был разработан метод технологической регулировки, отличительной особенностью которого является наличие компоненты информационной поддержки оператора (рис. 4).

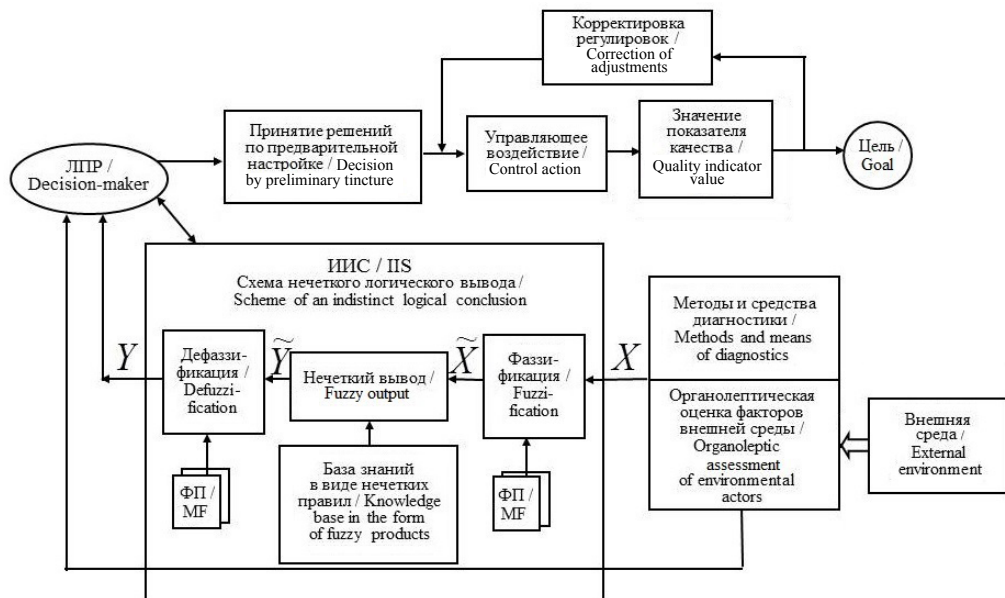
Особенность метода состоит в использовании технологии инженерии знаний (экспертных систем), практически реализованной в виде интеллектуальной информационной системы. При применении данного метода центральной научной проблемой является формальное представление (формали-

³ Борисов А. Н., Алексеев А. В., Меркурьева Г. В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М. : Радио и связь, 1989. 394 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/867049>

зация) знаний изучаемой предметной области, основанное на использовании математического аппарата теории нечетких множеств.

Рассматривая комбайн как динамическую нечеткую систему, необхо-

димо отметить, что ее составляющие представляют собой 3 взаимосвязанных объекта, характеризующиеся определенной структурой и заданным множеством выходных и входных признаков.



Р и с. 4. Архитектура системы технологической регулировки на основе нечеткого управления (ФП – базы данных, содержащие численные значения функций принадлежности)

Fig. 4. The system architecture of technological regulation based on indistinct control (FP – databases containing numerical values of functions of accessory)

При рассмотрении и анализе этих объектов целесообразно сформулировать типы задач для функционирования зернокомбайна во время уборки. Две из четырех основных задач (предварительная настройка комбайна и корректировка регулировок) представляются наиболее важными. Для решения первой необходимо наличие модели отношений «внешний фактор» – «регулируемый параметр»; для второй – «регулируемые параметры» – «показатели качества работы комбайна». В качестве исхода при решении задачи настройки выступают начальные

конкретные (численные) значение параметров рабочих органов; при корректировке регулировок – нахождение нового значения регулируемого параметра, приводящее к устранению внешнего признака нарушения технологического процесса.

На основе лингвистического подхода к изучению сложных систем [4–5] нами были разработаны модели признаков X, Y, V (факторов внешней среды, регулировочных параметров и показателей качества работы комбайна) в виде семантических пространств и соответствующих им функций принадлежности:



$$\left\{ \begin{array}{l} \{X_i, T(X_i), U, G, M\}, \\ \{Y_j, T(Y_j), U, G, M\}, \\ \{V_k, T(V_k), U, G, M\}, \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} m_R(x_1, x_2, \dots, x_i) \in (0; 1), \\ m_R(y_1, y_2, \dots, y_j) \in (0; 1), \\ m_R(v_1, v_2, \dots, v_k) \in (0; 1). \end{array} \right.$$

Обобщенная модель предметной области «технологическая регулюровка» была представлена в виде композиции нечетких отношений рассматриваемых семантических пространств:

$$R_1 \circ R_2 \text{ для } \forall x \in X; \forall y \in Y; \forall v \in V$$

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, v) \vee (\mu_{R_1}(x, y) \wedge m_{R_2}(y, v)), \quad (2)$$

где R_1 – нечеткое отношение «факторы уборки – параметры регулюв-

ки», $R_1: \{X_i, T(X_i), U, G, M\} \times \{Y_j, T(Y_j), U, G, M\}$; $\forall (x, y) \in X \times Y$; R_2 – нечеткое отношение между регулюровочными параметрами и показателями качества работы комбайна, $R_2: \{Y_j, T(Y_j), U, G, M\} \times \{V_k, T(V_k), U, G, M\}$; $\forall (y, v) \in Y \times V$.

Рассматриваемые задачи предварительной настройки и корректировки технологических регулюровок целесообразно решать на основе дедуктивного и индуктивного вывода решений⁴:

Дедуктивный вывод

ЕСЛИ A, ТО B;

A – истинно;

B – истинно.

Индуктивный вывод

ЕСЛИ A, ТО B;

B – истинно;

A – более правдоподобно.

(3)

В рассматриваемом случае посылка A и следствие B – высказывания (факты), характеризующие состояние динамической системы и внешней среды в процессе ПР.

Рассмотрим формально-логическую схему процесса ПР на основе анализа нечеткой экспертной информации (эвристики).

1. Определение множеств значимых внешних факторов, регулируемых параметров и показателей качества работы (соответственно):

$$\begin{array}{l} X \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, Y \in \{y_1, y_2, \dots, y_k\}, \\ V \in \{v_1, v_2, \dots, v_k\}. \end{array}$$

2. Описание лингвистических переменных (ЛП), характеризующих множество факторов внешней среды,

регулируемых параметров и показателей качества работы (соответственно).

3. Определение базовых терм-множеств для всех ЛП. В общем случае базовое терм-множество ЛП имеет вид [6]:

$$T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_m^i\}, \quad (i \in K = \{1, 2, \dots, l\},$$

где $\langle T_i, X; \tilde{C}_i \rangle$ – нечеткая переменная, соответствующая терму $T_i \in T$; $\tilde{C}_i = \{\mu_{C_i}(x) / x\}$ $x \in X$; C_i – носитель нечеткого множества $\tilde{C}_i$; $\mu_{C_i}(x)$ – функция принадлежности (ФП).

Базовое терм-множество образуется на основе экспертных суждений.

4. Выбор метода построения ФП⁵.

5. Проверка выполнения требований к построению ФП и определение оптимального количества термов с целью адекватного пред-

⁴ Малышев Н. Г., Берштейн Л. С., Боженюк А. В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М. : Энергоатомиздат, 1991. 136 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23793665>

⁵ Борисова Л. В., Димитров В. П. Формализация нечетких экспертных знаний при лингвистическом описании технических систем. Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2011. 209 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19464767>

ставления признаков предметной области [6].

6. Определение степени нечеткости рассматриваемых полных ортогональных семантических пространств⁵.

7. Количественная оценка согласованности экспертной информации.

Данная согласованность определяется по нескольким критериям. Для моделей двух экспертов (i -го и j -го) показатель различия в рамках l -го термина вычисляется как расстояние Хемминга между нечеткими множествами с функциями принадлежности $\mu_{il}(x)$ и $\mu_{jl}(x)$ [7]:

$$d = \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx. \quad (4)$$

Аддитивный (5) и мультипликативный (6) показатели общей согласованности множества моделей экспертного оценивания определяются следующим образом:

$$k = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\int_0^1 \min_{\forall i=1,2,\dots,k} \mu_{il}(x) dx}{\int_0^1 \max_{\forall i=1,2,\dots,k} \mu_{il}(x) dx}, \quad (5)$$

$$\tilde{k} = \sqrt[m]{\prod_{l=1}^m \frac{\int_0^1 \min_{\forall i=1,2,\dots,k} \mu_{il}(x) dx}{\int_0^1 \max_{\forall i=1,2,\dots,k} \mu_{il}(x) dx}}. \quad (6)$$

8. Получение искомого решения на основе нечеткого вывода состоит из реализации определенных этапов (см. рис. 4):

– фазификация, предназначенная для перевода признаков задачи в нечеткие множества A_i для последующего использования на этапе композиции [8];

– дефазификация, предназначенная для перевода полученных нечетких множеств B_j в вектор четких значений регулируемых параметров $\bar{y}$ [9];

– база знаний экспертной системы, представляющая собой множество правил нечетких продукций с посылкой (А) и следствием (В) [7]:

$$R^{(k)} : A^k \rightarrow B^k, \quad k = \overline{1, r},$$

где r – число нечетких правил; k – номер правила; A^k и B^k – нечеткие множества такие, что:

$$\begin{aligned} A^k &= A_1^k \times A_2^k \times \dots \times A_n^k & A_i^k &\subseteq X_i; \\ B^k &= B_1^k \times B_2^k \times \dots \times B_m^k & B_j^k &\subseteq Y_j, \end{aligned}$$

где X_i и Y_j – семантические пространства входных и выходных признаков соответственно, при этом $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$;

Получение конкретного решения предусматривает выполнение определенной последовательности действий:

– построение обобщенной лингвистической переменной на множестве входных признаков, влияющих на значение выходного признака (т. е. агрегация левых частей правил);

– вычисление функций принадлежности для обобщенной лингвистической переменной;

– определение степени истинности нечетких правил, на основе которой осуществляет выбор значений выходной переменной.

В основе механизма вывода решений интеллектуальной информационной системы лежит модель предметной области, представляющая собой композицию нечетких отношений семантических пространств показателей качества работы машины, факторов внешней среды и регулируемых параметров машины. В общем виде развернутая форма нечеткого логического вывода для системы знаний данного вида может быть представлена следующим образом [Там же]:

$$\mu_{B'} = \bigvee_{k \in K} \left(\bigwedge_{j \in J} \mu_{Bkj} y_j \right) \bigwedge_{i \in I} \mu_{Aki} (x'_i).$$

9. На заключительном этапе решения задач с использованием мето-



дов нечеткой логики предполагается определение точных значений выходных параметров. Одним из наиболее распространенных методов, используемых на этапе дефаззификации, является метод «центра тяжести» [9]:

$$y'_j = \frac{\left(\int y_j Y_j^{1/y_j} (y_j) dy_j \right)}{\left(\int 1/y_j (y_j Y_j) dy_j \right)}.$$

Ключевым звеном описанной нечеткой системы, определяющим ее функционирование, является лингвистическая модель, представленная множеством нечетких правил. В нашем случае база знаний по корректировке технологических регулировок молотилки комбайна составляет более 17 тыс. правил.

Например, для дедуктивной схемы вывода (при решении задачи предварительной настройки) экспертное правило имеет вид:

ЕСЛИ <культура «пшеница»
И урожайность «средняя»
И засоренность поля «малая»
И соломистость «нормальная»
И влажность хлебостоя «сухой»>,
ТО <частота вращения молотильного барабана «пониженная»>.

При индуктивной схеме вывода (задача корректировки технологических регулировок) экспертное правило имеет вид:

ЕСЛИ <частота вращения молотильного барабана «повышенная»
И состояние бичей молотильного барабана «изношенное»
И зазор между барабаном и декой «номинальный»
И зазор между молотильным барабаном и декой по всей ширине МСУ «неравномерный»>,
ТО <дробление зерна «повышенное»>.

После этапа дефаззификации для каждой задачи были получены либо конкретные числовые значения параметров рабочих органов комбайна, либо значения измененных регулиро-

емых параметров, способствующих устранению возникшего нарушения технологического процесса [10].

Особенностью алгоритма является наличие процедуры возврата к этапу композиции. Это обусловлено тем, что изменение значения одного из параметров (для устранения конкретного внешнего признака нарушения технологического процесса – ситуация № 1), может привести к появлению дополнительного нарушения техпроцесса. В этом случае методика предусматривает выдвижение и проверку истинности дополнительных гипотез (в используемой терминологии – нечетких высказываний) о возможности появления дополнительных разрегулировок (ситуации № 2, № 3 и т. д.). В случае, если новое значение параметра не ухудшает ситуацию, делается вывод о завершении итераций вывода, и пользователю предоставляется искомое решение.

Обсуждение и заключения

Рассматриваемая задача технологической регулировки уборочных машин относится к классу неформализованных задач принятия решений. Предлагаемый лингвистический подход для решения задачи технологической регулировки комбайнов в полевых условиях в полной мере отвечает основным требованиям системного анализа. Реализация данного подхода позволяет строить адекватные внешним условиям модели признаков задачи, всесторонне учитывать основные элементы системы и взаимосвязи между ними.

Важным является возможность адекватного представления на основе единого формализма как количественных, так и качественных (лингвистических) признаков рассматриваемой системы, что позволяет создать единую модель предметной области, которая соответствует реальным условиям функционирования комбайнов.

Внедрение экспертной системы для информационной поддержки опе-

ратора позволит значительно снизить уровень информационной нагрузки, что повысит эффективность уборочных работ при наличии операторов низкой квалификации.

Для реализации стратегии создания машин нового типа целесообразно использовать данную экспертную систему как элемент интеллектуальной системы управления комбайном.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Краснощеков Н. В.** Агроинженерная стратегия: от механизации сельского хозяйства к его интеллектуализации // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 8. С. 5–7. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17692608>
2. **Царев Ю. А., Харьковский А. В.** Перспективы использования электронной системы управления в комбайнах «Дон» и «Нива» // Тракторы и сельхозмашины. 2005. № 1. С. 37–38. URL: <http://www.avtomash.ru/gur/2005/200501.htm>
3. **Борисова Л. В.** Методика моделирования предметной области «технологическая настройка» в нечеткой постановке // Доклады РАСХН. 2005. № 6. С. 62–65. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18215461>
4. **Zadeh L. A.** Fuzzy sets // Information and Control. 1965. № 8. P. 338–353. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X>
5. **Zadeh L.** Knowledge representation in fuzzy logic // An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems, The Springer International Series in Engineering and Computer Science. New York : Springer, 1992. Vol. 165. P. 1–27.
6. **Димитров В. П., Борисова Л. В., Нурутдинова И. Н.** О методике представления нечетких экспертных знаний // Вестник Донского государственного технического университета. 2014. Т. 14, № 4 (79). С. 93–102. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22875602>
7. **Жуков В. И.** Адаптивный нечеткий алгоритм кэширования для прокси-серверов // Вестник Донского государственного технического университета. 2012. № 8 (69). С. 54–61. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-nechyotkiy-algoritm-keshirovaniya-dlya-proksi-serverov>
8. **Димитров В. П., Борисова Л. В., Нурутдинова И. Н.** О методике фаззификации нечеткой экспертной информации // Вестник Донского государственного технического университета. 2012. Т. 11. № 1-2 (62). С. 46–50. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18059001>
9. О методике дефаззификации нечеткой экспертной информации / В. П. Димитров [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. 2010. Т. 10, № 6 (49). С. 868–878. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16328777>
10. **Borisova L. V., Nurutdinova I. N., Dimitrov V. P.** Approach to the problem of choice of values of the adjustable parameters harvester based on fuzzy modeling // Вестник Донского государственного технического университета. 2015. Т. 15, № 2 (81). С. 100–107. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23788320>

Поступила 13.03.2017; принята к публикации 27.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Борисова Людмила Викторовна, заведующая кафедрой менеджмента и бизнес-процессов, факультет бизнеса и менеджмента, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6611-4594>, borisovalv09@mail.ru

Димитров Валерий Петрович, декан факультета приборостроения и технического регулирования, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1439-1674>, kaf-qm@donstu.ru



Вклад соавторов: Л. В. Борисова: разработка методики построения нечеткого логического вывода применительно к задаче технологической регулировки машины; В. П. Димитров: анализ предметной области, моделирование нечетких экспертных знаний, разработка базы знаний.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Krasnoshchekov N. V. Agroengineering strategy: from mechanization of agriculture to its intellectualization. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Farm Vehicles. 2010; 8:5-7. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17692608> (In Russ.)
2. Tsarev Yu. A., Kharkovskiy A. V. [The prospects of use of an electronic control system in Don and Niva combines]. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Farm Vehicles. 2005; 1:37-38. Available at: <http://www.avtomash.ru/gur/2005/200501.htm> (In Russ.)
3. Borisova L. V. Echnique of modeling a subject domain "technological adjustment" in district statement. *Doklady RASKhN* = RASKhN Proceedings. 2005; 6:62-65. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18215461> (In Russ.)
4. Zadeh L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965; 8:338-353. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001995586590241X>
5. Zadeh L. Knowledge representation in fuzzy logic. *An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems*. The Springer International Series in Engineering and Computer Science. 1992; 165:1-27.
6. Dimitrov V. P., Borisova L. V., Nurutdinova I. N. On technique of fuzzy expert knowledge representation. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2014; 4(79):93-102. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22875602> (In Russ.)
7. Zhukov V. I. [Adaptive fuzzy caching algorithm for proxy servers]. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2012; 8(69):54-61. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-nechotyotkiy-algoritim-keshirovaniya-dlya-proksi-serverov>
8. Dimitrov V. P., Borisova L. V., Nurutdinova I. N. On expert information fuzzification method. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2012; 1-2(62):46-50. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18059001> (In Russ.)
9. Dimitrov V. P., Borisova L. V., Nurutdinova I. N., Bogatyreva Ye. V. On defuzzification method in fuzzy expert information processing. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2010; 6(49):868-878. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16328777> (In Russ.)
10. Borisova L. V., Nurutdinova I. N., Dimitrov V. P. Approach to the problem of choice of values of the adjustable parameters harvester based on fuzzy modeling. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2015; 2(81):100-107. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23788320>

Submitted 13.03.2017; revised 27.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Lyudmila V. Borisova, Head of the Chair of Management and Business Processes, Faculty of Business and Management, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344000, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6611-4594>**, borisovalv09@mail.ru

Valeriy P. Dimitrov, Dean of the Faculty of Instrument Engineering and Technical Regulation, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344000, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1439-1674>**, kaf-qm@donstu.ru

Contribution of the co-authors: L. Borisova: development of a method for constructing fuzzy logic inference as applied to the task of technological adjustment of a machine; V. Dimitrov: analysis of the subject domain, modeling of fuzzy expert knowledge, development of the knowledge base.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВРЕЖДЕНИЯ СЕМЯН МЕЛКОСЕМЕННЫХ КУЛЬТУР ДИСКОВЫМ ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ

В. А. Овчинников

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

ovchinnikovv81@rambler.ru

Введение. В связи с увеличением поголовья крупного рогатого скота остро встает вопрос производства высококачественных кормов. В последнее время в сельских хозяйствах все больше посевных площадей выделяются под кормовые культуры. Однако данная мера не способна решить проблему без увеличения урожайности возделываемых культур. Для обеспечения их максимальной продуктивности необходимо качественное дозирование семенного материала при посеве. Это особенно актуально при посеве мелкосеменных культур, нормы высева которых незначительны. Равномерное распределение небольших по размеру семян по площади питания без травмирования семенного материала сопряжено с определенными трудностями. В связи с этим целью данной работы является построение математической модели, описывающей процесс повреждения семян в зависимости от конструктивных и кинематических параметров дискового высевающего аппарата.

Материалы и методы. На кафедре сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» на основании предварительных экспериментальных данных была разработана конструкция высевающего аппарата с вертикальным ячеистым диском с целью, повышения точности распределения семян мелкосеменных культур с минимальным их повреждением.

Результаты исследования. В результате обработки полученных данных было определено значение целевой функции и построено уравнение регрессии, описывающее процесс повреждения семян дисковым высевающим аппаратом, в зависимости от его конструктивных и кинематических параметров. Для построения математической модели оценки влияния отдельных факторов (а также их взаимодействия) на степень повреждения посевного материала был проведен многофакторный эксперимент. Полученные данные обрабатывались с помощью программы «Statistica-6».

Обсуждение и заключения. Для снижения уровня повреждения семян мелкосеменных культур разработанным дисковым высевающим аппаратом необходимо использовать диски с максимально возможным количеством ячеек, а угол установки отражателя семян не должен превышать 15°.

Ключевые слова: посев, мелкосеменная культура, травмирование семенного материала, равномерность распределения, отражатель семян, ячейка, высевающий аппарат, кинематический параметр, конструктивный параметр

Для цитирования: Овчинников В. А. Результаты исследований повреждения семян мелкосеменных культур дисковым высевающим аппаратом // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 190–197. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.190-197



RESULTS OF THE STUDY OF DAMAGE TO SMALL SEEDS FROM THE DISK SOWING APPARATUS

V. A. Ovchinnikov

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

ovchinnikovv81@rambler.ru

Introduction. Meeting the needs of livestock feed is associated with an increase in planting acreages and increase in yield of forage crops. To ensure their maximum productivity, it is necessary to perform a high quality dosing of the seed material during sowing. This is especially significant when providing small rates of seeding small-seeded crops. Due to the small size of the seed, it is very difficult to distribute them on the feeding area without damaging.

Materials and Methods. The members of the Prof. Leshchankin Chair of Agricultural Machines of the National Research Mordovia State University developed a disk device for sowing small-seeded crops to ensure more uniform distribution of seed with minimum of damage.

Results. The authors determined the values of the objective function and built the regression equation describing the process of damage of the sowing apparatus, depending on design options.

Discussion and Conclusions. For reducing damage to seed of small-seeded crops from the developed disk sowing apparatus, it is necessary to use disks with the maximum possible number of cells and the angle of the seeds reflector should not exceed 15°.

Keywords: sowing, small-seeded crops, damage to seeds, uniform distribution, seeds reflector, cell, sowing apparatus, cinematic option, design option

For citation: Ovchinnikov V. A. Results of the study of damage to small seeds from the disk sowing apparatus. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 2(27):190-197. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.190-197

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется возделыванию мелкосеменных культур, семена которых используют для получения масел, широко применяемых в металлургической, лакокрасочной, текстильной и пищевой промышленности. Не менее важно, что мелкосеменные культуры применяются также в сельскохозяйственном производстве в качестве кормовых.

Одной из важнейших операций при возделывании сельскохозяйственных культур является посев, поскольку от него во многом зависит качество и количество будущего урожая [1]. Данное положение особенно актуально при посеве мелкосеменных культур, физико-механические свойства семян которых обуславливают повышенные требования к высевальным аппаратам посевных машин [2].

Качественное дозирование семенного материала обеспечивает повышение полевой всхожести семян и оптимальное размещение растений по площади питания.

Наряду с повышением равномерности распределения семян особое внимание уделяется снижению уровня травмирования семенного материала, поскольку урожай травмированных семян снижается.

В связи с этим целью данной работы является построение математической модели, описывающей процесс повреждения семян в зависимости от конструктивных и кинематических параметров дискового высевального аппарата.

Обзор литературы

Анализ технологического процесса работы, серийно выпускаемых посевных машин, а также научной литературы по исследуемой тематике показал,

что высеваше аппараты не в полной мере соответствуют агротехническим требованиям, предъявляемым к посеву мелкосеменных культур [1]. Основными их недостатками являются сложность регулировки малых норм высева, соблюдение необходимой равномерности распределения и повышенное травмирование семян. Как показывают результаты лабораторно-полевых исследований, при посеве люцерны сеялкой СЗТ-3,6, травмирование семян доходит до 3 %, что снижает их полевую всхожесть до 53 %. Вместе с тем снижение травмирования семян положительно сказывается на их всхожести (согласно результатам аналогичных исследований, данный показатель увеличился до 67 %) [3].

Вопросами совершенствования высеваше аппаратов для мелкосеменных культур занимались многие исследователи. Большинство из них склоняется к тому, что наиболее перспективными дозаторами в данном случае являются дисковые высеваше аппараты с горизонтальной осью вращения, которые отличаются повышенной точностью распределения семенного материала и имеют резерв снижения их травмирования.

Например, в работе Н. П. Ларюшина рассматривается проблема повышения равномерности распределения семян лука (чернушки) ячеисто-дисковым высеваше аппаратом [4]. А. А. Шварц предлагает высеваше аппарат с вертикальным диском для по-

сева семян рапса [5]. Результаты исследований заполняемости ячеек и дробления семян в зависимости от конструктивных и кинематических параметров высеваше аппарата подтверждают правильность выбранных решений. А. С. Фирсов в своей статье отражает вопросы развития дисковых высеваше аппаратов как наиболее перспективных для мелкосеменных культур и предлагает лабораторную установку для определения параметров их работы [6].

Материалы и методы

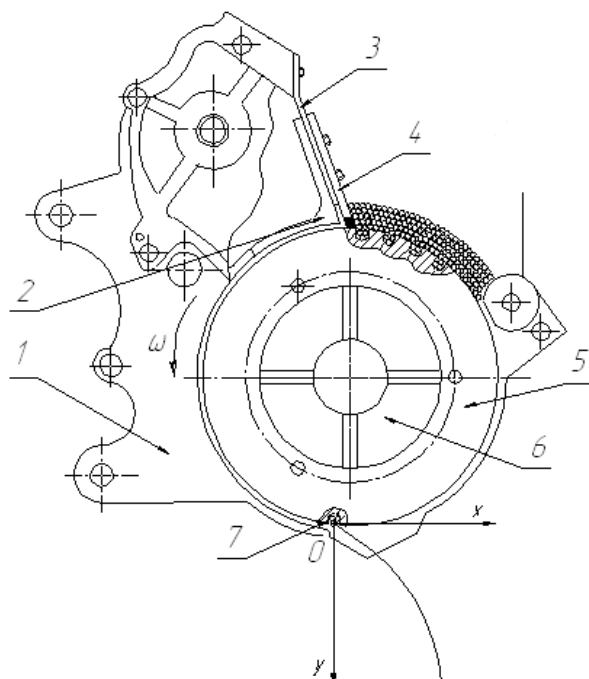
На основании вышеизложенного в ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» на кафедре сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина был разработан дисковый высеваше аппарат (рис. 1) для высева мелкосеменных культур. Новизна данного технического решения подтверждена патентами¹⁻³.

Экспериментальный дисковый высеваше аппарат состоит из корпуса 1, в котором на валу установлен ячеистый диск 5. Расстояние между корпусом и диском не должно превышать размеров семян высеваше культуры. В этом случае их транспортировка осуществляется только в ячейках, исключая, таким образом, активный слой и нежелательное повреждение семенного материала. Регулировка высева осуществляется отражателем 4 путем удаления лишних семян с поверхности ячеек 7. Отражатель изготовлен из эластичного материала, что снижает уровень травмирования семян.

¹ Патент 49670 (РФ), МПК А01С7/16. Высеваше аппарат / В. А. Овчинников, М. Н. Чаткин, А. Н. Седашкин; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва». № 2005120133/22; заявл. 28.06.2005; опубл. 10.12.2005, бюл. № 34.

² Патент 88497 (РФ), МПК А01С7/16. Высеваше аппарат / В. А. Овчинников, Д. А. Овчинников, М. Н. Чаткин, А. Н. Седашкин; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва». № 2009128156/22; заявл. 21.07.2009; опубл. 20.11.2009, бюл. № 32.

³ Патент 124524 (РФ), МПК А01С7/04. Высеваше диск / В. А. Овчинников, О. А. Ягин, Н. В. Колесников; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва». № 2012109016/13; заявл. 11.03.2012; опубл. 10.02.2013, бюл. № 4.



Р и с. 1. Экспериментальный высевной аппарат: 1 – корпус высевного аппарата; 2 – вставка; 3 – планка отражателя; 4 – эластичный отражатель семян; 5 – ячейный диск; 6 – зубчатка; 7 – ячейка

F i g. 1. Disk sowing apparatus: 1 – hull; 2 – insertion; 3 – plank; 4 – seeds regulator; 5 – sowing disk; 6 – gear; 7 – cell

Работа экспериментального высевного аппарата происходит следующим образом. При вращении диска семена заполняют ячейки и направляются к отражателю, который удаляет лишние семена с поверхности ячеек. Далее семена перемещаются в точку схода, где, получив необходимую скорость, падают на дно борозды, сформированной сошником.

Использование данного аппарата позволит повысить равномерность распределения семян мелкосеменных культур с минимальным повреждением [7–9].

Результаты исследования

Для построения математической модели оценки влияния отдельных факторов (а также их взаимодействия) на степень повреждения посевного материала был проведен многофак-

торный эксперимент. На основании теоретических и экспериментальных данных были выявлены основные факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс травмирования семян: x_1 – угол установки отражателя семян, x_2 – окружная скорость диска, x_3 – количество ячеек на диске. Уровни варьирования вышеупомянутых факторов представлены в табл. 1. Натуральным значениям α , V_d и n_j соответствуют кодовые x_1, x_2, x_3 .

Наиболее целесообразным для описания влияния указанных факторов на процесс травмирования семенного материала, по нашему мнению, является полнофакторный эксперимент. В табл. 2 представлен план эксперимента $N = 2^k$ и подсчитаны значения целевой функции.

Т а б л и ц а 1

Table 1

Уровни варьирования независимых факторов

Intervals and the variation levels of the factors

Факторы / Factors		Уровни варьирования / Variation levels		
В кодированном виде / Coded views	В натуральном виде / Natural views	-1	0	+1
x_1	α , град.	5	17,5	30
x_2	V_d , м/с	0,120	0,185	0,250
x_3	n_a , шт.	60	70	80

Т а б л и ц а 2

Table 2

План полнофакторного эксперимента

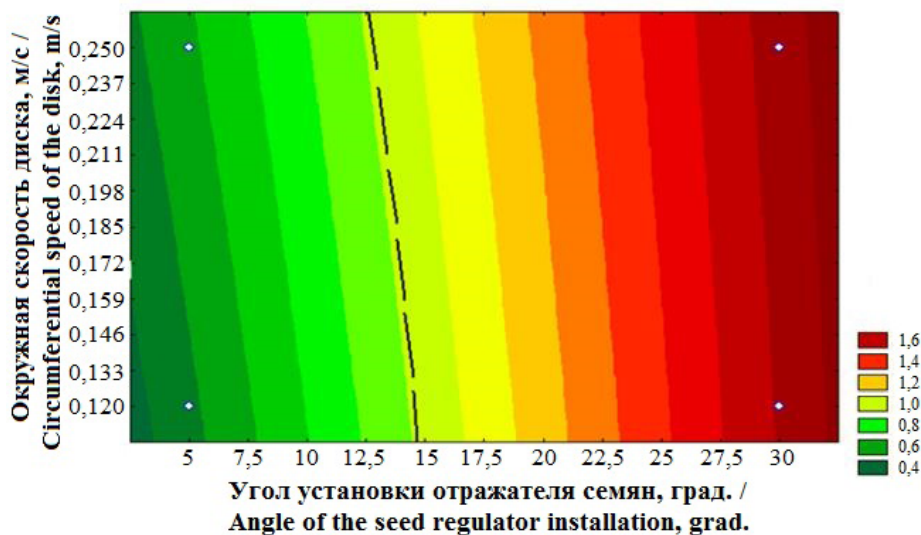
Plan of full-factorial experiment

№ опыта / Number of experience	Факторы / Factors			Значение целевой функции (повреждение семян) / The value of the objective function
	x_1	x_2	x_3	D , %
1	1	1	1	1,64
2	-1	1	1	0,59
3	1	-1	1	1,62
4	-1	-1	1	0,47
5	1	1	-1	1,91
6	-1	1	-1	0,72
7	1	-1	-1	1,87
8	-1	-1	-1	0,65

По результатам экспериментальных исследований и обработки полученных данных программой «Statistica-6» было составлено уравнение, описывающее процесс повреждения семян дисковым высевальным аппаратом в зависимости от его конструктивных и кинематических параметров:

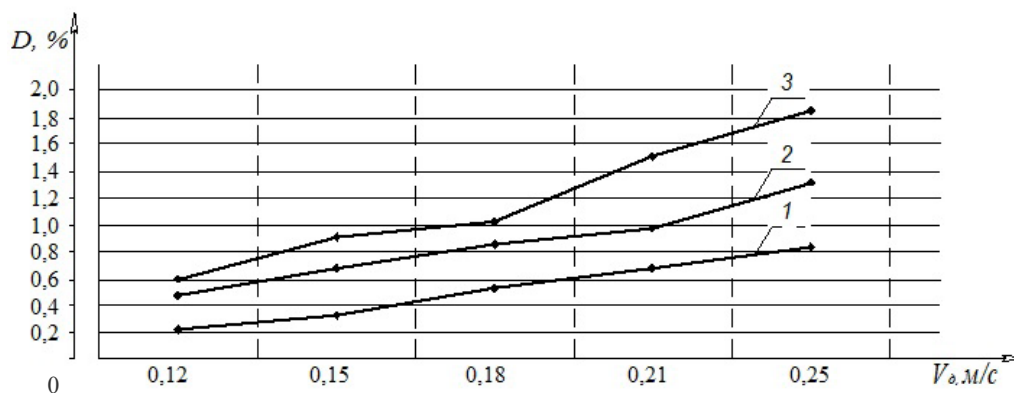
$$D = 1,184 + 0,576 x_1 + 0,031 x_2 - 0,104 x_3 - 0,026 x_1 x_3. \quad (1)$$

Влияние угла установки отражателя и окружной скорости ячеистого диска на повреждение семян представлено на рис. 2.



Р и с. 2. Влияние угла установки отражателя семян и окружной скорости диска на повреждение семян

Fig. 2. Effect of the installation regulator angle of the seeds and circumferential speed of the disk on impairment of sowing qualities seed



Р и с. 3. Влияние окружной скорости диска и количества ячеек на повреждение семян (1 – 80 ячеек; 2 – 70 ячеек; 3 – 60 ячеек)

Fig. 3. Effect of the circumferential speed of the disk and quantity cells on impairment of sowing qualities seed (1 – 80 cells; 2 – 70 cells; 3 – 60 cells)

Из рис. 2 видно, что при угле установки отражателя менее 15° повреждение семян не превышает 1 %. Дальнейшее увеличение угла, приводит к увеличению травмирования семенного материала.

При угле установки отражателя в 10° , рассмотрели влияние окружной скорости диска и количества ячеек на повреждение семян (рис. 3).

Обсуждение и заключения

В результате исследований была выявлена следующая закономерность: увеличение окружной скорости ячейки диска негативно сказывается на целостности семян. Кроме этого, повреждение семенного материала зависит от количества ячеек на диске: при уменьшении его с 80 до 60 шт. по-

вреждение выросло на 1,04 %. Таким образом, целесообразно использовать диски с максимальным количеством ячеек, а угол установки отражателя

семян не должен превышать 15°, поскольку в этой зоне повреждение семян находится в пределах агротехнических требований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Овчинников В. А., Чаткин М. Н.** Посев семенников люцерны экспериментальным агрегатом // Сельский механизатор. 2013. № 12. С. 8–9. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21283539>
2. **Овчинников В. А., Драняев С. Б., Жегалин В. В.** Особенности возделывания люцерны на семена // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 15–18. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22736144>
3. **Чаткин М. Н., Овчинников В. А.** Результаты исследований свекловичной сеялки ССТ-12 на посеве семенников люцерны // Аграрный научный журнал. 2007. № 3. С. 68–69. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9513629>
4. Результаты лабораторных исследований высевающего аппарата с цилиндрами упругодеформируемом кольце / В. Н. Кувайцев [и др.] // Нива Поволжья. 2016. № 2. С. 78–81. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26666292>
5. **Шварц А. А., Шварц С. А.** Повышение качества посева и универсальности аппарата точного высева // Техника в сельском хозяйстве. 2005. № 3. С. 43–44.
6. **Фирсов А. С., Голубев В. В.** Перспективы развития дисковых высевающих аппаратов // Агротехника и энергообеспечение. 2015. № 1. С. 18–22. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=27420748>
7. **Овчинников В. А., Чаткин М. Н., Драняев С. Б.** Дисковый аппарат для высева мелкосеменных культур // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 9. С. 10–11. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20658654>
8. **Овчинников Д. А., Овчинников В. А., Чаткин М. Н.** Дисковый высевающий аппарат для мелкосеменных культур // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10, № 2. С. 75–78. DOI: 10.12737/12057
9. **Овчинников В. А.** Влияние угла установки отражателя семян на степень заполнения ячеек дискового высевающего аппарата // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4. С. 166–169. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-ugla-ustanovki-otrazhatelya-semyan-na-stepen-zapolneniya-yacheek-diskovogo-vysevayuschego-apparata>
10. **Kromer K., Ester M.** Maisabau mit Falie // Landtechnik. 1981. Vol. 6, no. 6. P. 291–299.

Поступила 13.03.2017; принята к публикации 18.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторе:

Овчинников Владимир Анатольевич, доцент кафедры сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0350-8478>, ovchinnikovv81@rambler.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Ovchinnikov V. A., Chatkin M. N. Seeding alfalfa testes experimental unit. *Selskiy mekhanizator* = Rural Mechanic. 2013; 12:8-9. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21283539> (In Russ.)



2. Ovchinnikov V. A., Dranyayev S. B., Zhegalin V. V. Features cultivation seeds lucerne. In: *Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy: sbornik trudov* [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems]. Saransk: Mordovia University Publ.; 2013. p. 15-18. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22736144> (In Russ.)
3. Chatkin M. N., Ovchinnikov V. A. Results of the isearch of the beet drill SST-12 on the crop of the alfalfa's 3ed plants. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = Agrarian Scientific Journal. 2007; 3:68-69. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9513629> (In Russ.)
4. Kuvaytsyev V. N., Laryushin N. P., Shukov A. V., Shumayev V. V., Kiryukhina T. A. Results of laboratory tests of sowing device with the cylinders on the elastic-deformed ring. *Niva Povolzhya* = Field of Volga Region. 2016; 2:78-81. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26666292> (In Russ.)
5. Shvarts A. A., Shvarts S. A. [Improvement of seeding quality and versatility of the precision seeding machine]. *Tekhnika v selskom khozyaystve* = Machinery in Agriculture. 2005; 3:43-44.
6. Firsov A. S., Golubev V. V. [Prospects for the development of disk sowing machines]. *Agrotekhnika i energoobespecheniye* = Agrotechnics and Power Supply. 2015; 1:18-22. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=27420748> (In Russ.)
7. Ovchinnikov V. A., Chatkin M. N., Dranyayev S. B. Rotary seeder device for smallseeded crops. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2013; 9:10-11. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20658654> (In Russ.)
8. Ovchinnikov D. A., Ovchinnikov V. A., Chatkin M. N. Disk sowing apparatus for seeding small-seeded crops. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Kazan State Agrarian University Bulletin. 2015; 2(10):75-78. DOI: 10.12737/12057 (In Russ.)
9. Ovchinnikov V. A. Influence of angle of reflector on degree of filling of cells of seed-sowing device. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Ulyanovsk State Agricultural Academy Bulletin. 2014; 4:166-169. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-ugla-ustanovki-otrazhatel'ya-semyan-na-stepen-zapolneniya-yacheek-diskovogo-vysevayuschego-apparata> (In Russ.)
10. Kromer K., Ester M. Maisabau mit Falie. *Landtechnik*. 1981; 6(6):291-299.

Submitted 13.03.2017; revised 18.04.2017; published online 14.06.2017

About the author:

Vladimir A. Ovchinnikov, Associate Professor of Prof. Leshchankin Chair of Agricultural Machines, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0350-8478>, ovchinnikovv81@rambler.ru

The author have read and approved the final version of the manuscript.



ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

УДК 624.94:697.27

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.198-214

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ ДЛЯ КАРКАСНЫХ ДОМОВ

**И. Ю. Шелехов*, Т. И. Шишелова, Е. И. Смирнов,
В. П. Иноземцев**

*ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский
технический университет» (г. Иркутск, Россия)*

**promteplo@yandex.ru*

Введение. В статье представлен обзор факторов, влияющих на снижение энергетических затрат при строительстве и эксплуатации зданий каркасного типа. Авторами была поставлена задача по повышению эффективности использования электрической энергии и экономии затрат, связанных с отоплением каркасного помещения электроотопительными приборами.

Материалы и методы. Эксперименты проводились в индивидуальном жилом доме общей площадью 80 м². В процессе работы использовались две запатентованные панели с инфракрасным нагревательным элементом с положительным коэффициентом термического сопротивления и термоэлектрические датчики температуры. Сигналы с датчиков регистрировались приборами фирмы «ОВЕН» марки ТРМ138 с помощью штатного программного обеспечения, предоставляемого совместно с приборами (Owen Process Manager). Полученные графики распределения температурных полей импортировались в программу MS Excel. Учет потребленной энергии фиксировался электросчетчиком СЕ 101 производства концерна «Энергомера».

Результаты исследования. В статье приводятся результаты исследования параметров комбинированной электрической системы отопления при взаимном влиянии двух нагревательных приборов, изготовленных на основе нагревательных элементов с положительным коэффициентом термического сопротивления. Авторами также были детально рассмотрены основные сценарии изменения параметров микроклимата в каркасных сооружениях, проведены исследования изменения данных параметров при проникновении холодных потоков воздуха в помещение через дверной проем и при понижении температуры ограждающих конструкций.

Обсуждение и заключения. Отопительные приборы, использующие эффекты саморегулирования и взаимного регулирования, уменьшают время выхода помещения на стационарный режим. При этом снижается инерционность системы отопления, происходит быстрое восстановление параметров микроклимата, снижаются энергетические затраты и тепловые потери.

Ключевые слова: каркасное домостроение, нагревательный элемент, энергосбережение, климатические условия, энергоэффективность, саморегулирование, температурный коэффициент сопротивления, радиационный обогрев, конвекционный обогрев

Для цитирования: Комбинированная электрическая система отопления для каркасных домов / И. Ю. Шелехов [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 198–214. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.198-214



COMBINED ELECTRIC HEATING SYSTEM FOR TIMBER FRAME HOUSES

**I. Yu. Shelekhov*, T. I. Shishelova, Ye. I. Smirnov,
V. P. Inozemtsev**

*National Research Irkutsk State Technical University
(Irkutsk, Russia)*

**promteplo@yandex.ru*

Introduction. The article presents an overview of the factors affecting the decrease in energy costs during the construction and operation of frame type buildings. The authors propose the methods to increase energy efficiency in heating of frame type buildings.

Materials and Methods. The experiment was conducted in an individual residential building with a total area of 80 square meters. Two panels with an infrared heating element and thermoelectric temperature sensors were used. Signals from the sensors were registered by measuring instruments. The amount of the consumed energy was measured by the electric meter.

Results. The article identifies the problem and researches of parameters of the combined electric heating system, mutual influence of the two heating devices which are made on the basis of the heating elements with a positive temperature coefficient of resistance. The authors considered the basic scenario, and change of microclimate parameters. They studied the changes of microclimate parameters in the penetration of cold airflows into the room through the opening, and when the temperature of the walls decreases.

Discussion and Conclusions. The heating unit using the effect of self-regulation reduces the time for establishing the stationary regime. It helps to reduce the inertia of the heating system and to promote rapid recovery of the microclimate parameters, reducing energy costs and heat loss.

Keywords: frame structures, heating element, energy saving, climatic conditions, energy efficiency, self-regulation, temperature coefficient of resistance, radiation heating, convection heating

For citation: Shelekhov I. Yu., Shishelova T. I., Smirnov Ye. I., Inozemtsev V. P. Combined electric heating system for timber frame houses. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 2(27):198-214. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.198-214

Введение

Принцип каркасного домостроения был изобретен достаточно давно. У тюркских и монгольских народов технология каркасного домостроения реализована в виде юрт; в советские времена данная технология применялась для изготовления дачных домиков, быстровозводимых сооружений в сельской местности и при производстве строительных работ; в 1990-е гг. по этому типу строились торговые павильоны. В последние годы интерес к каркасному домостроению значительно вырос, что обусловлено появлением на рынке новых технологий и строительных материалов. В настоящее время по

данной технологии строятся промышленные и административные помещения, жилые дома, поселки городского типа. При строительстве малоэтажного жилья можно заказать индивидуальный проект и все элементы возводимой конструкции, которые с помощью специального программного обеспечения и оборудования будут изготовлены в короткие сроки и с высокой точностью [1]. При этом если покупатель имеет минимальные строительные навыки, то он сам может «собрать» свой дом, следуя рекомендациям проектной документации.

Одним из обязательных условий надежности и долговечности каркасно-

го сооружения является наличие постоянной вентиляции, что не обязательно для других конструкций [2]. Данное требование обусловлено стационарными воздушно-тепловыми потоками по всему объему помещения, которые приходят в дисбаланс при любом внешнем воздействии (открывании входной двери, резком изменении внешних метеорологических условий и др.) [3]. Кроме этого, отсутствие в таких сооружениях массивных конструкций с большой теплоемкостью делает их безынерционными и неустойчивыми при колебаниях внешней температуры с точки зрения сохранения тепла. Отсутствие инерционности также затрудняет создание равномерного теплового поля, а в случае его реализации требуются значительные энергетические затраты. Во время эксплуатации происходят изменения теплотехнических характеристик, что в основном связано с нарушением стыковых соединений, «проседанием» наполнителя.

Рациональная и эффективная система отопления в таких сооружениях играет большую роль в обеспечении комфортных условий [4].

Решив задачу эффективного обогрева каркасных сооружений, можно расширить сферу их применения, уменьшить затраты на жизнеобеспечение, а также снизить экологическую нагрузку в местах их использования.

Обзор литературы

На внутренние климатические условия в зданиях каркасного типа в основном влияют 2 фактора: теплоизоляционные свойства ограждающих конструкций и отсутствие конструкций с большой теплоемкостью. Анализ литературных данных показал, что основные научные исследования связаны с теплоизоляционными свойствами ограждающих конструкций в области вентиляции и систем обогрева с аккумулирующими установками.

По мнению многих экспертов, Российская Федерация обладает гигантским

потенциалом энергосбережения – > 40 % от общего энергопотребления [5].

Основным направлением исследований в области энергосбережения является оптимизация ограждающих конструкций каркасного сооружения; множество работ посвящено основным архитектурно-планировочным, объемно-пространственным и конструктивным решениям, которые направлены на энергосбережение и обеспечение энергетической эффективности каркасных зданий. В работах приведены определяющие факторы для обеспечения низкого уровня потребляемой в зданиях тепловой энергии на отопление: высокий уровень теплоизоляции наружных ограждающих конструкций (стен, окон, покрытий и др.), герметичность наружной оболочки здания и его компактности [6–14].

Система вентиляции в зданиях каркасного типа влияет не только на параметры микроклимата, но и является одним из основных источников энергетических затрат. Затраты на вентиляцию в современных зданиях составляют 40–50 % всех затрат на отопление. Имеются публикации, в которых рассматриваются различные энергоэффективные системы вентиляции, анализируются их достоинства и недостатки [15–18]. В ряде статей приводится поиск различных решений энергосбережения и снижения энергетических затрат при помощи применения энергоэффективных систем вентиляции.

Воздухообмен в помещениях – один из наиболее важных факторов, обеспечивающих оптимальный микроклимат в помещении. С его помощью происходит удаление внутренних загрязнений, бактерий, излишней влажности и поддерживается оптимальное соотношение концентрации кислорода и углекислого газа. Этот процесс является энергозатратным, поэтому крайне актуален вопрос создания вентиляционных систем с рекуперацией тепла и влаги [19–21].



Ограждающие конструкции и система вентиляции оказывают существенное влияние на параметры микроклимата в помещении, которые необходимо учитывать при проектировании системы отопления. В основном в зданиях каркасного типа используется индивидуальное теплоснабжение, которое имеет ряд преимуществ для потребителей, строительных и эксплуатирующих организаций [22]. Основные способы рационального использования тепловой энергии представлены в работах Д. Н. Ватузова, С. М. Пурина и Е. Б. Филагова [23], а также Y. Cheng, J. Nin, N. Gao [24]. Авторы подчеркивают необходимость дальнейших комплексных исследований в данном направлении.

Особый интерес представляет работа Ю. М. Мацеватого [25]. Совместно с соавторами им был сделан вывод об отсутствии комплексной оценки энергетической и экономической эффективности различных систем электротеплоаккумуляционного отопления; также был проведен сравнительный анализ параметров этих систем и параметров традиционных систем водяного отопления. В данной статье дается оценка целесообразности применения электрических тепловых аккумуляторов различного типа для повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения гражданских зданий. Приводятся результаты расчета энергетической эффективности различных видов систем электротеплоаккумуляционного отопления; описываются преимущества данных систем отопления по сравнению с традиционной водяной, а также дости-

гаемая экономическая эффективность и сроки окупаемости систем. Детально рассматривается проблема каркасных сооружений, возникающая из-за отсутствия в таких сооружениях массивных конструкций; приводятся способы решения данной проблемы.

В. Ю. Карницкий и В. С. Ушников [26] рассматривают решение данной проблемы с помощью инфракрасного отопления. В их работе показана прямо пропорциональная зависимость теплозащиты здания и энергии, которая тратится на поддержание требуемых параметров микроклимата. Использование инфракрасных обогревателей значительно уменьшает расходы на обогрев и помогает сэкономить > 45 % электроэнергии по сравнению с другими системами отопления. Таким образом, стоимость оборудования, монтажа и эксплуатации инфракрасного отопления почти в 2,5 раза дешевле, чем в случае использования водяного отопления.

Следует отметить, что мнения других авторов расходятся относительно оптимальной доли лучистой теплоотдачи: некоторые из них утверждают, что следует обеспечивать максимальную теплоотдачу нагревательных устройств излучением¹⁻². Им противопоставляется точка зрения ученых, предпочитающих применение панелей с долей лучистой теплоотдачи порядка 60–70 %³⁻⁴.

Материалы и методы

Рассмотрим 2 классических события, при которых происходит изменение параметров микроклимата в каркасных помещениях.

¹ Инфракрасное отопление [Электронный ресурс]. URL: <http://www.otopimdom.ru/index.php?id=394> (дата обращения: 07.11.2016).

² Инфракрасное излучение и его влияние на человека [Электронный ресурс]. URL: <http://otravlenniy.net/izluchenie/infra-krasnoe-izluchenie-vliyaniye-na-cheloveka.html> (дата обращения: 07.11.2016).

³ Все об инфракрасных обогревателях для дачи [Электронный ресурс]. URL: <http://oblagorod.ru/obogrev/infra-krasnye-obogrevateli-s-termoregulyatorom-dlya-dachi.html#i-11> (дата обращения: 07.11.2016).

⁴ Экономический эффект от применения инфракрасных обогревателей: расчет затрат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.teplo.ufakit.ru/?partid=56> (дата обращения: 07.11.2016).

1. При эксплуатации помещения через дверной проем поступают холодные потоки воздуха; первоначально – в центр помещения, после чего постепенно распространяются по всему объему в направлении ограждающих конструкций.

2. При изменении внешних метеорологических условий процесс идет в обратном направлении, от ограждающих конструкций в центр помещения.

С помощью одного отопительного прибора добиться равномерного нагрева практически невозможно. При установке нескольких отопительных приборов ситуация улучшается, но из-за их инерционности равномерный нагрев помещения происходит со значительным перерасходом энергии и за большой промежуток времени.

Алгоритм восстановления параметров микроклимата не зависит от факторов, влияющих на общую температуру помещения. Изменение температуры в одной части помещения неизбежно приводит к аналогичному изменению в другой его части через определенный промежуток времени, при этом работа одного отопительного прибора никак не зависит от работы другого. Именно поэтому перед тем как в помещении по всему объему станет «тепло», предварительно неизбежно состояние «жарко». Особенно ярко это выражено в помещениях малого объема с недостаточными теплоизоляционными свойствами ограждающих конструкций, к которым относятся малые каркасные сооружения⁵.

Целью нашей работы является исследование параметров комбинирован-

ной электрической системы обогрева при взаимном влиянии двух нагревательных приборов, изготовленных на основе нагревательных элементов с положительным коэффициентом термического сопротивления. При этом необходимо оценить снижение тепловых потерь и скорость восстановления параметров микроклимата за счет обеспечения саморегулирования и взаимного регулирования.

Было рассмотрено 2 основных сценария изменения параметров микроклимата, возникающих из-за холодных потоков воздуха, который поступает в помещение через дверной проем, и из-за понижения температуры ограждающих конструкций. В процессе исследования использовались две панели с инфракрасным нагревательным элементом с положительным коэффициентом термического сопротивления⁶⁻⁷, которые подключаются в электрическую сеть последовательно. Одна нагревательная панель была установлена на внутренней стене между комнатами, другая – на внешней, рядом с оконным проемом.

В стационарном режиме, когда количество холодных потоков воздуха постоянно, в зависимости от температуры воздуха изменяется температура на теплопередающей поверхности нагревательных панелей и, следовательно, их мощность. При понижении температуры электрическое сопротивление резистивного слоя уменьшается, а выделяемая мощность, соответственно, увеличивается. При повышении температуры ситуация обратная. Процесс длится до момента равновесия (стационарного состояния), когда на

⁵ Патент 2016149900 (РФ). Нагревательный прибор для комбинированной системы обогрева помещений с низкой теплоизоляцией / И. Ю. Шелехов, И. В. Шелехова, М. И. Шелехов, Е. И. Смирнов, В. П. Иноземцев, К. П. Кашко. Оpubл. 16.12.2016. Патентообладатель ООО «Термостат+». URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet

⁶ Патент на полезную модель 109628 (РФ). Нагревательный элемент, патент на полезную модель / И. Ю. Шелехов, И. В. Шелехова, Н. А. Иванов, Kim Byoung Chul, И. М. Головных. URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet

⁷ Патент на изобретение 2463748 (РФ). Способ изготовления толстопленочного резистивного нагревателя, патент на изобретение / И. Ю. Шелехов, И. В. Шелехова, Н. А. Иванов, И. М. Головных, Ким Бьянг Чул. Оpubл. 10.08.2012. URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet



нагревательных панелях установится выделяемая мощность, при которой изменение температуры в помещении не происходит.

При возникновении не стационарного режима (в период времени, когда в помещении открывается дверь) холодные потоки воздуха движутся вдоль внутренних стен, постепенно распространяясь по всему объему помещения в направлении ограждающих конструкций (внешних стен). При этом понижается температура на теплопередающей поверхности панели, установленной на внутренней стене, происходит уменьшение электрического сопротивления, а поскольку панели соединены последовательно, то увеличивается напряжение, поступающее на панель на внешней стене. Фактически, нагревательная панель, которая находится в зоне понижения температуры, управляет выделяемой мощностью панели, к которой движутся холодные потоки воздуха. При этом снижается инерционность системы и осуществляется пропорциональное регулирование, поскольку изменение электрического сопротивления пропорционально изменениям температуры воздуха. При понижении или увеличении внешней температуры, усилении или ослаблении ветра процесс идет в обратном направлении. Нагревательная панель, установленная на внешней стене, управляет работой панели, установленной на внутренней стене, увеличивая или уменьшая напряжение на ней.

Комфортное состояние человека в обогреваемом помещении зависит от многих факторов: температуры воздуха, его скорости движения и влажности; радиационной температуры от окружающих предметов, в т. ч. отопительных приборов и ограждающих конструкций; состояния, в котором че-

ловек находится. Комфорт достигается при достижении общего теплового (энергетического) баланса между человеком и окружающей средой.

Эксперименты проводились в индивидуальном жилом доме общей площадью 80 м², который был построен в 2013 г. по программе «Доступное жилье», в соответствии с проектной документацией. Системы жизнеобеспечения, в т. ч. отопление, были рассчитаны по нормам и методикам, которые подробно описаны в учебнике В. Н. Богословского⁸. Дом состоит из коридора, гостиной, кухни, двух спальных комнат, туалета и ванной. Оборудование для проведения экспериментов было установлено в гостиной (общая площадь – 24 м²; две стены внутренние, две внешние). На одной из внешних стен имеется окно размерами 1,4х3,0 м² и стационарное электрическое отопление общей мощностью 2,5 кВт (отопительные приборы конвекционного типа, производства РФ; регулирование выделяемой мощности в отопительных приборах осуществляется позиционными биметаллическими регуляторами).

Через равные промежутки площади помещения были попарно установлены термоэлектрические датчики температуры для фиксации температуры воздуха и радиационного излучения соответственно. Сигналы с датчиков поступали на приборы фирмы «ОВЕН» марки ТРМ138 с помощью штатного программного обеспечения, поставляемого совместно с приборами (Owen Process Manager) и предназначенного для регистрации и отображения данных, а также для их обработки и анализа. Данные аппроксимировались, полученные графики распределения температурных полей импортировались

⁸ **Богословский В. Н.** Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) : учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. школа, 1982. 415 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/5619>

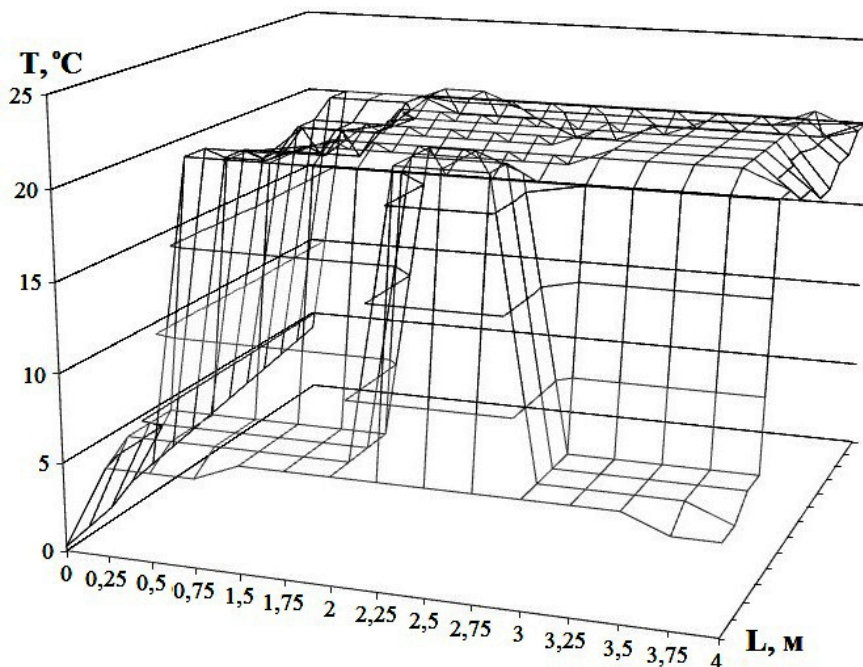
в программу MS Excel. Учет потребленной энергии фиксировался электросчетчиком СЕ 101 («Энергомера»).

При обработке данных учитывалось, что целенаправленное использование лучевого теплообмена позволяет снизить температуру окружающего воздуха без нарушений условий теплового комфорта⁹ [27–28], а также тот факт, что действие лучистого тепла в определенных пределах может оказывать на организм благоприятное влияние [29].

Результаты исследования

В связи с тем что абсолютно одинаковые погодные условия устанавливаются достаточно редко, эксперименты со штатным стационарным отоплением

проводились несколько дней подряд. После этого были выбраны результаты, полученные при схожих погодных условиях, что и во время экспериментов с инфракрасным панелями. На рис. 1 показано распределение температурных полей при конвекционном типе отопления в 7:00 при внешней температуре -17°C . Из представленного графика видно, что благоприятная для человека температура установилась только на 20 % площади. Видно, что конвекционный поток от обогревателя распространялся по помещению, но не охватывал зону около «холодной» стены, где температура опустилась ниже всех существующих норм.



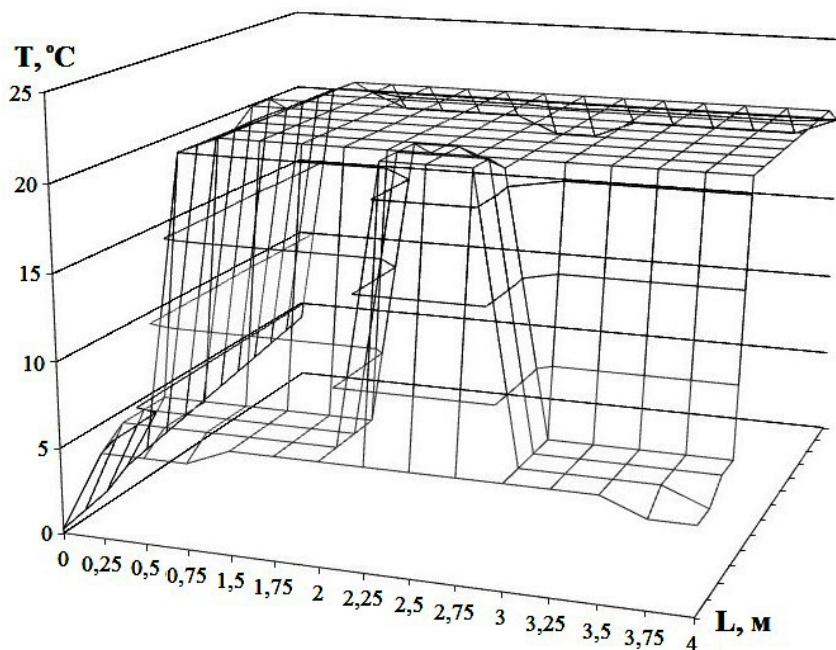
Р и с. 1. Распределение температурного поля по помещению при конвекционном типе отопления в 7:00
F i g. 1. Distribution of temperature field in room with convective type of heating at 7 AM

⁹ Куриленко Н. И. Научно-технические основы формирования микроклимата промышленных объектов с лучистыми системами отопления : дис. на соиск. ... докт. техн. наук. 2015. С. 235. URL: http://www.tgasu.ru/content/page/post-4931/dissertaciya_docx.pdf



На рис. 2 показано распределение температурных полей в 10:00 при внешней температуре -15°C . Из графика видно, что благоприятная для человека температура распространилась на 50 % площади. Однако при этом, несмотря на то что на половине помещения температура практически

идеальна, видно, что конвекционный поток от обогревателя не охватывает зону около «холодной» стены. Температура в помещении установилась через 1 ч 57 мин и в дальнейшем практически не менялась. За 3 ч потребление электрической энергии составило 6,48 кВт.



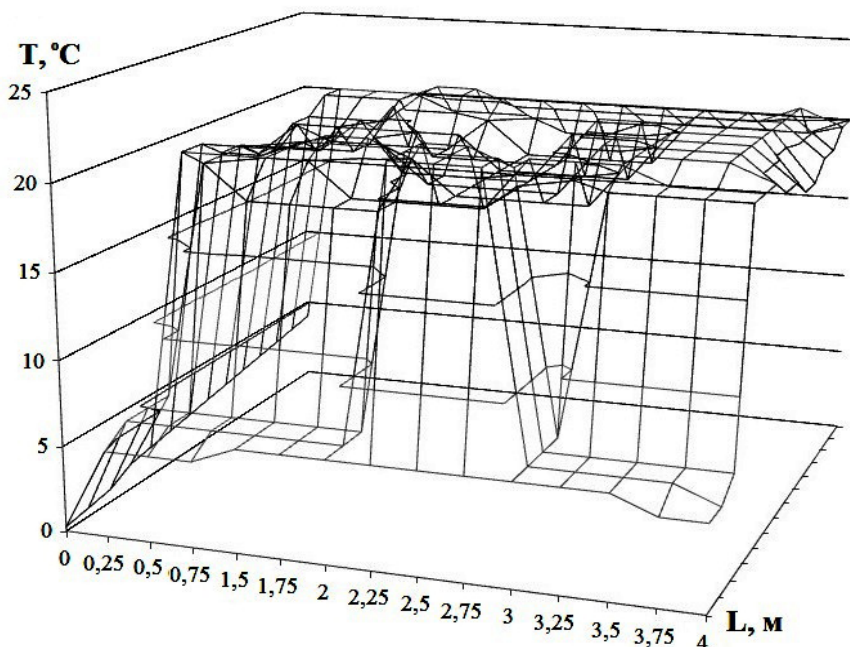
Р и с. 2. Распределение температурного поля по помещению при конвекционном типе отопления в 10:00

Fig. 2. Distribution of temperature field in room with convective type of heating at 10 AM

Как было отмечено выше, одним из основных требований при строительстве каркасных сооружений является наличие вентиляции. При эксплуатации помещения возникают факторы, которые нарушают параметры микроклимата, изменяя движение воздушных потоков. Одним из таких факторов является поступление холодных воздушных потоков через дверной проем. В ходе эксперимента входная дверь открывалась на 5 мин – доста-

точное время для того, чтобы войти в помещение или выйти из него.

На рис. 3 показано распределение температурных полей через 15 мин после дополнительного притока холодного воздуха. При этом зона неблагоприятной температуры уменьшилась более чем в 2 раза, причем неблагоприятное изменение температуры в остальной части помещения произошло только в неотапливаемых зонах.



Р и с. 3. Распределение температурного поля по помещению при конвекционном типе отопления через 15 мин после дополнительного притока холодного воздуха

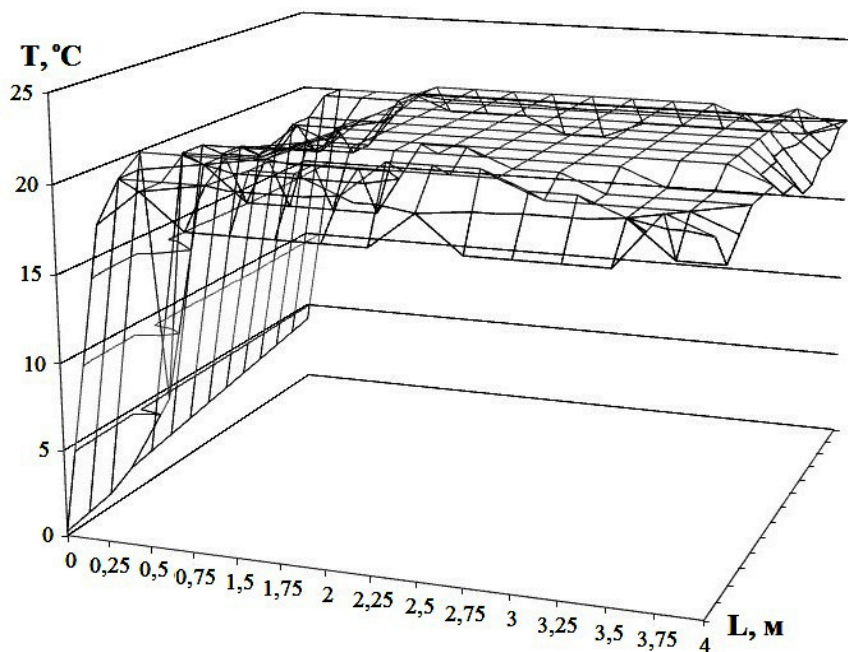
F i g. 3. Distribution of temperature field in room with convective type of heating 15 minutes after additional inflow of cold air

На рис. 4 показано распределение температурных полей при конвекционном типе отопления через 1 ч; видно, что зоны с неблагоприятной температурой в помещении исчезли. Данный факт объясняется тем, что при постоянной работе обогревателей рассматриваемого типа конвекционный поток от обогревателя встраивается в общее движение воздушных потоков, создаваемых вентиляцией, что не всегда благоприятно сказывается на микроклимате.

В период низких температур приборы работают постоянно и распределение температуры по помещению происходит по пути движения воздушных потоков. Аналогичный результат был получен при принудительном выключении обогревателей на непродолжительный промежуток

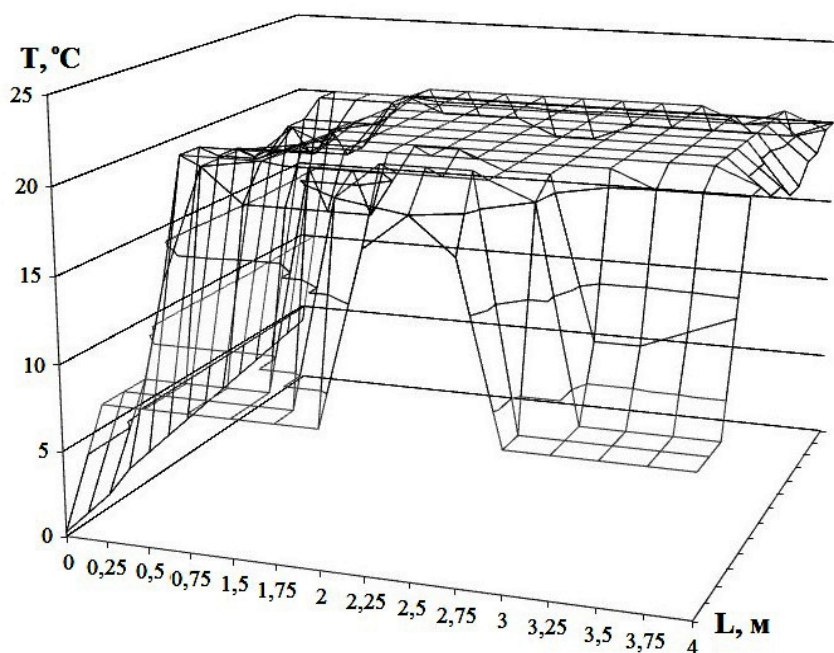
времени, что также доказывает правильность нашего предположения.

Были проведены аналогичные испытания, где в качестве обогревателей использовались панели с инфракрасными нагревательными элементами с положительным коэффициентом термического сопротивления аналогичной мощности. На рис. 5 показано распределение температурных полей при саморегуляционном радиационном типе отопления в 7:00 при внешней температуре -18°C . Из представленного графика видно, что благоприятная для человека температура установилась на 60 % площади. Также видно, что рядом с «холодной» стеной присутствуют зоны неблагоприятных температур, но их площадь намного меньше, чем при конвективном обогреве, а величина – в 2 раза выше.



Р и с. 4. Распределение температурного поля по помещению при конвекционном типе отопления через 1 ч после дополнительного притока холодного воздуха

F i g. 4. Distribution of temperature field in room with convective type of heating 1 hour after additional inflow of cold air

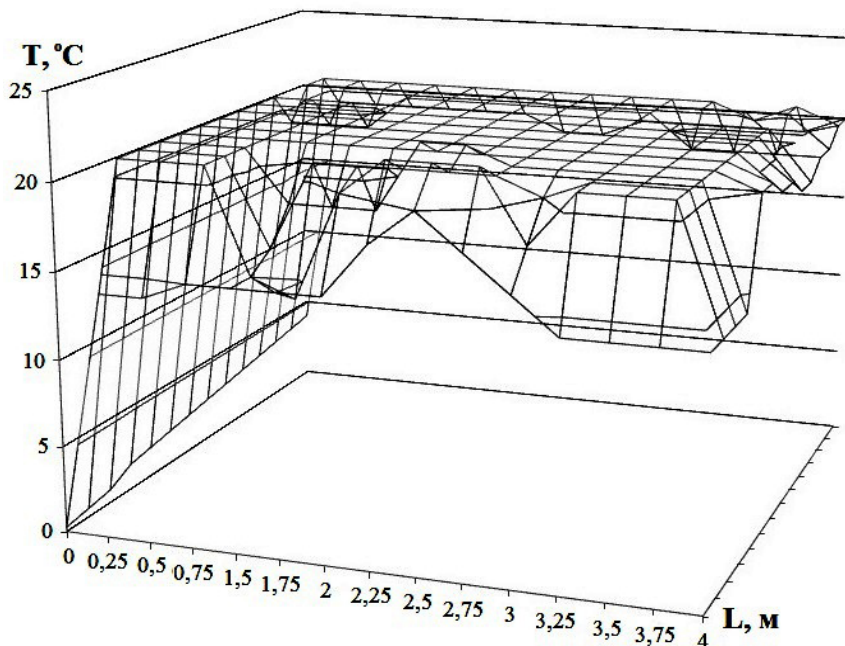


Р и с. 5. Распределение температурного поля по помещению при саморегулируемом радиационном типе отопления в 7:00

F i g. 5. Distribution of temperature field around the room during self-regulated radiation type heating at 7 AM

На рис. 6 показано распределение температурных полей в 10:00 при внешней температуре -15°C . Из графика видно, что благоприятная для человека температура распространилась практически по всей площади помещения, кроме узких зон у стены справа и слева от окна. Данный факт

объясняется отсутствием внешних воздушных потоков, которые мешают естественному распределению температуры. Температура в помещении установилась через 1 ч 3 мин и в дальнейшем практически не изменялась. За 3 ч потребление электрической энергии составило 5,04 кВт.

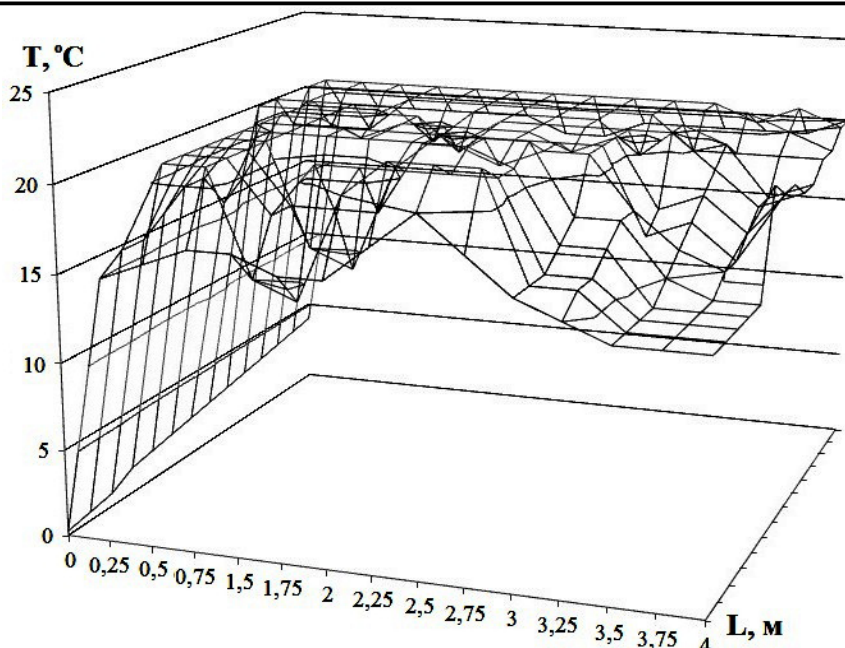


Р и с. 6. Распределение температурного поля по помещению при саморегулируемом радиационном типе отопления в 10:00

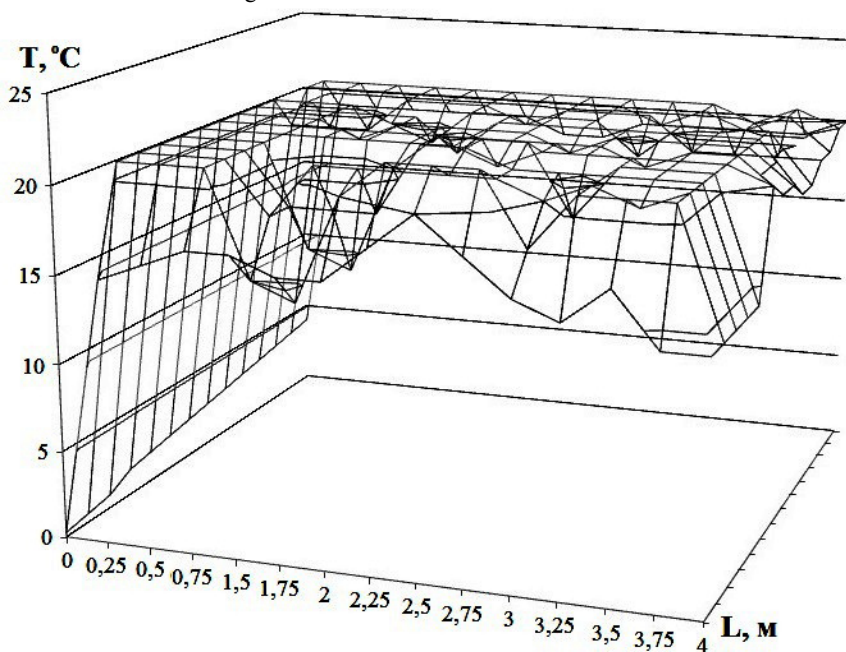
F i g. 6. The distribution of temperature field around the room during self-regulated radiation type of heater at 10 AM

На рис. 7 показано распределение температурных полей через 15 мин после дополнительного притока холодного воздуха. Диапазон неблагоприятных температур увеличился в основном в неотапливаемых зонах и в зонах расположения металлических стоек, служащих для установки датчиков температуры.

На рис. 8 показано распределение температурных полей через 1 ч; на графике безошибочно определяются места установки металлических стоек. Кроме этих точечных зон, где температура ниже приблизительно на 1°C , температура в помещении приобрела исходное значение.



Р и с. 7. Распределение температурного поля по помещению при саморегулируемом радиационном типе отопления через 15 мин после дополнительного притока холодного воздуха
 Fig. 7. The distribution of temperature field around the room in self-regulating the radiation type of heating 15 minutes after additional inflow of cold air



Р и с. 8. Распределение температурного поля по помещению при саморегулируемом радиационном типе отопления через 1 ч после дополнительного притока холодного воздуха
 Fig. 8. The distribution of temperature field around the room in self-regulating the radiation type of heating 1 hour after additional inflow of cold air

Обсуждение и заключения

Новые способы отопления с помощью саморегулируемых нагревательных элементов помогают снизить затраты при строительстве и эксплуатации каркасных сооружений и создать комфортный микроклимат.

Отопительные приборы с само- и взаиморегулированием уменьшают время выхода помещения на стационарный режим. При этом снижается инерционность системы отопления, происходит быстрое восстановление микроклимата, уменьшаются энергетические и тепловые затраты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гусева Т. П. Инновационные технологии для жилищного строительства // Жилищное строительство. 2009. № 4. С. 4–6. URL: http://irbis.bstu.ru/cgi...irbis64r_12/cgiirbis_64.exe?LNG
2. Петросова Д. В. Фльтрация воздуха через ограждающие конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 28, № 2. С. 24–31. URL: http://engstroy.spbstu.ru/index_2012_02/petrosova.pdf
3. Stanke D. Ventilation: where it's needed // ASHRAE Journal. 1998. P. 39–47. URL: <http://ashrae.org/File Library/eNewsletters/Stanke-Oct98>
4. Гошка Л. Л. К вопросу о необходимости внедрения эффективных систем климатизации зданий // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 7. С. 33–37. URL: http://engstroy.spbstu.ru/index_2009_07/goshka_chapter7.pdf
5. Алексеенко С. Энергосбережение – ключ к темпам роста национальной экономики // Наука в Сибири. 2004. № 48 (2484). С. 1–13. URL: http://unistroy.spbstu.ru/index_2013_11/1_z_p_o_11.pdf
6. Юрченко В. В. Проектирование каркасов зданий из тонкостенных холодногнутых профилей в среде «SCAD Office» // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8 (18). С. 38–46. URL: http://engstroy.spbstu.ru/index_2010_08/yurchenko.html
7. Шелехов И. Ю., Шишелова Т. И. Разработка отопительного оборудования и исследования его эффективности в системах жизнеобеспечения // Вестник ИргТУ. 2007. №1 (29). С. 104–109. URL: http://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2007/01a
8. Рыбаков В. А., Недвига П. Н. Эмпирические методы оценки несущей способности стальных тонкостенных просечно-перфорированных балок и балок со сплошной стенкой // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 27–30. URL: http://engstroy.spbstu.ru/index_2009_08/index_2009_08.html
9. Рыбаков В. А., Морозов С. А. Исследование конечных элементов для расчета тонкостенных стержневых систем // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 27, № 1. С. 53–73. URL: http://engstroy.spbstu.ru/index_2012_01/index_2012_01.html
10. Айрумян Э. Л., Белый Г. И. Исследования работы стальной фермы из холодногнутых профилей с учетом их местной и общей устойчивости // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 5. С. 41–44. URL: <http://www.pgs1923.ru/russian/rindex.htm>
11. Ватин Н. И., Рыбаков В. А. Расчет металлоконструкций: седьмая степень свободы // Строй-профиль. 2007. № 2. С. 60. URL: http://www.stroikafedra.spb.ru/publikacii/2007/stroiprofil_N_3_2007.pdf
12. Каталонская М. А. ЛСТК – быстрое решение для строительства доступного жилья // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 10. С. 75–75. URL: http://www.stroyamat21.ru/00/arch.php?file_=/2009-07/newtxt.htm
13. Technical note: airtightness of older-generation energy-efficient houses in Saskatoon / H. Orr [et al.] // Journal of Building Physics. 2013. Vol. 36. P. 294–307. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1744259112460748>
14. Tenpieric M., Van der Spoel W., Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure // Journal of Building Physics. 2008. Vol. 31. P. 361–387. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1744259107088008>
15. Немова Д. В. Системы вентиляции в жилых зданиях как средство повышения энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений : интернет-журнал. 2012. № 3.



URL: http://www.allbeton.ru/upload/mediawiki/2aa/energoeffektivnye-tehnologii-v-ograzhdayushchikh-konstruktsiyakh-_nemova_.pdf

16. **Губернский Ю. Д., Шилькрот Е. О.** Сколько воздуха нужно человеку для комфорта // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2008. № 4. С. 4–12. URL: <http://www.allbeton.ru/upload/iblock/45f/skolko-vozdusha-nujno-cheloveku-dlya-komforta-ushilkrotn.pdf>

17. **Dieckmann J.** Improving humidity control with energy recovery // ASHRAE Journal. 2008. P. 38–45. URL: http://www.airxchange.com/Collateral/Documents/English-US/Dieckmann_Ashrae_Article.pdf

18. **Шелехов И. Ю., Шишелова Т. И.** Повышение эффективности приточных установок в системе вентиляции зданий // Фундаментальные исследования. 2011. № 8, ч. 3. С. 683–686. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/issue/view?id=411>

19. **Иванов О. П., Тихомиров С. А.** Анализ сроков окупаемости пластинчатого и роторного теплоутилизаторов // Холодильная техника и кондиционирование. 2007. № 1. С. 1–5. URL: <http://refrigeration.open-mechanics.com/articles/41.pdf>

20. Анализ возможности использования термоэлектрических генераторов в системах вентиляции / И. Ю. Шелехов [и др.] // Научное обозрение. 2015. № 8. С. 67–75. URL: <http://engineering.science-review.ru/ru/issue/view?id=3>

21. **Шелехов И. Ю., Смирнов Е. И., Иноземцев В. П.** Нагревательный элемент с распределенным греющим слоем для систем приточной вентиляции // Сб. публикаций науч. журнала «Globus» по мат-лам V Междунар. науч.-практ. конф. «Достижения и проблемы современной науки» г. Санкт-Петербурга. СПб.: Научный журнал «Globus», 2016. С. 68–70. URL: http://globus-science.ru/Archive/new/Globus_Multi_February_2016_part_III.pdf

22. **Щелоков А. И., Филатова Е. Б.** Сравнительный анализ эффективности теплоснабжения объектов ЖКХ // Вестник Самарского государственного технического университета (Сер. «Технические науки»). 2011. № 2. С. 206–212. URL: http://vestnik-teh.samgtu.ru/sites/vestnik-teh.samgtu.ru/files/content/soderzanie_2011_2.doc

23. **Ватузов Д. Н., Пуринг С. М., Филатова Е. Б.** Способы повышения рационального потребления и распределения тепловой энергии в жилых зданиях // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2013. Т. 2, № 3 (6). С. 33–35. URL: http://journal.samgasu.ru/vestnik_sgasa/2014_04_13.pdf

24. **Jun Chen, Chi-sun Poon.** Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications // Building and Environment. 2009. Vol. 44. P. 1899–1906. URL: <http://www.brimee.eu/documents/28616/28897/Photocatalytic+construction+and+building+materials+-+From+fundamentals+to+applications.pdf/8f626406-e272-40aa-bd6e-c0ea2abf4b55?version=1.0>

25. **Мацевитый Ю. М., Ганжа Н. Г., Хименко А. В.** Оценка энергетической эффективности систем электроотоплакумляционного отопления административных зданий // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2011. № 10. С. 9–16. URL: <http://archive.kharkiv.org/View/35770>

26. **Карницкий В. Ю., Ушников В. С.** Инфракрасное отопление как экономичный и эффективный вид отопления // Известия Тульского государственного университета. 2016. № 12-3. С. 96–98. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/infrakrasnoe-otoplenie-kak-ekonomichnyy-i-effektivnyy-vid-otopleniya>

27. **Шелехов И. Ю., Смирнов Е. И., Иноземцев В. П.** Конструкции отопительных приборов на основе физико-математического моделирования // Научное обозрение. 2016. № 1. С. 42–48. URL: <http://engineering.science-review.ru/ru/issue/view?id=4>

28. **Шелехов И. Ю., Шишелова Т. И., Духовный Л. И.** Особенности использования отопительного оборудования в зданиях с переменным тепловым режимом // Фундаментальные исследования. 2012. № 3, ч. 2. С. 437–440 URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29625>

29. **Шелехов И. Ю., Шишелова Т. И.** Сравнительный анализ использования электронагревательных приборов в жилых помещениях // Фундаментальные исследования. 2012. № 9-2. С. 421–424. <https://fundamental-research.ru/ru/issue/view?id=457>

Поступила 21.03.2017; принята к публикации 26.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Шелехов Игорь Юрьевич, доцент кафедры городского строительства и хозяйства, Институт архитектуры и строительства, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83), кандидат технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7677-3187>**, promteplo@yandex.ru

Шишелова Тамара Ильинична, профессор кафедры физики, Физико-технический институт, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83), доктор технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2372-8144>**, tamara.shishelova@gmail.com

Смирнов Евгений Игоревич, аспирант кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Институт архитектуры и строительства, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4999-7342>**, jeka7.7.7@mail.ru

Иноземцев Виктор Петрович, аспирант кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Институт архитектуры и строительства, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5015-3553>**, 06091989dhsotr@mail.ru

Вклад соавторов: И. Ю. Шелехов: анализ литературных данных, научное руководство, постановка задачи исследования, обработка данных, написание текста статьи; Т. И. Шишелова: анализ литературных данных, верстка и редактирование текста; Е. И. Смирнов: анализ литературных данных, подготовка образцов, поиск и анализ аналитических и практических материалов; В. П. Иноземцев: анализ литературных данных, разработка методики проведения эксперимента, компьютерная реализация решения задачи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Guseva T. P. Innovation technologies for housing construction. *Zhilishchnoye stroitelstvo* = Housing Construction. 2009; 4:4-6. Available at: http://irbis.bstu.ru/cgi...irbis64r_12/cgiirbis_64.exe?LNG (In Russ.)
2. Petrosova D. V. Air filtering through the building envelope. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal* = Engineering and Construction Journal. 2012; 2(28):24-31. Available at: http://engstroy.spbstu.ru/index_2012_02/petrosova.pdf (In Russ.)
3. Stanke D. Ventilation: where it's needed // ASHRAE Journal. 1998; 39-47. Available at: <http://ashrae.org/File Library/eNewsletters/Stanke-Oct98>
4. Goshka L. L. [On the need to introduce effective climate control systems for buildings]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal* = Engineering and Construction Journal. 2009; 7:33-37. Available at: http://engstroy.spbstu.ru/index_2009_07/goshka_chapter7.pdf (In Russ.)
5. Alekseenko S. [Energy saving is the key to growth rate of the national economy]. *Nauka v Sibiri* = Science in Siberia. 2004; 48(2484):1-13. Available at: http://unistroy.spbstu.ru/index_2013_11/1_z_p_o_11.pdf (In Russ.)
6. Yurchenko V. V. [Designing of building frame from thin-walled cold-formed profiles in SCAD Office]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal* = Engineering and Construction Journal. 2010; 8(18):38-46. Available at: http://engstroy.spbstu.ru/index_2010_08/yurchenko.html (In Russ.)
7. Shelekhov I. Yu., Shishelova T. I. [Development of heating equipment and research of its effectiveness in life support systems]. *Vestnik IrGTU* = Irkutsk State Technical University Bulletin. 2007; 1(29):104-109. Available at: http://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2007/01a (In Russ.)
8. Rybakov V. A., Nedviga P. N. [Empirical methods for estimating the bearing capacity of thin-walled steel perforated beams and solid-wall beams]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal* = Engineering and Construction Journal. 2009; 8:27-30. Available at: http://engstroy.spbstu.ru/index_2009_08/index_2009_08.html (In Russ.)



9. Rybakov V. A., Morozov S. A. [Finite element analysis for the calculation of thin-walled rod systems]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* = Engineering and Construction Journal. 2012; 1(27):53-73. Available at: http://engstroy.spbstu.ru/index_2012_01/index_2012_01.html (In Russ.)
10. Ayrumyan E. L., Belyy G. I. [Studies of the operation of a steel truss made from cold-formed profiles with considering their local and general stability]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* = Industrial and Civil Construction. 2010; 5:41-44. Available at: <http://www.pgs1923.ru/russian/rindex.htm> (In Russ.)
11. Vatin N. I., Rybakov V. A. [Calculation of metal structures: The seventh degree of freedom]. *Stroyprofil* = Building Profile. 2007; 2:60. Available at: http://www.stroikafedra.spb.ru/publikacii/2007/stroiprofil_N_3_2007.pdf (In Russ.)
12. Katalonskaya M. A. [Self-framing metal buildings – quick solution for affordable housing]. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI v.* = Building Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century. 2008; 10:75-75. Available at: http://www.stroyomat21.ru/00/arch.php?file_=/2009-07/newtxt.htm (In Russ.)
13. Orr H., Wang J., Fetsch D., Dumont R. Technical note: airtightness of older-generation energy-efficient houses in Saskatoon. *Journal of Building Physics*. 2013; 36:294-307. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1744259112460748>
14. Tenpieric M., Van der Spoel W., Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure. *Journal of Building Physics*. 2008; 31:361-387. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1744259107088008>
15. Nemova D. V. [Ventilation systems in residential buildings as a means of increasing energy efficiency]. *Stroitel'stvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy* = Construction of Unique Buildings and Structures. 2012; 3. Available at: http://www.allbeton.ru/upload/mediawiki/2aa/energoeffektivnye-tekhnologii-v-ograzhdanyushchikh-konstruktsiyakh-nemova_d_v.pdf (In Russ.)
16. Gubernskiy Yu. D., Shilkrot Ye. O. [How much air does a human need for comfort?]. *AVOK: Ventilatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika* = ABOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Construction Thermal Physics. 2008; 4:4-12. Available at: <http://www.allbeton.ru/upload/iblock/45f/skolko-vozdusha-nujno-cheloveku-dlya-komforta-ushilkrotn.pdf> (In Russ.)
17. Dieckmann J. Improving humidity control with energy recovery. *ASHRAE Journal*. 2008; 38-45. Available at: http://www.airxchange.com/Collateral/Documents/English-US/Dieckmann_Ashrae_Article.pdf
18. Shelekhov I. Yu., Shishelova T. I. [Increasing the efficiency of air-handling units in the building ventilation system]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Basic Research. 2011; 8(3):683-686. Available at: <https://fundamental-research.ru/ru/issue/view?id=411> (In Russ.)
19. Ivanov O. P., Tikhomirov S. A. [Analysis of the payback period of the plate and rotary heat exchangers]. *Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye* = Refrigeration and Air Conditioning. 2007; 1:1-5. Available at: <http://refrigeration.open-mechanics.com/articles/41.pdf> (In Russ.)
20. Shelekhov I. Yu. [Analysis of the possibility of using thermoelectric generators in ventilation systems]. *Nauchnoye obozreniye* = Scientific Review. 2015; 8:67-75. Available at: <http://engineering.science-review.ru/ru/issue/view?id=3> (In Russ.)
21. Shelekhov I. Yu., Smirnov Ye. I., Inozemtsev V. P. [Heating element with distributed heating layer for ventilation systems]. In: *Sbornik publikatsiy nauch. zhurnala "Globus" po materialam V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Dostizheniya i problemy sovremennoy nauki"* [Collection of publications of The Globus scientific journal on the materials of the 5th International Scientific and Practical Conference "Achievements and Problems of Modern Science": Proceedings] 2016; 68-70. Available at: http://globus-science.ru/Archive/new/Globus_Multi_February_2016_part_III.pdf (In Russ.)
22. Shchelokov A. I., Filatova Ye. B. [Comparative analysis of the efficiency of heat supply for housing and utilities facilities]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: tekhnicheskiye nauki* = Samara State Technical University Bulletin: Engineering. 2011; 2:206-212. Available at: http://vestnik-teh.samgtu.ru/sites/vestnik-teh.samgtu.ru/files/content/soderzanie_2011_2.doc (In Russ.)
23. Vatzov D. N., Puring S. M., Filatova Ye. B. [Ways to increase the rational consumption and distribution of thermal energy in residential buildings]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* = Engineering and Construction Bulletin of the Caspian. 2013; 2-3(6):33-35. Available at: http://journal.samgasu.ru/vestnik_sgasu/2014_04_13.pdf (In Russ.)

24. Chen J., Poon Ch. Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications. Building and Environment. 2009; 44:1899-1906. Available at: <http://www.brimee.eu/documents/28616/28897/Photocatalytic+construction+and+building+materials+-+From+fundamentals+to+applications.pdf/8f626406-e272-40aa-bd6e-c0ea2abf4b55?version=1.0>
25. Matsevityy Yu. M., Ganzha N. G., Khimenko A. V. Evaluation of energy efficiency of systems electric thermal storage heating of civil buildings. *Energoberezhniye. Energetika. Energoaudit* = Energy Saving. Power Engineering. Energy audit. 2011; 10:9-16. Available at: <http://archive.kharkiv.org/View/35770> (In Russ.)
26. Karnitskiy V. Yu., Ushnikov V. S. Infrared heating as an economical and efficient type of heating. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta* = Tula State University Bulletin. 2016; 12-3:96-98. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/infrakrasnoe-otoplenie-kak-ekonomichnyy-i-effektivnyy-vid-otopleniya> (In Russ.)
27. Shelekhov I. Yu., Smirnov Ye. I., Inozemtsev V. P. [Constructions of heating devices based on physical and mathematical modeling] *Nauchnoye obozreniye* = Scientific Review. 2016; 1:42-48. Available at: <http://engineering.science-review.ru/ru/issue/view?id=4> (In Russ.)
28. Shelekhov I. Yu., Shishelova T. I., Dukhovnyy L. I. Features of use of the heating equipment in buildings with a variable thermal mode. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Basic Research. 2012; 3(2):437-440 Available at: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29625> (In Russ.)
29. Shelekhov I. Yu., Shishelova T. I. The comparative analysis of use of electroheating devices in pre-mises. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Basic Research. 2012; 9-2:421-424. Available at <https://fundamental-research.ru/ru/issue/view?id=457> (In Russ.)

Submitted 21.03.2017; revised 26.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Igor Yu. Shelekhov, Associated Professor of Chair of Urban Construction and Economy, Institute of Architecture and Construction, National Research Irkutsk State Technical University (83 Lermontova St., Irkutsk 3664074, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7677-3187>, prompteplo@yandex.ru

Tamara I. Shishelova, Professor of Chair of Physics, Institute of Physics and Technics, National Research Irkutsk State Technical University (83 Lermontova St., Irkutsk 3664074, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2372-8144>, tamara.shishelova@gmail.com

Yevgeniy I. Smirnov, Postgraduate Student of Chair of Engineering Communications and Life Support Systems, Institute of Architecture and Construction, National Research Irkutsk State Technical University (83 Lermontova St., Irkutsk 3664074, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4999-7342>, jeka7.7.7@mail.ru

Viktor P. Inozemtsev, Postgraduate Student of Chair of Engineering Communications and Life Support Systems, Institute of Architecture and Construction, National Research Irkutsk State Technical University (83 Lermontova St., Irkutsk 3664074, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5015-3553>, 06091989dhsotr@mail.ru

Contribution of the co-authors: I. Shelekhov: reviewing the literature, scientific supervision, developing the conceptual framework, data processing, writing the draft; T. Shishelova: analyzing the literature, writing and editing the text; Ye. Smirnov: analyzing the literature, preparation of samples, searching and analyzing the data; V. Inozemtsev: analyzing the literature, development of experimental techniques, computer processing the data.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.



ПРИМЕНЕНИЕ СОТОВЫХ И ЯЧЕЙСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПЕРЕ- РАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ АПК

**А. П. Савельев, А. Н. Скворцов*, С. А. Еналеева,
С. В. Глотов**

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

**squortsow.sasha@yandex.ru*

Введение. В последние годы в Российской Федерации складывается неблагоприятная ситуация с состоянием условий и охраны труда в различных отраслях агропромышленного комплекса (АПК). Одним из опасных и вредных производственных факторов в АПК, определяющих показатели травматизма и заболеваемости, является негативное воздействие повышенного уровня шума на работников. Длительное воздействие шума приводит к нарастанию медленноволновой активности, а также изменению зрительного и слухового коркового ответа. Именно поэтому улучшение условий и охраны труда в АПК за счет снижения уровня шума путем применения шумозащитных конструкций является актуальной задачей современности.

Материалы и методы. Проведенная авторами оценка условий труда работников молокоперерабатывающей и мясоперерабатывающей отраслей показала, что уровень шума на рабочем месте превышает нормативные значения. Санитарно-гигиенические требования для всех рабочих мест приблизительно одинаковы, однако при разработке шумозащитных конструкций необходимо учитывать частотно-избирательное звукопоглощение исходя из специфики технологического процесса. В процессе работы применялись экспериментальные исследования на базе малой реверберационной камеры.

Результаты исследования. В данной статье предложены звукопоглощающие панели, имеющие высокие санитарно-гигиенические свойства. Для молокоперерабатывающей отрасли была разработана бирезонансная сотовая шумозащитная панель, а для мясоперерабатывающих предприятий – звукоподавляющая ячейчатая панель. Экспериментальным путем на базе малой реверберационной камеры с использованием регистрационно-измерительного комплекса была выполнена оценка коэффициента звукопоглощения разработанных конструкций.

Обсуждение и заключения. Статья имеет исследовательский характер. Итоги исследований, указанные в графическом виде, наглядно демонстрируют преимущества предложенного решения снижения уровня шума на объектах агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: шум, охрана труда, акустическое загрязнение, шумозащитная конструкция, коэффициент звукопоглощения, реверберационная камера

Для цитирования: Применение сотовых и ячейчатых конструкций для защиты от шума на предприятиях перерабатывающей отрасли АПК / А. П. Савельев [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 215–223. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.215-223

NOISE PROTECTION OF AGRICULTURAL WORKERS WITH CELLULAR STRUCTURES

A. P. Savelyev, A. N. Skvortsov*, S. A. Yenaleyeva,
S. V. Glotov

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**squortsow.sasha@yandex.ru*

Introduction. The article concerns occupational health and safety in agriculture of the Russian Federation. Among dangerous and harmful production factors in agriculture determining the injury rates and morbidity is negative impact of high levels of noise on workers. Prolonged exposure to noise leads to an increase in slow wave activity and changes in visual and auditory cortical response. Therefore, the improvement of conditions and labour protection in agriculture by reducing noise is an urgent task of our time. **Materials and Methods.** The authors' assessment of the working conditions of employees of milk and meat processing industries showed that the noise level exceeds the standard values. There are some requirements for all the jobs. However, the development of noise-reducing structures demands frequency selective acoustic attenuation, based on the technological process. In the work, the author used methods based on features of the small reverberation chamber.

Results. The authors proposed sound absorbent panels with high sanitary and hygienic properties: a biresonant honeycomb soundproof panel was developed for the dairy processing industry; an acoustic mesh panel was proposed for the meat processing lines. The sound absorption coefficient of the developed structures was evaluated by testing in a small reverberation chamber.

Discussion and Conclusions. The article has an exploratory nature. The results of these studies graphically demonstrate the advantages of the proposed reduction of the noise level in agriculture.

Keywords: noise, occupational safety, acoustic pollution, anti-noise design, sound absorption coefficient, reverberation chamber

For citation: Savelyev A. P., Skvortsov A. N., Yenaleyeva S. A., Glotov S. V. Noise protection of agricultural workers with cellular structures. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 2(27):215-223. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.215-223

Введение

В последние годы в Российской Федерации складывается неблагоприятная ситуация с состоянием условий и охраны труда в различных отраслях агропромышленного комплекса (АПК) [1–3].

Одним из опасных и вредных производственных факторов, определяющих показателем травматизма и заболеваемости, является негативное воздействие повышенного уровня шума на работников [Там же].

Частое воздействие шума в среднем за 7 лет приводит к нарушению сердечно-сосудистой деятельности, а за 10–12 лет – к нарушению функциональ-

ного состояния желудка и центральной нервной системы. Анализ аудиометрических исследований показал, что работа в условиях повышенного шума в течение 20 лет приводит к заболеваниям органов слуха. Каждый дБ шума, превышающий предельно допустимые нормы, увеличивает риск потери слуха на 1,5 %, а риск сердечно-сосудистых заболеваний – на 0,5 %¹ [1–4].

Ущерб, наносимый здоровью на производстве, в целом по РФ исчисляется суммой, эквивалентной 4 % валового национального продукта, что на порядок превышает затраты на профилактику профзаболеваний [4].

¹ Анатомия, физиология и патология органов слуха : учеб. пособие / Е. Д. Боярчук [и др.]. Луганск : Альма-матер, 2007. 89 с. URL: http://anatomy.luguniv.edu.ua/ukr_studies/hearing.pdf



Именно поэтому улучшение условий и охраны труда операторов перерабатывающей отрасли АПК за счет снижения уровня шума путем применения шумозащитных конструкций является актуальной задачей современности, требующей неотлагательного вмешательства со стороны науки.

Целью исследования является разработка шумозащитных материалов с повышенными санитарно-гигиеническими свойствами для предприятий перерабатывающей отрасли АПК.

Обзор литературы

Среди многообразия шумозащитных средств, представленных на современном рынке, только небольшой их класс может быть выполнен из материалов, в процессе эксплуатации которых не выделялась бы пыль или фиброгенно опасные вещества. К этому классу относят резонансные конструкции, которые внешне представляют собой перфорированные поверхности различной степени и конфигурации. В противоположность шумозащитным материалам, использующимся в строительстве и выполненным на основе базальтового волокна или минеральной ваты, резонансные конструкции не содержат в своем составе пористые материалы² [5–6].

Существуют также комбинированные варианты шумозащитных материалов в виде, например, сочетания пористого материала, закрытого сна-

ружи перфорированной пластиной, и расположенного на определенном расстоянии с воздушным промежутком от стены. Использование шумозащитных конструкций с высокими санитарно-гигиеническими свойствами оправдано на таких рабочих местах, где уровень шума серьезно превышает допустимые нормы^{3–4} [7].

Материалы и методы

Оценка условий труда работников перерабатывающей отрасли АПК показала, что превалирующим вредным фактором является шумовое воздействие. На молокоперерабатывающем предприятии в цехах по производству масла, жирного сыра и кисломолочных продуктов превышение нормативных значений по шуму составляет 250–4 000 Гц [8–9]. В мясоперерабатывающих цехах мясоперерабатывающего комплекса – 125–2 000 Гц⁴.

Рабочие места предприятий молоко- и мясопереработки являются схожими по санитарно-гигиеническим требованиям. Однако при разработке шумозащитных конструкций необходимо учитывать частотно-избирательное звукопоглощение в различных полосах частот.

Для молокоперерабатывающих предприятий нами была разработана бирезонансная сотовая шумозащитная панель⁵, а для мясоперерабатывающих предприятий – звукоподавляющая ячеистая панель⁶.

² СНиП 23-03-2003. Защита от шума. М.: Госстрой России, 2003. 40 с. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/39/39320>

³ СН 2.2. 4/2.1.8.562-96. Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки URL: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/sanpin/1.pdf

⁴ ГОСТ Р ИСО 9612-2013. Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах. URL: <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293772/4293772719.pdf>

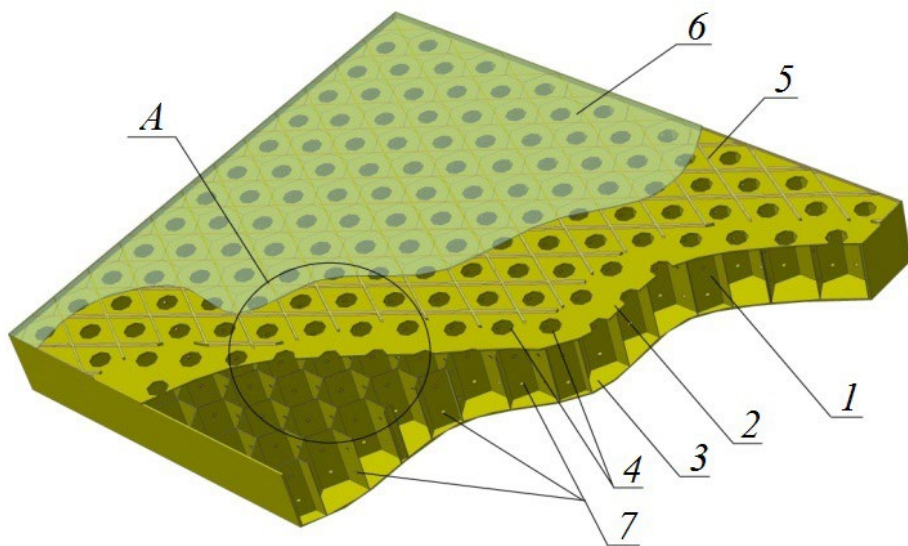
⁵ Патент 2478762 (РФ). Шумозащитная панель / С. А. Пяткина, А. П. Тюрин, Д. В. Парахин, Б. В. Севастьянов, А. П. Савельев, В. С. Баязитов, Д. А. Векшин. Оpubл. 10.04.2013. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2478762>

⁶ Патент 158599 (РФ). Звукоподавляющая ячеистая панель / А. П. Савельев, А. Н. Скворцов. Оpubл. 20.01.2016.

На базе малой реверберационной камеры с использованием регистрационно-измерительного комплекса была выполнена оценка звукопоглощения данных конструкций [10].

Первая конструкция (рис. 1.) представляет собой сотовобразную панель 1, сверху к которой крепится на клеевой основе верхняя перфорированная пластина 2, а снизу – сплошная пластина 3. Диаметры отверстий 4 пластины 2 могут быть различными. На внешнюю сторону верхней пластины 2 крепится, например, на клеевой основе ячеистая сетка 5, изготовленная из эластичного материала. Поверх ячеистой сетки 5 крепится, например, на клеевой основе тонкая пленка 6 с произвольной заделкой по краям конструкции.

На нижней пластине 3 могут быть расположены опорные элементы (на рис. 1 не показаны). Каждая из граней пустотелых ячеек сотовобразной панели 1 имеет отверстия 8. В зоне А реализуется бирезонансный механизм поглощения, который заключается в том, при воздействии звуковых волн на панель 1 и прохождении их через пленку 6 за счет резонансных свойств и диссипативных потерь в системах сотовых ячеек и воздушных прослоек происходит максимальное поглощение волновой энергии. Собственными резонансными частотами обладают воздушные «подушки» в крупных ячейках и сотовые элементы, совокупность взаимодействия которых и приводит к избирательному поглощению⁵.



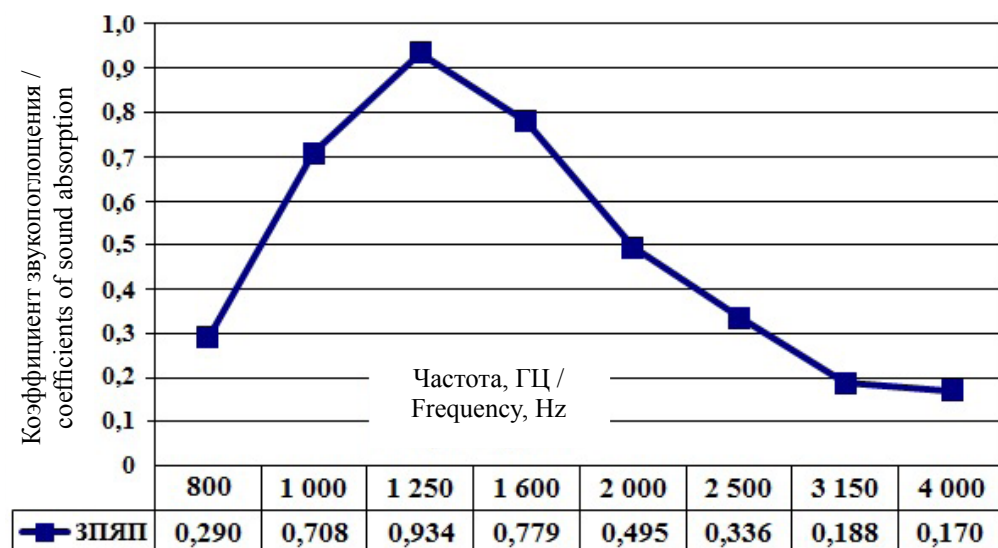
Р и с. 1. Трехмерное изображение сотовой бирезонансной конструкции: 1 – сотовобразная панель; 2 – перфорированная пластина; 3 – сплошная пластина; 4 – отверстия перфорированной пластины; 5 – ячеистая сетка; 6 – пленка; 7 – отверстия граней пустотелых ячеек; А – зона реализации биорезонансного механизма поглощения

F i g. 1. 3D image of the cell biresonance design: 1 – honeycomb panel; 2 – perforated plate; 3 – solid plate; 4 – holes of the perforated plate; 5 – cellular mesh; 6 – film; 7 – holes of the hollow cell faces; А – zone of realization of the biresonant mechanism of absorption



На рис. 2 представлен график звукопоглощения сотовой бирезонансной конструкции, из которого видно, что конструкция обладает достаточно высокими коэффициентами звукопоглощения. Отметим, что существует множество шумозащитных материалов, имеющих и более высокие коэффициенты. Однако все они обладают либо фиброгенной опасностью, либо весьма сложным рельефом, необходи-

мым для диффузии звука в помещении. При использовании конструкций в реальных условиях их звукопоглощение будет отличаться, но следует ориентироваться на определенные в условиях реверберационных испытаний коэффициенты, поскольку именно они являются входными данными при математическом расчете акустических полей ограниченных зон или помещений.

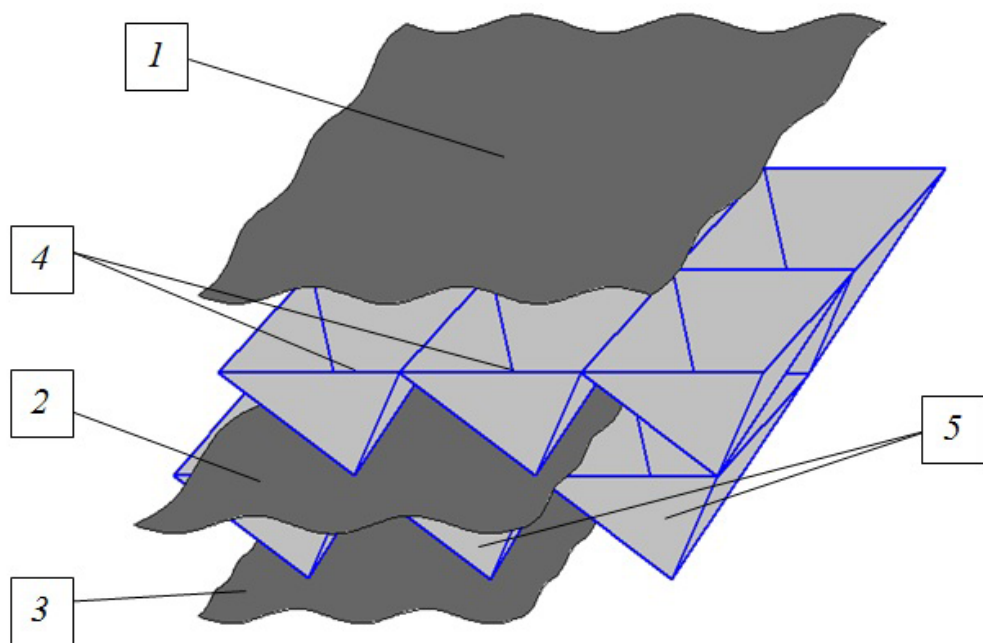


Р и с. 2. Среднегеометрические реверберационные коэффициенты звукопоглощения сотовой бирезонансной конструкции

F i g. 2. Average geometric reverberation coefficients of sound absorption cell biresonance design

Вторая конструкция данного типа (рис. 3) содержит параллельный верхний, средний и нижний листы с установленными между ними ячейками пирамидообразной формы. Ячейки первого слоя соединены основания-

ми с верхним листом, вершины которых соединены со средним листом в ребрах основания ячеек второго ряда. Эти основания, в свою очередь, крепятся к среднему листу, а вершины – к нижнему⁶.



Р и с. 3. Звукоподавляющая ячеистая панель (ЗПЯП): 1, 2, 3 – верхний, средний и нижний листы соответственно; 4 – первый слой; 5 – второй слой

F i g. 3. Sound-suppressive cellular panel: 1, 2, 3 – upper, middle and lower sheets, respectively; 4 – first layer; 5 – second layer

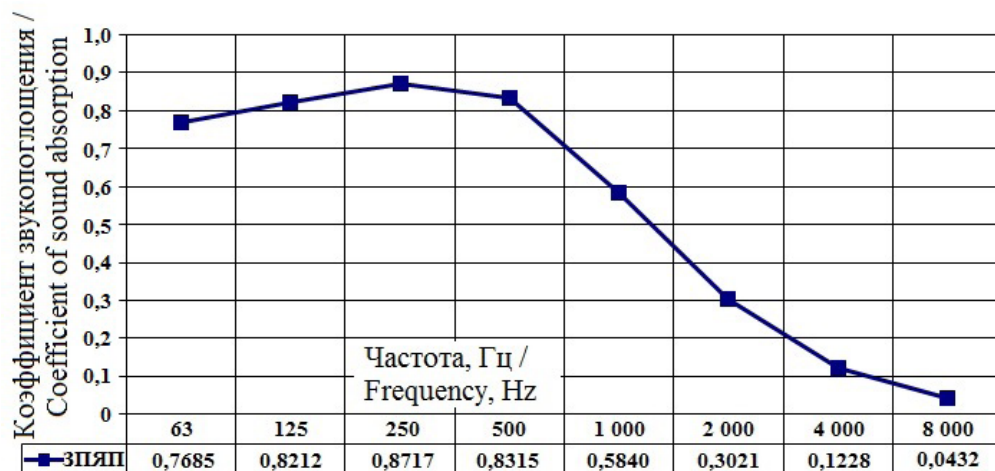
Задачей данной панели является снижение уровня как отраженного (облицовка ограждающих поверхностей помещения), так и прямого звука (акустический экран, перегородка и т. д.).

Опишем механизм работы данной конструкции.

При падении на лист 1 звуковые волны частично отражаются от него, поглощаются им и проходят сквозь него. Прошедшая через верхний лист 1 звуковая энергия попадает в ячейки первого слоя 4, где происходит отражение звуковой энергии от их боковых граней, что обеспечивает формирование встречных звуковых потоков с противофазой и, таким образом, подавление звуковой энергии. Затем звуковые волны, прошедшие через ячей-

ки первого слоя 4, попадают на средний лист 2, где частично отражаются от данного листа, поглощаются им и проходят сквозь него. Звуковая энергия, прошедшая через средний лист 2, попадает в ячейки второго слоя 5, где происходит отражение звуковой энергии от их боковых граней, что обеспечивает формирование встречных звуковых потоков с противофазой и подавление звуковой энергии. Оставшаяся порция звука, прошедшая сквозь ячейки второго слоя 5, попадает на нижний лист 3, где энергия частично отражается от него, поглощается им и уходит с листа 3.

На рис. 4 показан график звукопоглощения звукоподавляющей ячеистой панели.



Р и с. 4. Среднегеометрические реверберационные коэффициенты звукопоглощения звукоподавляющей ячеистой панели

F i g. 4. Average geometric reverberation coefficients of sound absorption of the sound-suppressive cellular panel

Прогнозируя ситуацию, отметим, что промышленное производство бирезонансных сотовых конструкций и звукоподавляющих ячеистых панелей – перспективное направление. В условиях специального производства их рекомендуется использовать в качестве внешней облицовки, акустического экрана или даже основы штучных звукопоглотителей.

Обсуждение и заключения

Разработанные конструкции обладают достаточными звукопоглощающими свойствами:

– наибольшее звукопоглощение для сотовой бирезонансной конструкции наблюдается в диапазоне 1/3 октавных полос со среднегеометрическими частотами 800–2 000 Гц;

– наибольшее звукопоглощение для звукоподавляющей ячеистой панели наблюдается в диапазоне октавных полос со среднегеометрическими частотами 63–2 000 Гц.

Применение представленных конструкций целесообразно в местах с высокими санитарно-гигиеническими свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сковорцов А. Н. Проблемы производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в агропромышленном комплексе России // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 1 (65). С. 1–7. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/19-01-16.ttb.pdf>
2. Шкрабак Р. В., Посыпаева Ю. А. Анализ условий и охраны труда работников мясоперерабатывающих предприятий и пути их улучшения // Вестник КрасГАУ. 2009. № 6. С. 133–136. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-usloviy-i-okhrany-truda-rabotnikov-myasopererabatyvayuschih-predpriyatiy-i-puti-ih-uluchsheniya>
3. Сковорцов А. Н. Анализ исследования источников шума объектов животноводства // SCI-ARTICL. 2014. № 5. URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1390682037>
4. Шишелова Т. И., Малыгина Ю. С., Нгуен Суан Дат. Влияние шума на организм человека // Успехи современного естествознания. 2009. № 8. С. 14–15. URL: <http://www.rae.ru/use/pdf/2009/8-S/9.pdf>

5. **Фролов А. В., Бакаева Т. Н.** Безопасность жизнедеятельности: охрана труда. Ростов-на-Дону, 2008. 751 с. URL: <http://bookre.org/reader?file=1353107&pg=25>
6. **Савельев А. П., Сковрцов А. Н.** Звукоподавляющий облепченный акустический экран // Охрана и экономика труда. 2015. № 2 (19). С. 56–61. URL: [http://www.vcot.info/upload/doc/№2\(19\)-2015.pdf](http://www.vcot.info/upload/doc/№2(19)-2015.pdf)
7. **Савельев А. П., Пьянзов С. В., Сковрцов А. Н.** Акустические конструкции коллективной защиты от производственного шума // Альманах мировой науки : науч. журнал по мат-лам междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 2-1 (2). С. 142–143. URL: <http://scjour.ru/docs/amn.2015.02.01.pdf>
8. **Савельев А. П., Пяткина С. А.** Обоснование оптимальных условий труда работников при внедрении новых пищевых технологий в молочной промышленности / Под ред. Н. И. Иванова // Защита населения от повышенного шумового воздействия : сб. докладов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2011. С. 411–426. URL: http://elibrary.ru/download/elibrary_22691651_62378365.pdf
9. **Пяткина С. А., Тюрин А. П., Савельев А. П.** Теоретические основы расчета шумозащитной конструкции с повышенными санитарно-гигиеническими свойствами / Под ред. Н. И. Иванова // Защита населения от повышенного шумового воздействия : сб. докладов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2013. С. 623–630. URL: http://elibrary.ru/download/elibrary_22400014_55480325.pdf
10. **Сковрцов А. Н.** О методе определения коэффициента звукопоглощения различных строительных материалов в малой реверберационной камере // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 2 (66). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/15-02-16.ttb.pdf>

Поступила 17.03.2017; принята к публикации 25.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Савельев Анатолий Петрович, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0361-0827>, igaikinamgu@mail.ru

Сковрцов Александр Николаевич, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2093-1094>, squortsow.sasha@yandex.ru

Еналеева Светлана Анатольевна, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0855-9207>, savelyvasa@gmail.com

Глотов Сергей Викторович, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6965-3953>, squortsow.sasha@yandex.ru

Вклад соавторов: А. П. Савельев: научное руководство, постановка задачи, определение методологии исследования; А. Н. Сковрцов: поиск и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, критический анализ и доработка решения; С. А. Еналеева: поиск и анализ научных источников по теме исследования; С. В. Глотов: критический анализ исследования и доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Skvortsov A. N. The problems of industrial accidents and occupational morbidity in the agroindustrial complex of Russia. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* = Technologies of Technospheric Security. 2016; 1(65):1-7. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/19-01-16.ttb.pdf> (In Russ.)
2. Shkrabak R. V., Posypayeva Yu. A. Analysis of conditions and labor protection of workers at the meat-processing enterprises and the ways of its perfection. *Vestnik KrasGAU* = Krasnoyarsk State Agrarian University Bulletin. 2009; 6:133-136. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-usloviy-i-ohrany-truda-rabotnikov-myasopererabatyvayuschih-predpriyatii-i-puti-ih-uluchsheniya> (In Russ.)



3. Skvortsov A. N. [Analysis of the study of sound sources of livestock objects]. *SCI-ARTICL*. 2014; 5. Available at: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1390682037> (In Russ.)
4. Shishelova T. I., Malygina Yu. S., Dat N. S. [Effect of noise on the human body]. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniya* = Advances in Modern Natural Science. 2009; 8:14-15. Available at: <http://www.rae.ru/use/pdf/2009/8-S/9.pdf> (In Russ.)
5. Frolov A. V., Bakayeva T. N. [Life safety. Labor protection]. Rostov-na-Donu; 2008. Available at: <http://bookre.org/reader?file=1353107&pg=25> (In Russ.)
6. Savelyev A. P., Skvortsov A. N. [Sound-suppressing lightweight acoustic screen]. *Okhrana i ekonomika truda* = Protection and Labor Economics. 2015; 2(19):56-61. Available at: [http://www.vcot.info/upload/doc/№2\(19\)-2015.pdf](http://www.vcot.info/upload/doc/№2(19)-2015.pdf) (In Russ.)
7. Savelyev A. P., Pyanzov S. V. [Acoustic constructions of collective protection against industrial noise]. *Almanakh mirovoy nauki: nauch. zhurnal po materialam mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* = Almanac of the World Science: A Scientific Journal on the Materials of the International Scientific-Practical Conferences. 2015; 2-1(2):142-143. Available at: <http://scjour.ru/docs/amn.2015.02.01.pdf> (In Russ.)
8. Savelyev A. P., Pyatkina S. A. [Substantiation of the optimal working conditions for employees when introducing new food technologies in the dairy industry]. In: *Zashchita naseleniya ot povyshennogo shumovogo vozdeystviya: sbornik dokladov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem* = Protection of the population from increased noise impact: Collection of reports of the Russian scientific-practical conference with international participation. 2011; 411-426. Available at: http://elibrary.ru/download/elibrary_22691651_62378365.pdf (In Russ.)
9. Pyatkina S. A., Tyurin A. P., Savelyev A. P. [Theoretical basis for the calculation of a noise-proof construction with increased sanitary and hygienic properties]. In: *Zashchita naseleniya ot povyshennogo shumovogo vozdeystviya: sbornik dokladov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem* = Protection of the population from increased noise impact: Collection of reports of the Russian scientific-practical conference with international participation. 2013; 623-630. Available at: http://elibrary.ru/download/elibrary_22400014_55480325.pdf (In Russ.)
10. Skvortsov A. N. About a method of determination of acoustical absorption coefficient of different construction materials in the small reverberation camera. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* = Technologies of Technospheric Security. 2016; 2(66). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/15-02-16.ttb.pdf> (In Russ.)

Submitted 17.03.2017; revised 25.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Anatoliy P. Savelyev, Head of Chair of Life Safety, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0361-0827>, igaikinamgu@mail.ru

Aleksandr N. Skvortsov, Senior Lecturer of Chair of Life Safety, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2093-1094>, squortsow.sasha@yandex.ru

Svetlana A. Yenaleyeva, Senior Lecturer of Chair of Life Safety, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0855-9207>, savelyvasa@gmail.com

Sergey V. Glotov, Professor of Chair of Life Safety, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6965-3953>, squortsow.sasha@yandex.ru

Contribution of the co-authors: A. Savelyev: scientific supervision, developing the conceptual framework; A. Skvortsov: searching and analyzing information on the topic, critical analyzing and finalization of the solution; S. Yenaleyeva: reviewing the literature on the topic; S. Glotov: critical analyzing the research and revision of the text.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.



КВАНТОВАЯ СУПЕРПОЗИЦИЯ ДИСКРЕТНОГО СПЕКТРА СОСТОЯНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОЛЕКУЛЫ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ МАЛЫХ ВЫБОРОК БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В. И. Волчихин¹, А. И. Иванов^{2*}, А. В. Сериков³,
Ю. И. Серикова¹

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
(г. Пенза, Россия)

²АО «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт» (г. Пенза, Россия)

³АО «Рубин» (г. Пенза, Россия)

*bio.ivan.penza@mail.ru

Введение. Целью работы является снижение количества ошибок при вычислении коэффициентов корреляции на малых тестовых выборках.

Материалы и методы. Для получения функций плотности распределения значений коэффициентов корреляции на малых выборках были использованы средства имитационного моделирования. Предложен метод квантования данных, позволяющий получить дискретный спектр состояний одного из разновидностей корреляционных функционалов. Данная операция позволяет рассматривать предложенную конструкцию как математическую корреляционную молекулу, описывающуюся некоторым аналогом континуально-квантового уравнения Шредингера.

Результаты исследования. Ранее было показано, что хи-квадрат молекула Пирсона на малых выборках позволяет усилить мощность классического хи-квадрат критерия до 20 раз. Описанная в данной статье математическая корреляционная молекула обладает аналогичными свойствами и в будущем позволит снизить ошибки вычисления классических коэффициентов корреляции на малых выборках.

Обсуждение и заключения. Сделано предположение, что существует бесконечное множество математических молекул, похожих по их свойствам на реальные физические молекулы. Уравнение Шредингера не уникально, и для каждой математической молекулы может быть построен его аналог. Можно ожидать синтеза математических молекул для большого количества уже известных статистических критериев и статистических моментов. Все вышеперечисленное предположительно позволит снизить количество ошибок расчетов, обусловленных квантовыми эффектами, возникающими на малых тестовых выборках.

Ключевые слова: коэффициент корреляции, квантовая суперпозиция, молекула, дискретный спектр состояний, статистический анализ, малая выборка

Для цитирования: Квантовая суперпозиция дискретного спектра состояний математической молекулы корреляции для малых выборок биометрических данных / В. И. Волчихин [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 224–238. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.224-238



QUANTUM SUPERPOSITION OF THE DISCRETE SPECTRUM OF MATHEMATICAL CORRELATION MOLECULE STATUS FOR SMALL SAMPLES OF BIOMETRIC DATA

V. I. Volchikhin^a, A. I. Ivanov^{b*}, A. V. Serikov^c,
Yu. I. Serikova^a

^a*Penza State University (Penza, Russia)*

^b*Penza Electrotechnical Research Institute (Penza, Russia)*

^c*Joint-Stock Company Rubin (Penza, Russia)*

**bio.ivan.penza@mail.ru*

Introduction. The study promotes to decrease a number of errors of calculating the correlation coefficient in small test samples.

Materials and Methods. We used simulation tool for the distribution functions of the density values of the correlation coefficient in small samples. A method for quantization of the data, allows obtaining a discrete spectrum states of one of the varieties of correlation functional. This allows us to consider the proposed structure as a mathematical correlation molecule, described by some analogue continuous-quantum Schrödinger equation.

Results. The chi-squared Pearson's molecule on small samples allows enhancing power of classical chi-squared test to 20 times. A mathematical correlation molecule described in the article has similar properties. It allows in the future reducing calculation errors of the classical correlation coefficients in small samples.

Discussion and Conclusions. The authors suggest that there are infinitely many mathematical molecules are similar in their properties to the actual physical molecules. Schrödinger equations are not unique, their analogues can be constructed for each mathematical molecule. You can expect a mathematical synthesis of molecules for a large number of known statistical tests and statistical moments. All this should make it possible to reduce calculation errors due to quantum effects that occur in small test samples.

Keywords: correlation coefficient, quantum superposition, molecule, discrete spectrum states, statistical analysis of small samples

For citation: Volchikhin V. I., Ivanov A. I., Serikov A. V., Serikova Yu. I. Quantum superposition of the state discrete spectrum of mathematical correlation molecule for small samples of biometric data. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 2(27):224-238. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.224-238

Введение

При проведении экспериментальных исследований далеко не всегда удается получить достаточный объем информации. Например, изучение биологических данных, сопутствующих редким заболеваниям, не может быть обоснова-

но в рамках существующих статистических методик. В частности, применение стандартизированной методики проверки статистических гипотез по критерию хи-квадрат¹ строится на выборках, состоящих из ≥ 400 опытов. Существуют иные статистические критерии²,

¹ ГОСТ Р 50.1.037-2001. Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим : ч. I. Критерии типа χ^2 . М., 2001. 140 с. URL: http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/541018/prikladnaya_statistika_pravila_proverki_soglasiya_opytnogo_raspredeleniya.pdf

² ГОСТ Р 50.1.037-2002. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим : ч. II. Непараметрические критерии. М., 2002. 123 с. URL: https://znaytovar.ru/gost/2/R_5010372002_Prikladnaya_stati.html

менее требовательные к объему тестовой выборки, однако они имеют недостаточно высокую мощность на малых выборках.

Когда речь идет о биологах, изучающих редких животных, или ботаниках, изучающих редкие растения, научная общественность смирилась (де-факто) с отсутствием достаточных объемов статистики по объективным причинам. Для медиков проблема сбора достаточных статистических данных по редким заболеваниям стоит значительно более остро, особенно когда речь идет о редких инфекционных заболеваниях и тестировании новых лекарств.

Еще одной наукой, сталкивающейся с проблемами малых выборок, является биометрия. В период с 1901 г. до конца XX в. статистический журнал «*Biometrika*» (Оксфорд) играл ведущую роль в освещении материала по проблемам малых выборок. В XXI в. биометрия продолжает занимать лидирующее положение по обучению и тестированию преобразователей «Биометрия – код доступа» на малых выборках. При этом объем затрачиваемых средств на биометрию и значимость решаемых биометрией задач ежегодно увеличивается. В США биометрические технологии регулируются ~ 100 национальными стандартами и приблизительно таким же числом международных стандартов. В Российской Федерации было введено 7 национальных биометрических стандартов и адаптировано около 50 международных.

В данной статье отражены последние тенденции развития обработки многомерных биометрических данных, связанные со стремлением решить проблему малых выборок за счет

перехода к программной поддержке квантовой суперпозиции при вычислении коэффициентов корреляции.

Обзор литературы

Проблемам малых выборок (обучающих и/или тестовых) в биометрии уделяется значительное внимание в связи с тем, что эти показатели напрямую связаны с эффективностью работы биометрической системы. В США, Канаде, Евросоюзе защита и преобразование биометрических данных осуществляется т. н. «нечеткими экстракторами» [1–3], которые по своим параметрам значительно уступают искусственным нейронным сетям [4]. Применение нейросетевых преобразователей биометрии в код доступа, а также тестирование качества работы нейросетевых преобразователей регламентируются стандартами^{3,4}.

Последний стандарт уникален тем, что он построен на использовании эффектов квантовой суперпозиции при анализе выходных данных искусственной нейронной сети. Именно по этой причине для оценки вероятности ошибок второго рода на уровне 0.000 000 1 стандарт рекомендует использовать всего 32 примера разных биометрических образов «Чужой». Из-за применения новых вычислительных технологий вместо проведения 1 000 000 тестовых опытов достаточно применить всего 32. Мы наблюдаем огромное сокращение объема тестовой выборки и, соответственно, трудозатрат на тестирование из-за отказа от простого статистического перебора в пользу перехода к использованию квантового оракула, предсказывающего вероятности событий по малой выборке.

Следует подчеркнуть, что первоначально квантовая математика разрабатывалась с другой целью. В 1980 г.

³ ГОСТ Р 52633-2006. URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/456>

⁴ ГОСТ Р 52633.3-2011. Защита информации. Техника защиты информации. Тестирование стойкости средств высоконадежной биометрической защиты к атакам подбора. URL: <http://vsegost.com/Catalog/52/2633.shtml>



Ю. И. Манин⁵ первым осознал возможности квантовых вычислительных машин, занимаясь теорией струн. Приблизительно на 50 лет раньше физики столкнулись с тем, что планетарная модель атома «не работает». Бору пришлось вводить гипотезу поглощения и излучения энергии квантами. Позднее задача была формализована в виде уравнения Шредингера, имеющего квантово-волновые решения. Развитие физики и математики привело к тому, что оба направления исследований практически объединились в рамках теории струн⁶. Фотоны, кварки, фермионы, бозоны, струны на микроуровне (при Платковских длинах) и суперструны на галактическом макроуровне являются квантовым свойством континуума пространства-времени. Многомерные физически существующие пространственно-временные континуумы всегда каким-то образом самоквантуются (сами себя квантуют). Подобные эффекты несомненно могут быть использованы при создании квантовых вычислителей [5] в парадигме Манина-Шредингера или квантово-механических вычислителей.

Ожидаемые огромные скорости вычисления перспективных квантовых компьютеров породили создание ряда важнейших вычислительных алгоритмов, объединение которых позволяет говорить о появлении нового раздела математики – квантовой математики. Важнейшим свойством новой математики является возможность описания связи квантовой энтропии, квантовой суперпозиции и квантовой сцепленности⁷⁻⁸ [6–7] в рамках квантовой информатики.

Непротиворечивое объединение нескольких базовых математических конструкций открыло новые возможности. Когда создавалась квантовая математика, не было другого пути, кроме использования волновых решений уравнения Шредингера и проверки на них новых математических соотношений. После того как элементы квантовой математики были созданы и проверены, использование хорошо изученного уравнения Шредингера стало не обязательным. Объекты, точно соответствующие уравнению Шредингера, очень трудно смоделировать на обычной вычислительной машине⁸, однако существует множество других уравнений, похожих по создаваемым эффектам.

Одним из аналогов уравнения Шредингера является классический хи-квадрат критерий. Это становится очевидным, если применять его для малых выборок, противоречия рекомендациям по стандартизации. Плотность распределения получаемых значений хи-квадрат критерия по мере снижения размеров тестовой выборки становится периодической. Однако если дополнительно выполнить условия синхронизации данных (привязать выбор положения столбцов гистограммы к математическому ожиданию выборки), то положение линий спектра состояний становился таким же стабильным, как положение спектральных линий у молекулы водорода. Таким образом, допустимо рассматривать хи-квадрат критерий как некоторую математическую молекулу [8–11], порождающую стабильный спектр

⁵ Манин Ю. И. Вычислимое и невычислимое. Кибернетика. М. : Сов. радио, 1980. 128 с. URL: http://publ.lib.ru/ARCHIVES/M/MANIN_Yuriy_Ivanovich/_Manin_Yu.I..html#h

⁶ Кобзарев И. Ю., Манин Ю. И. Элементарные частицы: диалоги физика и математика. М. : Фазис. 1997.

⁷ Холево А. С. Введение в квантовую теорию информации. М. : МЦНМО. 2002. 128 с. URL: http://imash.ru/netcat_files/file/BIBLIO/Vtechnika/Холево%20А_С_%20-%20Введение%20в%20квантовую%20теорию%20информации%20-%202002.pdf

⁸ Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация : монография. М. : Мир, 2006. 821 с.

выходных дискретных состояний при квантовании гистограммой некоторого внутреннего континуума непрерывных состояний.

Принципиальное преимущество в данном случае заключается в том, что состояния хи-квадрат молекулы, в отличие от уравнения Шредингера, моделируется всего несколькими строками программного кода. Это означает, что возможно организовать программный квантовый вычислитель, поддерживающий квантовую суперпозицию и квантовую запутанность, соответствующие хи-квадрат молекуле. За счет этого мы можем попытаться значительно усилить мощность хи-квадрат критерия на малых тестовых выборках. Уже созданный вариант такого программного усилителя позволяет за счет учета квантовых эффектов повысить мощность хи-квадрат критерия в 20 раз [11], то есть модифицированный хи-квадрат критерий на выборке из 20 опытов дает такие же вероятности ошибок, как стандартный хи-квадрат при 400 опытах. Предположительно усложнение программы из нескольких строк на языке программирования высокого уровня до нескольких тысяч строк позволит существенно повысить коэффициент усиления мощности критерия [10–11].

Следует отметить, что на молекуле хи-квадрат можно сгенерировать только специализированный вычислитель, усиливающий хи-квадрат критерий. Однако по аналогии с хи-квадрат молекулой возможно построение похожих на нее математических конструкций: эксцесс-молекулы, молекулы асимметрии, молекулы воды и т. д. В рамках данной статьи показывается возможность синтеза математической корреляционной молекулы. Все математические молекулы статистических

моментов и критериев остаются узко специализированными вычислителями, поддерживающими эффекты квантовой суперпозиции только для одного статистического функционала на выборке фиксированного объема. Для каждого объема выборки статистические молекулы следует перестраивать (перепрограммировать), поскольку изменяется их спектр.

Для того чтобы сделать универсальный квантовый компьютер с целью решения произвольной задачи, необходимо уметь создавать квантовое обобщение частных квантовых вычислителей. Для этого применяются искусственные нейронные сети⁹ и естественные нейронные сети [12].

Идея использования искусственных нейронных сетей для распознавания образов спектра разных математических молекул самоочевидна. Хи-квадрат молекула с внутренним континуумом нормальных состояний и хи-квадрат молекула с внутренним равновероятным континуумом состояний имеют разные спектры [10–11]. Достаточно научить одну нейронную сеть распознавать нормальный спектр, а другую нейронную сеть – распознавать спектр молекулы с равномерным внутренним континуумом. Эти две заранее обученные нейронные сети позволяют классифицировать спектры любой другой наблюдаемой хи-квадрат молекулы. Каждая нейронная сеть будет решать только свою задачу, оценивая, насколько близок предъявленный спектр тому, чему ее заранее научили.

Отклики двух искусственных нейронных сетей позволяют найти состояние предъявленного к распознаванию образа до первого базового образа (нормальный спектр) и до второго базового образа (равномерный спектр). Таким образом, вычисляется некото-

⁹ **Иванов А. И.** Многомерная нейросетевая обработка биометрических данных с программным воспроизведением эффектов квантовой суперпозиции. Пенза : ПНИЭИ, 2016. 133 с. URL: <http://пниэи.рф/activity/science/BOOK16.pdf>.



рая нейросетевая метрика расстояний до двух уже известных спектров базовых образов, например, в пространстве расстояний Хэмминга⁹.

Следует отметить, что задача обучения искусственных нейронных сетей в XX в. и в начале XXI в. рассматривалась как нетривиальная. Формально это положение сохранялось до принятия ГОСТ Р 52633.5-2011¹⁰, завершившего 60-летний период эвристического создания множества алгоритмов обучения искусственных нейронных сетей. Алгоритмы, созданные по данной методике, оказались непригодны для быстрого, полностью автоматического обучения больших искусственных нейронных сетей, имеющих несколько сотен входов и 256¹¹ выходов. Абсолютное большинство созданных ранее алгоритмов обучения являются итерационными и потому не могут быть полностью автоматизированы. Кроме того, практически все старые алгоритмы обучения имеют экспонен-

циальную вычислительную сложность и, следовательно, непригодны для больших искусственных нейронных сетей.

Алгоритм обучения, принятый в ГОСТ Р 52633.5-2011, построен на создании случайных связей всех входов нейронной сети в целом и входов каждого из нейронов. Для каждого нейрона задается таблица связей путем обращения к программному генератору псевдослучайных целых чисел. Далее производится вычисление весового коэффициента каждого из входов k -го нейрона, исходя из знания математического ожидания входного биометрического параметра $E(v_i)$, его стандартного отклонения $s(v_i)$, а также знания о требуемом значении отклика нейрона « c_k »¹² на примере образа «Свой». Формально весовой коэффициент каждого из сети нейронов по данному стандартизованному алгоритму является функцией двух непрерывных переменных и одной дискретной переменной:

$$\mu_{j,k}(E(v_i), \sigma(v_i), "c_k") \text{ при } \begin{cases} 0 \leq j \leq 32, \\ 1 \leq i \leq 416; 2048, \\ 0 \leq k \leq 255, \end{cases} \quad (1)$$

где j – номер входа сумматора нейрона; j – номер входа нейронной сети, не превышающие 416 для среды моделирования «БиоНейроАвтограф»¹³ и 2 048 для рисунка радужной оболочки глаза [3]; переменные индексы j и i связаны

между собой заранее заданной таблицей связей $T_k(i, j)$; k – номер нейрона в сети.

Такой алгоритм обучения является абсолютно устойчивым (легко автоматизируется), а его вычислитель-

¹⁰ ГОСТ Р 52633.5-2011. Защита информации. Техника защиты информации. Автоматическое обучение нейросетевых преобразователей «Биометрия – код доступа» URL: <http://vsepost.com/Catalog/51/51407.shtml>

¹¹ 256 бит – это длина ключа отечественных криптографических стандартов шифрования и формирования цифровой подписи, а также максимально допустимая длина пароля доступа в семействе ОС Windows

¹² С целью избегания путаницы дискретные переменные записывались в кавычках (« c_k »), как это принято при программировании, а непрерывные переменные – без них.

¹³ Иванов А. И., Захаров О. С. Среда моделирования «БиоНейроАвтограф». URL: <http://пни-и.рф/activity/science/noc.htm>

ная сложность становится линейной, т. е. он может быть реализован даже на слабых процессорах мобильных устройств. Несмотря на то, что создание алгоритма обучения ГОСТ Р 52633.5-2011 является итогом почти 60-летних усилий большого количества исследователей, он далеко не идеален. Разработчики биометрических приложений стремятся, с одной стороны, уменьшить размеры обучающей выборки, а с другой стороны – повысить качество решений, принимаемых нейронной сетью. В связи с этим в РФ и Казахстане были инициированы исследования по созданию абсолютно устойчивых алгоритмов обучения больших искусственных нейронных сетей с квадратичной вычислительной сложностью¹⁴ [13–19].

Формальная запись алгоритма для перспективного стандарта усложняется незначительно. Перспективный стандарт должен вычислять весовые коэффициенты каждого нейрона по более сложной формуле, дополнительно принимая во внимание коэффициенты корреляции контролируемых нейронном биометрических параметров:

$$\mu_{j,k}(E(v_i), \sigma(v_i), r(v_i, v_m), ("c_k")), \quad (2)$$

где m – номер биометрического параметра, по отношению к которому вычисляется корреляция, данный номер должен определяться при обучении и храниться в таблице связей $T_k(i, j, m)$.

Проблема перехода от алгоритмов по ГОСТ Р 52633.5(1) к перспективным алгоритмам обучения квадратичной сложности по формуле (2) сводится к повышению точности вычисления коэффициентов корреляции на малых выборках:

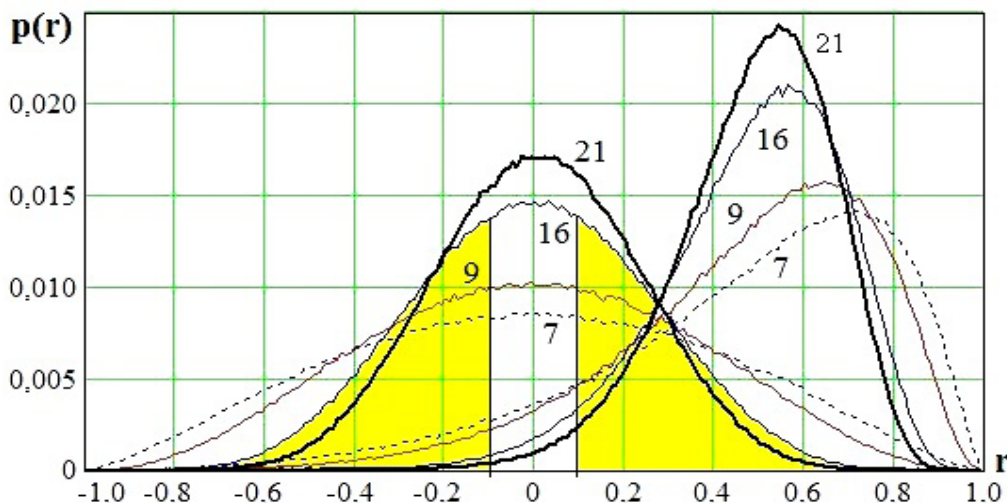
$$r(v_i, v_m) = \frac{1}{n} \sum_{d=1}^n \frac{(E(v_i) - v_{i,d}) \cdot (E(v_m) - v_{m,d})}{\sigma(v_i) \cdot \sigma(v_m)}. \quad (3)$$

При вычислении коэффициента корреляции происходит накопление влияния ошибок математических ожиданий $\Delta E(v_i)$, $\Delta E(v_m)$ и двух стандартных отклонений $\Delta \sigma(v_i)$, $\Delta \sigma(v_m)$, которые, в свою очередь, зависят от ошибок вычисления математических ожиданий $\Delta \sigma(v_i, \Delta E(v_i))$, $\Delta \sigma(v_m, \Delta E(v_m))$.

Таким образом, невозможно точно вычислить коэффициент корреляции на малых выборках. На рис. 1 показано распределение значений коэффициентов корреляции, вычисленных на выборках разного объема.

Из рис. 1 видно, что при выборке из 16 примеров оценка значений независимых данных соответствует коэффициенту корреляции в интервале от $-0,7$ до $+0,7$. Если ограничиться значениями, попадающими в интервал от $-0,1$ до $+0,1$, то необходимо пропустить порядка 80 % слабо коррелированных параметров. При росте объемов выборки задача вычисления коэффициентов корреляции становится менее сложной, однако невозможно получить большие выборки при обучении преобразователей «Биометрия – код доступа». Пользователи легко идут на предоставление малого количества примеров биометрического образа «Свой». Если требовать от них предъявить большее количество (≤ 21), то пользователи начинают ощущать дискомфорт, рассматривая рост количества примеров в обучающей выборке как ощутимое снижение эргономических качеств их личного средства биометрической аутентификации.

¹⁴ **Ахметов Б. Б., Иванов А. И.** Многомерные статистики существенно зависимых биометрических данных, порождаемые нейросетевыми эмуляторами квадратичных форм : монография. Алматы : LEM, 2016. 86 с.



Р и с. 1. Распределение значений коэффициентов корреляции для выборок из n примеров ($n = 7, 9, 16, 21$) при двух значениях коэффициентов корреляции: $r = 0$; $r = 0,5$

Fig. 1. Distributions of values of correlation coefficients for samples from $n = 7, 9, 16, 21$ examples with two values of correlation coefficients $r = 0$ and $r = 0,5$

Методы и материалы

Известно, что центрированные и нормированные независимые данные попадают в круг рассеивания с заданной вероятностью¹⁵. При этом для большого количества опытов (N) вероятности попадания в каждую из четвертей круга будут одинаковы:

$$\begin{aligned} P_1 &\approx \frac{n_1}{N} \approx P_2 \approx \frac{n_2}{N} \approx \\ &\approx P_3 \approx \frac{n_3}{N} \approx P_4 \approx \frac{n_4}{N}, \end{aligned} \quad (4)$$

где n_1, n_2, n_3, n_4 – количество попаданий в первую, вторую, третью и четвертую четверти круга соответственно.

В случае, если данные коррелированы, то соотношение между вероятностями попадания в разные фрагменты эллипса рассеивания изменяется:

$$\begin{aligned} P_1 &\approx \frac{n_1}{N} \approx P_3 \approx \frac{n_2}{N} > \\ &> P_2 \approx \frac{n_2}{N} \approx P_4 \approx \frac{n_4}{N}. \end{aligned} \quad (5)$$

Данная ситуация отражена на рис. 2.

Для коррелированных данных вероятности попадания в эллиптические сектора (рис. 2) пропорциональны малому и большому диаметрам эллипса:

$$\frac{d}{D} = \frac{P_2 + P_4}{P_1 + P_3} \approx \frac{n_2 + n_4}{n_1 + n_3}. \quad (6)$$

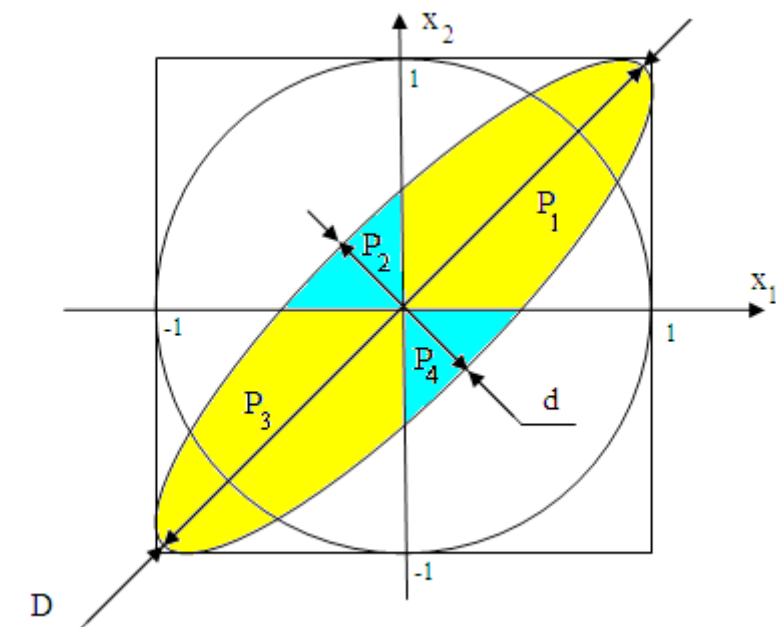
Подставляя соотношение (6) в известную формулу вычисления коэффициента корреляции¹⁵:

$$r(x_1, x_2) = \frac{D - d}{D + d}, \quad (7)$$

получим формулу для вычисления дискретных значений конечного спектра коэффициентов корреляции:

$$\begin{aligned} r(x_1, x_2) &= \frac{P_1 + P_3 - P_2 - P_4}{P_1 + P_3 + P_2 + P_4} \approx \\ &\approx \frac{n_1 + n_3 - n_2 - n_4}{n_1 + n_3 + n_2 + n_4}. \end{aligned} \quad (8)$$

¹⁵ Абезгауз Г. Г. Справочник по вероятностным расчетам. М. : Воениздат, 1970. 536 с.
Physics and mathematics



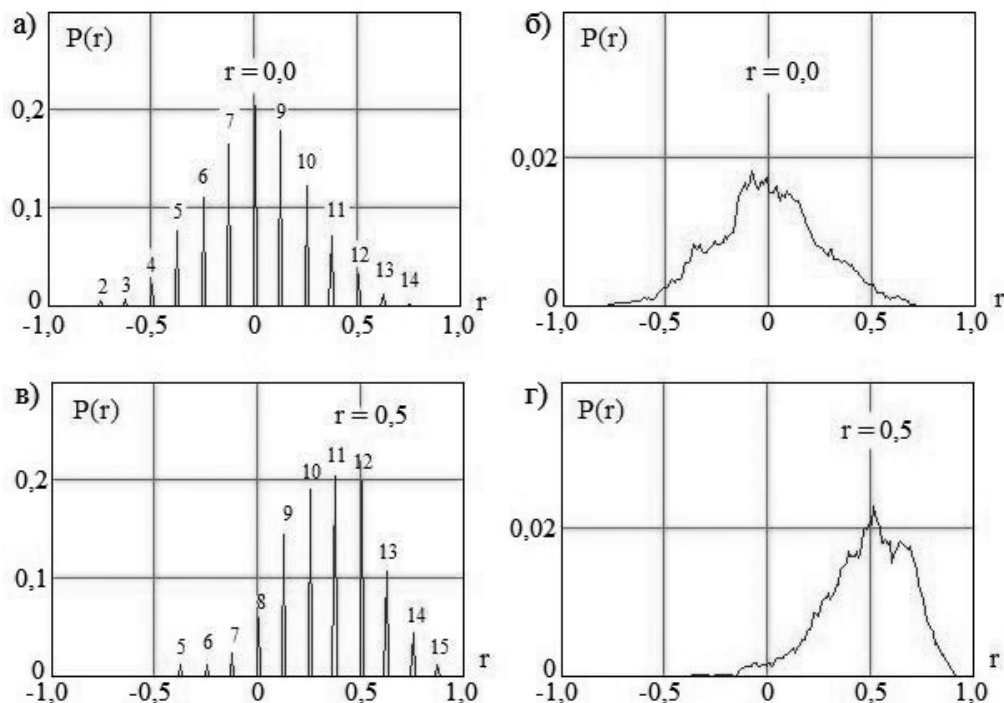
Р и с. 2. Описание центрированных и нормированных площадей рассеивания нормальных данных (независимые данные – круг; зависимые данные – эллипс)

F i g. 2. Description of centered and normalized areas of dispersion of normal data (independent data – circle and dependent data – ellipse)

Таким образом, эллипс распределения зависимых данных является двумерным континуумом корреляционной молекулы, а оси нормированной и центрированной системы координат играют роль двух квантователей, делящих площадь эллипса на четыре части. Получается достаточно простая и понятная математическая конструкция, преобразующая внутренний (не наблюдаемый) двумерный континуум в конечный спектр дискретных выходных состояний. Другими словами, была получена искомая корреляционная молекула, аналогичная хи-квадрат математической молекуле [9–11] или молекуле водорода, состояния которой описываются уравнением Шредингера.

Результаты исследования

Очевидно, что выражение (8) легко может быть воспроизведено программно; более того, два независимых программных генератора псевдослучайных чисел могут быть сцеплены между собой с любым уровнем коррелированности. Далее можно поддерживать как угодно долго работу такого программного генератора, наблюдая на выходе квантовую суперпозицию 15-и дискретных состояний. На рис. 3 приведены два дискретных выходных спектра состояний корреляционной молекулы и распределение значений ее внутреннего континуального состояния обычных коэффициентов корреляции.



Р и с. 3. Примеры дискретного и непрерывного спектров корреляционной молекулы для двух состояний коррелированности внутреннего программного эмулятора двумерного континуума

Fig. 3. Examples of discrete and continuous spectra of the correlation molecule for two states of correlation of the internal software emulator of a two-dimensional continuum

Из рис. 3 видно, что дискретный спектр выходных состояний корреляционной молекулы для выборок из 16 примеров может иметь до 15 спектральных линий, расположенных по отношению к соседям на расстоянии $\Delta r = 0,125$. Это позволяет описывать корреляционную молекулу 15-ю членами квантовой суперпозиции:

$$|\psi\rangle = \sum_{i=1}^{15} \sqrt{P(r = -1 + 0.125 \cdot i)} \cdot |bin(i)\rangle, \quad (9)$$

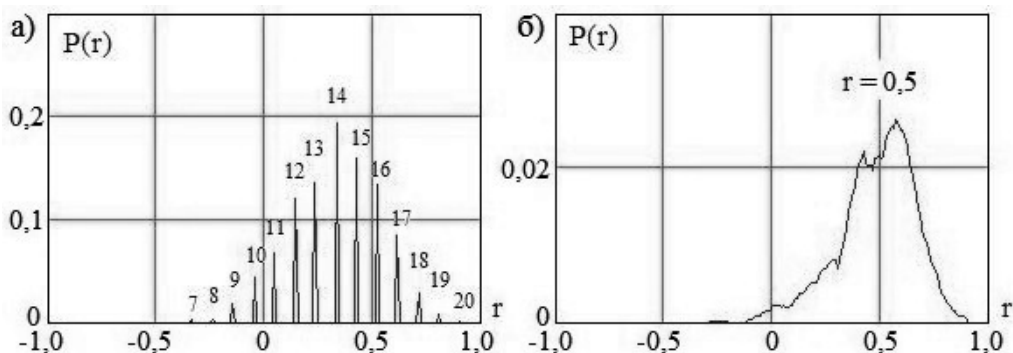
где $|bin(i)\rangle$ – бинарная запись индекса в скобках Дирака длиной в 4 кубита.

Следует обратить внимание на отсутствие в квантовой суперпозиции (9) нулевого члена $P(r = -1)$ и последнего

16-го члена $P(r = 1)$ в силу того, что они полностью детерминированы (бесполезны при расчете квантовой сцепленности разрядов 4-кубитного квантового вычислителя).

С помощью индуктивного метода можно показать, что для выборок в 32 опыта количество спектральных линий удвоится, а расстояние между ними уменьшится в два раза до $\Delta r = 0,0625$.

Каждой выборке соответствует определенное количество спектральных составляющих и свое расстояние между ними. На рис. 4 показан дискретный спектр состояний корреляционной молекулы для выборки из 21 примера.



Р и с. 4. Дискретный спектр выходных состояний корреляционной молекулы и его непрерывный аналог для выборки, содержащей 21 пример

F i g. 4 Discrete spectrum of the output states of the correlation molecule and its continuous analog for a sample containing 21 examples

Сравнив рис. 3, в–г с рис. 4, нетрудно убедиться в их подобии. Именно на этом подобии может быть построен циклический континуально-квантовый усилитель мощности корреляционного функционала. Подробнее о принципах создания циклических континуально-квантовых усилителей мощности статистических функционалов можно прочесть в работах [10–11], где подсчитано количество циклов под усилитель хи-квадрат критерия для выборки в 21 пример.

Обсуждение и заключения

Попытки описания конструкций перспективных квантовых компьютеров в квантово-механической парадигме Манина-Шредингера сыграли важную роль в создании новой математической теории, однако в прикладном отношении данная парадигма не вносит существенных изменений. Главным препятствием выступает синхронизация квантово-механических «котов Шредингера». Однако данная проблема исчезает, если отказаться от попыток аппаратной реализации уравнений математической физики, построенных под объект микромира – молекулу водорода. Могут быть использованы куда более простые континуально-квантовые программные уравнения математической хи-квадрат

молекулы или математической корреляционной молекулы.

При этом не имеет значения, что формального аналитического описания для континуально-квантовых уравнений, построенных для хи-квадрат молекулы и для корреляционной молекулы, не существует. Для прикладной математики аналитические формализации уравнений и их аналитические решения не нужны. Как показано в данной статье, их квантовая суперпозиция содержит от 15 до 20 значимых компонент. Отметим, что их численное моделирование возможно осуществить на обычном компьютере.

Квантовая суперпозиция и квантовая запутанность для корреляционной математической молекулы могут быть представлены не более чем 20-ю описывающими функциям. Данные функции должны совместно использоваться циклическим континуально-квантовым усилителем мощности корреляционного функционала. Объем кода, реализующий такой усилитель, в настоящее время не определен. Однако есть основания полагать, что объем кодов программного усилителя мощности хи-квадрат критерия (хи-квадрат молекулы) и объем кодов усилителя мощности корреляционного функционала



будут сопоставимы. Объем программной реализации квантово-спектрального усилителя мощности корреляционных функционалов предположительно

составит до 20 тыс. строк программы на языке высокого уровня. Эта задача не представляет трудностей для группы программистов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Cryptographic key generation from voice / F. Monroe [et al.] // Proc. IEEE Symp. on Security and Privacy. 2001. P. 202–213. URL: <https://www.cs.unc.edu/~reiter/papers/2001/SP2.pdf>
2. **Ramírez-Ruiz J., Pfeiffer C., Nolazco-Flores J.** Cryptographic keys generation using finger codes // Advances in Artificial Intelligence – IBERAMIA-SBIA 2006 (LNCS 4140). 2006. P. 178–187. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2110882>
3. **Hao F., Anderson R., Daugman J.** Crypto with biometrics effectively // IEEE Transactions on Computers. 2006. Vol. 55, no. 9. P. 1073–1074. URL: http://www.cse.msu.edu/~rossarun/BiometricsTextBook/Papers/Security/Hao_IrisBioCrypt_IEEEComputers06.pdf
4. **Иванов А. И.** Нечеткие экстракторы: проблема использования в биометрии и криптографии // Первая миля. 2015. № 1. С. 40–47. URL: <http://www.lastmile.su/journal/article/4489>
5. **Manin Yu. I.** Classical computing, quantum computing, and Shor's factoring algorithm // Séminaire Bourbaki. 2000. Vol. 1998/99, no. 862. P. 375–404. URL: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9903008>
6. **Холево А. С.** Классическая и квантовая энтропии как меры информации // Тр. Междунар. науч. конф. «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i» (г. Москва, 14–16 ноября 2011). Москва-Протвино : Изд-во ИФТИ, 2011, С. 1–5.
7. **Холево А. С.** Гауссовские классически-квантовые каналы: выигрыш от использования сцепленности // Проблемы передачи информации. 2014. Т. 50, вып. 1. С. 3–17. URL: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ppi&paperid=2129&option_lang=rus
8. The family of chi-square molecules pearson / B. B. Akhmetov [et al.] // Software-Continuum Quantum Accelerators of High-Dimensional Calculations 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2015). Busan. URL: <http://toc.proceedings.com/28596webtoc.pdf>
9. Дискретный характер закона распределения хи-квадрат критерия для малых тестовых выборок / Б. Б. Ахметов [и др.] // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2015. № 1. С. 17–25. URL: http://nauka-nanrk.kz/ru/assets/журнал%202015%201/Вестник_01_2015.pdf
10. Циклические континуально-квантовые вычисления: усиление мощности хи-квадрат критерия на малых выборках / В. П. Кулагин [и др.] // Аналитика. 2016. Т. 30, № 5. С. 22–29. URL: <http://www.j-analytics.ru/journal/article/5679>
11. Перспективы создания циклической континуально-квантовой хи-квадрат машины для проверки статистических гипотез на малых выборках биометрических данных и данных иной природы / В. И. Волчихин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2017. № 1. С. 3–7. URL: http://izvuz_tn.pnzgu.ru/tn117
12. **Manin Yu. I.** Neural codes and homotopy types: mathematical models of place field recognition // Moscow Mathematical Journal. 2015. Vol. 15, no. 4. P. 741–748. URL: <http://www.mathjournals.org/mmj/2015-015-004>
13. Многомерный статистический анализ биометрических данных сетью частных критериев Пирсона / Б. Б. Ахметов [и др.] // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2015. № 1. С. 5–11. URL: http://nauka-nanrk.kz/ru/assets/журнал%202015%201/Вестник_01_2015.pdf
14. **Волчихин В. И., Ахметов Б. Б., Иванов А. И.** Быстрый алгоритм симметризации корреляционных связей биометрических данных высокой размерности // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2016. № 1. С. 3–7. URL: http://izvuz_tn.pnzgu.ru/tn116
15. Фрактально-корреляционный функционал, используемый при поиске пар слабо зависимых биометрических данных в малых выборках / В. И. Волчихин [и др.] // Вестник высших

учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2016. № 4. С. 25–31. URL: http://izvuz_tn.pnzgu.ru/tn3416

16. Кулагин В. П., Иванов А. И., Серикова Ю. И. Корректировка методических и случайных составляющих погрешностей вычисления коэффициентов корреляции, возникающих на малых выборках биометрических данных // Информационные технологии. 2016. Т. 22, № 9. С. 705–710. URL: <http://novtex.ru/IT/it2016/number09.html>

17. Иванов А. И., Серикова Ю. И. Номограммы оценки погрешности, коэффициентов корреляции, вычисленных на малых выборках биометрических данных // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 2. С. 123–130.

18. Иванов А. И., Ложников П. С., Качайкин Е. И. Идентификация подлинности рукописных автографов сетями Байеса-Хэмминга и сетями квадратичных форм // Вопросы защиты информации. 2015. № 2. С. 28–34.

19. Биометрическая идентификация рукописных образов с использованием корреляционного аналога правила Байеса / А. И. Иванов [и др.] // Вопросы защиты информации. 2015. № 3. С. 48–54.

Поступила 02.03.2017; принята к публикации 05.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Волчихин Владимир Иванович, президент ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (440000, Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), доктор технических наук, профессор, vvi@pnzgu.ru

Иванов Александр Иванович, начальник лаборатории биометрических и нейросетевых технологий, АО «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт» (440026, Россия, г. Пенза, ул. Советская, д. 9), доктор технических наук, доцент, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3854-2660>, ivan@pniei.penza.ru

Сериков Андрей Васильевич, начальник отделения АО «Рубин» (440000, Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, д. 2), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6870-3349>, aosv68@bk.ru

Серикова Юлия Игоревна, магистрантка 2-го года обучения кафедры математической обработки и ПЭВМ, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (440000, Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4959-321X>, julia-ska@yandex.r

Вклад соавторов: В. И. Волчихин: научное руководство, модернизация квантово-механической парадигмы; А. И. Иванов: формализация требований к многомерным биометрическим данным, формализация требований к объемам тестовых выборок; А. В. Сериков: синтез механизма квантования двухмерного континуума внутренних состояний корреляционной молекулы; Ю. И. Серикова: программная реализация, вычисление положения и амплитуды спектральных линий.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Monroes F., Reiter M. K., Li Q., Wetzel S. Cryptographic key generation from voice. In: Proc. IEEE Symp. on Security and Privacy. 2001. p. 202-213. Available at: <https://www.cs.unc.edu/~reiter/papers/2001/SP2.pdf>

2. Ramírez-Ruiz J., Pfeiffer C., Nolasco-Flores J. Cryptographic keys generation using FingerCodes. In: Advances in Artificial Intelligence – IBERAMIA-SBIA 2006 (LNCS 4140). 2006; 178-187. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2110882>

3. Hao F., Anderson R., Daugman J. Crypto with biometrics effectively. IEEE Transactions on Computers. 2006; 9(55):1073-1074. Available at: http://www.cse.msu.edu/~rossarun/BiometricsTextBook/Papers/Security/Hao_IrisBioCrypt_IEEEComputers06.pdf

4. Ivanov A. I. [Fuzzy extractors: A problem of use in biometrics and cryptography]. *Pervaya milya* = First mile. 2015; 1:40-47. Available at: <http://www.lastmile.su/journal/article/4489> (In Russ.)



5. Manin Yu. I. Classical computing, quantum computing, and Shor's factoring algorithm. *Séminaire Bourbaki*. 2000; 862:375-404. Available at: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9903008>
6. Kholevo A. S. [Classical and quantum entropies as measures of information]. In: *Trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Situatsionnyye tsentry i informatsionno-analiticheskiye sistemy klassa 4i"* [Situational centers and information-analytical systems of 4i class: Proceedings]. Moscow: IFTI Publ; 2011; 1-5.
7. Kholevo A. S. On the gain of entanglement assistance in the classical capacity of quantum gaussian channels. *Problemy peredachi informatsii* = Problems of Information Transfer. 2014; 1(50):3-17. Available at: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ppi&paperid=2129&option_lang=rus (In Russ.)
8. Akhmetov B., Ivanov A., Gilmudtinov A., Bezyayev A., Funtikova Yu. The family of chi-square molecules pearson. In: *Software-Continuum Quantum Accelerators of High-Dimensional Calculations 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2015)*. Pusan; 2015; 1337-1341. Available at: <http://toc.proceedings.com/28596webtoc.pdf>
9. Akhmetov B. B., Ivanov A. I., Serikova N. I., Funtikova Yu. V. Discrete character of the law of chi-square distribution criterion for small test selections of values. *Vestnik Natsionalnoy akademii nauk Respubliki Kazakhstan* = The Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2015; 1:17-25. Available at: http://nauka-nanrk.kz/ru/assets/журнал%202015%201/Вестник_01_2015.pdf (In Russ.)
10. Kulagin V., Ivanov A., Gazin A., Akhmetov B. [Cyclic continuum-quantum computing: Strengthening the chi-square power of a criterion on small samples]. *Analitika* = Analytics. 2016; 5(30):22-29. Available at: <http://www.j-analytics.ru/journal/article/5679> (In Russ.)
11. Volchikhin V. I., Ivanov A. I., Pashchenko D. V., Akhmetov B. B., Vyatchanin S. Ye. [Prospect of creating a cyclic continual-quantum chi-square machine for testing statistical hypotheses on small test samples of biometric data and data of a different nature]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskiye nauki* = Higher Education Bulletin. Volga region. Technical science. 2017; 1:3-7. Available at: http://izvuz_tn.pnzgu.ru/tn117 (In Russ.)
12. Manin Yu. I. Neural codes and homotopy types: mathematical models of place field recognition. *Moskovskiy matematicheskiy zhurnal* = Moscow Mathematical Journal. 2015; 4(15):741-748 Available at: <http://www.mathjournals.org/mmj/2015-015-004> (In Russ.)
13. Akhmetov B. B., Ivanov A. I., Bezyayev A. V., Funtikova Yu. V. Multidimensional statistical analysis of biometric data by network of private Pearson's criteria. *Vestnik Natsionalnoy akademii nauk Respubliki Kazakhstan* = The Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2015; 1:5-11. Available at: http://nauka-nanrk.kz/ru/assets/журнал%202015%201/Вестник_01_2015.pdf (In Russ.)
14. Volchikhin V. I., Akhmetov B. B., Ivanov A. I. [A fast symmetrization algorithm for correlations of biometric data of high dimension]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskiye nauki* = Higher Education Bulletin. Volga region. Technical science. 2016. 1:3-7 Available at: http://izvuz_tn.pnzgu.ru/tn1116 (In Russ.)
15. Volchikhin V. I., et al. [Fractal-correlation functional used in the search for pairs of weakly dependent biometric data in small samples]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskiye nauki* = Higher Education Bulletin. Volga region. Technical science. 2016; 4:25-31. Available at: http://izvuz_tn.pnzgu.ru/tn3416 (In Russ.)
16. Kulagin V. P., Ivanov A. I., Serikova Yu. I. [Correction of methodological and random components of errors in the calculation of correlation coefficients arising on small samples of biometric data]. *Informatsionnyye tekhnologii* = Information Technology. 2016; 9(22):705-710. Available at: <http://novtex.ru/IT/it2016/number09.html> (In Russ.)
17. Ivanov A. I., Serikova Yu. I. [Nomograms of error estimation, correlation coefficients calculated on small samples of biometric data]. *Voprosy radioelektroniki* = Problems of Radio and Electronics. 2015; 2:123-130. (In Russ.)

18. Ivanov A. I., Lozhnikov P. S., Kachaykin Ye. I. [Identification of authenticity of handwritten autographs by Bayes-Hamming networks and networks of quadratic forms]. *Voprosy zashchity informatsii* = Information Security Problems. 2015; 2:28-34. (In Russ.)

19. Ivanov A. I., Kachaykin Ye. I., Lozhnikov P. S., Sulavko A. Ye. [Biometric identification of handwritten images using the correlation analogue of the Bayes' rule]. *Voprosy zashchity informatsii* = Information Security Problems. 2015; 3:48-54. (In Russ.)

Submitted 02.03.2017; revised 05.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Vladimir I. Volchikhin, President of the Penza State University (40 Krasnaya St., Penza 440000 Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, vvi@pnzgu.ru

Aleksandr I. Ivanov, Head of the Laboratory of Biometric and Neural Network Technologies, Penza Electrotechnical Research Institute (9 Sovetskaya St., Penza 440026, Russia), Dr.Sci. (Engineering), docent, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3854-2660>, ivan@pniei.penza.ru

Andrey V. Serikov, Head of Department of Joint-Stock Company Rubin (2 Baydukova St., Penza 440000, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6870-3349>, aosv68@bk.ru

Yuliya I. Serikova, Graduate Student of the Penza State University (40 Krasnaya St., Penza 440000 Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4959-321X>, julia-ska@yandex.r

Contribution of the co-authors: V. Volchikhin: scientific supervision, modernization of the quantum-mechanical paradigm; A. Ivanov: formalization of requirements for multidimensional biometric data, formalization of requirements for the volume of test samples; A. Serikov: synthesis of the mechanism of quantization of the two-dimensional continuum of internal states of the correlation molecule; Yu. Serikova: software implementation, calculation of position and amplitude of spectral lines.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.



КООПЕРАТИВНЫЙ ВАРИАНТ ИГРЫ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ С ДВУМЯ ПРЕСЛЕДОВАТЕЛЯМИ И ОДНИМ УБЕГАЮЩИМ. СИЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ МНОЖЕСТВА ДЕЛЕЖЕЙ

В. Д. Ширяев, Р. Р. Бикмурзина*

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

**bravilya@mail.ru*

Введение. В статье анализируется простая дифференциальная игра на плоскости преследования двумя согласованно действующими игроками $P = \{P_1, P_2\}$ одного убегающего игрока E ; игра рассматривается в форме характеристической функции. Показывается динамическая устойчивость принципа оптимальности.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи используются геометрические конструкции и методы. Граница безопасности преследуемого игрока определяется с помощью окружности Аполлония, наряд преследователей использует стратегию параллельного сближения.

Результаты исследования. Предлагается метод нахождения оптимальных стратегий игроков, а также оптимальные траектории их движения. Приводится способ построения характеристической функции, а в качестве решения рассматривается все множество дележей. Однако использование результатов кооперативной теории в дифференциальных играх невозможно без решения проблем, связанных со спецификой дифференциальных уравнений движения (в первую очередь, проблемы динамической устойчивости принципов оптимальности). В связи с этим вводится вспомогательная функция, осуществляющая перераспределение выигрыша игрока во времени с сохранением его суммарного выигрыша в игре. С помощью данной функции определяется динамическая устойчивость кооперативного решения и показывается сильная динамическая устойчивость всего множества решений.

Обсуждение и заключения. Полученные результаты согласуются с аналогичными исследованиями других авторов. Дальнейшие работы в данном направлении могут использоваться при разработке методов «регуляризации» принципов оптимальности, для которых всегда выполняется условие динамической устойчивости.

Ключевые слова: простое движение, окружность Аполлония, коалиция, характеристическая функция, дележ, слабая устойчивость решения, сильная устойчивость решения

Для цитирования: Ширяев В. Д., Бикмурзина Р. Р. Кооперативный вариант игры преследования с двумя преследователями и одним убегающим: сильная устойчивость множества дележей // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 239–249. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.239-249

COOPERATIVE OPTION OF PURSUIT GAME WITH TWO PURSUERS AND ONE EVADER. A STRONG STABILITY OF DIVISION VARIETY

V. D. Shiryayev, R. R. Bikmurzina*

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**bravilya@mail.ru*

Introduction. The article deals with a simple differential game on the plane of pursuit with two consistently active players and one evader E ; the game is considered in the form of the characteristic function.

Materials and Methods. The geometric constructions and methods are used for solving the problem. The security zone of the escapee is bounded by the Apollonius circle, the pursuit team uses a strategy of parallel approach.

Results. A method of finding the optimal players strategies and the optimal players' trajectory is proposed. The way of forming the characteristic function is provided. All the variety of division is considered as a solution. However, the use of the results of cooperative theory of differential games is impossible without solving the problems associated with the specifics of differential equations of motion. Foremost, it is the problem of dynamic stability of optimality principles. The article introduces an auxiliary function of making the redistribution of winnings in time, keeping his total winnings throughout the game. The dynamic stability of the cooperative solution is determined with the help of this function. Strong dynamic stability of the entire set of solutions is shown.

Discussion and Conclusions. The obtained results are consistent with similar research of other authors. Further research in this field can be used in the development of methods for "regularization" of optimality principles, for which the condition of dynamic stability is always fulfilled.

Keywords: simple movement, Apollonius circle, coalition, characteristic function, division, weak stability of the solution, strong stability of the solution

For citation: Shiryayev V. D., Bikmurzina R. R. Cooperative option of pursuit game with two pursuers and one evader. A strong stability of division variety. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(2):239-249. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.239-249

Введение

Задачи преследования являются типичными примерами дифференциальных игр. Задачи преследования с простым движением стали базовыми для современной теории дифференциальных игр. Несмотря на внешнюю простоту постановки, многие из них в настоящее время представляют собой серьезные математические проблемы.

Естественным подходом к изучению игр простого преследования является рассмотрение данных задач как кооперативных дифференциальных игр. В этом случае особую роль играет концепция динамической устойчивости (состоятельности во времени). Нарушение динамической устойчивости

принципа оптимальности приводит к возможности отклонения от первоначально выбранной схемы оптимального поведения и к нарушению устойчивости процесса в целом.

В статье рассматривается случай преследования двумя согласованно действующими игроками $P = \{P_1, P_2\}$ одного убегающего игрока E ; игра $\Gamma(2, 1; \{P_1, P_2\}, E)$. Игроки перемещаются на плоскости с постоянными скоростями, имея возможность в каждый момент времени изменять направление своего движения (простое движение [1–2]). Преследуемый E считается пойманным, как только найдется такое $i \in \{1, 2\}$, что местоположения P_i и E в некоторый момент совпадают.



Будем предполагать, что в каждый момент времени наряд преследователей $P = \{P_1, P_2\}$ имеет информацию о своем местоположении, местоположении игрока E и направлении скорости игрока E . Преследуемый E имеет информацию о своем местоположении и местоположении наряда преследователей P . Кроме того, в каждый момент времени игроки могут выбирать направление своего движения или направление вектора скорости (величина скорости постоянна и равна u_i для $P_i \in P$ и v для E); $u_i > v$, $i = 1, 2$, в остальном скорости игроков произвольны.

Выигрыш E определяется как время встречи с первым из преследующих игроков, умноженное на количество преследующих игроков. Выигрыш $P = \{P_1, P_2\}$ определяется как величина выигрыша E с обратным знаком.

Обзор литературы

Задачам преследования с простым движением посвящен ряд работ [1–5]. Определение лучших способов преследования и убегания, выяснение возможности встречи – вот основные вопросы, которые рассматривались в этих работах. При исследовании дифференциальных игр простого преследования часто используется методология кооперативной теории игр [4–7]. Вопрос в этом случае осложняется тем, что в данных задачах необходимо исследовать динамическую устойчивость принципа оптимальности.

Впервые проблема динамической устойчивости решений в дифференциальных играх была выявлена Л. А. Петросяном [6; 8–9]. Исследователем было предложено несколько подходов к преодолению проблемы динамической неустойчивости, заключающихся в определенной «регуляризации» принципов оптимальности, заимствованных из статической теории игр [7; 10–12]. Интерес к указанным вопросам проявился также

у западных исследователей, в работах которых проблема получила название «time-consistency problem» (проблема состоятельности во времени) [13–14]. Отдельного внимания заслуживает исследование F. E. Kidland, E. C. Prescott [15]. Следует отметить, что в упомянутой работе не было предложено способов преодоления проблемы не состоятельности во времени, что крайне важно для экономических и других приложений.

Материалы и методы

В статье был предложен метод нахождения оптимальных стратегий игроков с использованием геометрического подхода. В качестве такой стратегии для наряда преследователей была выбрана стратегия параллельного сближения (Π -стратегия). При переходе к рассмотрению исследуемой игры простого преследования как кооперативной дифференциальной игры использовался минимаксный метод построения характеристической функции.

Результаты исследования

Рассмотрим игру $\Gamma(2, 1; \{P_1, P_2\}, E)$. Будем говорить, что решение игры $\Gamma(2, 1; \{P_1, P_2\}, E) = \Gamma(2, 1)$ сводится к решению игры $\Gamma(1, 1)$, если оптимальное время преследования в игре $\Gamma(2, 1)$ совпадает с оптимальным временем преследования в одной из игр $\Gamma(P_1, E)$ или $\Gamma(P_2, E)$, т. е. для обеспечения встречи за оптимальное время наличие в наряде $P = \{P_1, P_2\}$ одного из преследователей является излишним.

Будем говорить, что наряд применяет Π -стратегию, если каждый преследователь P_i из наряда P применяет Π -стратегию [1–2].

Предположим, что выигрыши трансферабельны для игроков P_1 и P_2 . Принимая во внимание, что в коалиции могут вступать только игроки P_1 и P_2 , вычислим значения характеристической функции:

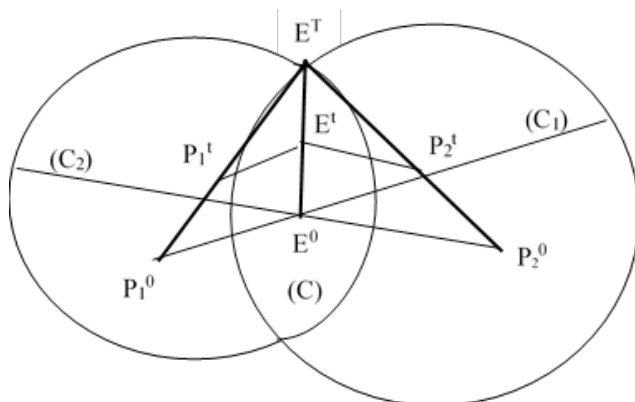
$$\bar{v}(P_1; t_0, x_0) = \text{val } \Gamma(1, 1; P_1^0, E^0) = -\frac{\rho(P_1^0, E^0)}{u_1 - v} \triangleq -\frac{\alpha_{11}}{u_1 - v},$$

$$\bar{v}(P_2; t_0, x_0) = \text{val } \Gamma(1, 1; P_2^0, E^0) = -\frac{\rho(P_2^0, E^0)}{u_2 - v} \triangleq -\frac{\alpha_{21}}{u_2 - v},$$

$$\bar{v}(\{P_1, P_2\}; t_0, x_0) = \text{val } \Gamma(2, 1; \{P_1^0, P_2^0\}, E^0).$$

Решение игры $\Gamma(2, 1; \{P_1^0, P_2^0\}, E^0)$ имеет следующий вид [1–3] (см. рис. 1): игрок E движется в точку E^T : $\rho(E^0, E^T) = \max_{E^t \in (C)} \rho(E^0, E^t)$, а (C) представляет собой пересечение кругов

Аполлония (C_1) и (C_2) в играх между P_1 и E и P_2 и E . Следовательно, $\bar{v}(\{P_1, P_2\}; t_0, x_0) = -2T$. Таким образом, оптимальной для наряда $P = \{P_1, P_2\}$ является Π -стратегия, оптимальным для E – движение по полупрямой $[E^0 E^T]$.



Р и с. 1. Оптимальные стратегии игроков P_1 , P_2 и E

F i g. 1. Optimal strategies of players P_1 , P_2 and E

Чтобы игра имела содержательный смысл, сделаем некоторые предположения:

$$\text{а) } \max \left\{ \frac{\rho(P_1^0, E^0)}{u_1 - v}, \frac{\rho(P_2^0, E^0)}{u_2 - v} \right\} \leq 2T;$$

б) в дальнейшем будем рассматривать только те начальные местоположения P_1^0, P_2^0, E^0 , для которых $(C) \neq \emptyset$, $(C_1) \not\subset (C_2)$, $(C_2) \not\subset (C_1)$.

Под решением будем понимать все множество дележей

$$M(t_0, x_0) = \left\{ \alpha = (\alpha_1, \alpha_2) \mid \alpha_i \geq \bar{v}(P_i; t_0, x_0), \quad i = 1, 2, \quad \alpha_1 + \alpha_2 = \bar{v}(\{P_1, P_2\}; t_0, x_0) \right\}.$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &\geq -\frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} \\ \alpha_2 &\geq -\frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} \\ \alpha_1 + \alpha_2 &= -2T \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$



Чтобы не иметь дела с отрицательными числами, вместо системы (1) будем рассматривать систему

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &\leq \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}, \\ \alpha_2 &\leq \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}, \\ \alpha_1 + \alpha_2 &= 2T \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Поскольку $\frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} + \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} \geq 2T$, множество решений системы (2) не является пустым ($t_0 = 0$).

Оптимальные траектории игроков показаны на рис. 1.

В случае дифференциальной игры характеристическая функция, заданная на семействе всех подмножеств множества игроков, зависит от времени. Это приводит к изменению решения кооперативной дифференциальной игры в каждый момент времени. В связи с этим логично поставить вопрос об устойчивости рассматриваемых решений [6; 8; 16–17].

Пусть $E(T-t, \bar{x}(t))$ – множество дележей в игре $\Gamma(T-t, \bar{x}(t))$, $t \in [t_0, T]$. Под решением кооперативной дифференциальной игры $\Gamma(T-t, \bar{x}(t))$ понимается некоторое подмножество $M(T-t, \bar{x}(t)) \subset E(T-t, \bar{x}(t))$, $t \in [t_0, T]$, где $\bar{x}(t)$ – оптимальная траектория движения игроков в рассматриваемой игре [5–6; 9].

Дележ $\alpha \in M(T-t_0, x_0)$ будем называть слабо (сильно) устойчивым в кооперативной дифференциальной игре $\Gamma(T-t_0, x_0)$ с трансферабельными выигрышами, если существует интегрируемая на $[t_0, T]$ вектор-функция $\beta(\tau)$ и такая вектор-функция $\alpha(t)$,

$$\alpha_i(t) = \int_{t_0}^t \beta_i(\tau) h_i(\bar{x}(\tau)) d\tau, \quad (3)$$

что дележ α представим в виде $\alpha = \alpha(t)$ и для всех $t \in [t_0, T]$ существует такое подмножество $M'(T-t, \bar{x}(t))$ множества $M(T-t, \bar{x}(t))$, что

$$\begin{aligned} \alpha(T) &\in \{\alpha(t) + M'(T-t, \bar{x}(t))\} \subset M(T-t_0, x_0) \\ (\alpha(T) &\in \{\alpha(t) + M(T-t, \bar{x}(t))\} \subset M(T-t_0, x_0)). \end{aligned}$$

Решение $M(T-t_0, x_0)$ называется слабо (сильно) устойчивым, если слабо (сильно) устойчивы все входящие в него дележи [4–5; 7; 10].

Покажем, что все множество дележей рассматриваемой игры сильно устойчиво, т. е. множество решений системы

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1^t &\leq -\bar{v}(P_1; t, \bar{x}(t)), \\ \alpha_2^t &\leq -\bar{v}(P_2; t, \bar{x}(t)), \\ \alpha_1^t + \alpha_2^t &= -\bar{v}(\{P_1, P_2\}; t, \bar{x}(t)) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

не является пустым, и для каждого $\alpha \in M(t_0, x_0)$

$$\alpha_i = \alpha_i(T) = \int_{t_0}^T \beta_i(\tau) d\tau, \quad i = 1, 2,$$

$$\alpha(T) \in \{\alpha(t) + M(t, \bar{x}(t))\} \subset M(t_0, x_0). \quad (5)$$

Вычислим значения характеристической функции в момент t , $t \in [t_0, T]$:

$$\bar{v}(P_i; t, \bar{x}(t)) = -\frac{\rho(P_i^t, E^t)}{u_i - v}, \quad i = 1, 2;$$

$$\bar{v}(\{P_1, P_2\}; t, \bar{x}(t)) = -2(T-t).$$

Из заданного подобия треугольников $\Delta P_i^0 E^0 E^T$ и $\Delta P_i^t E^t E^T$ имеем, что

$$\rho(P_i', E') = \frac{|P_i^0 E^0| \cdot |E' E^T|}{|E^0 E^T|} = \frac{|E' E^T|}{|E^0 E^T|} \rho(P_i^0, E^0) = \left(1 - \frac{|E^0 E^T|}{|E^0 E^T|}\right) \rho(P_i^0, E^0) = \left(1 - \frac{t}{T}\right) \rho(P_i^0, E^0).$$

Итак,

$$\bar{v}(P_i; t, \bar{x}(t)) = -\left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{i1}}{u_i - v}, \quad i = 1, 2.$$

Система (4) примет вид

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1' &\leq \left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}, \\ \alpha_2' &\leq \left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}, \\ \alpha_1' + \alpha_2' &= 2(T - t) \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Поскольку

$$\left(1 - \frac{t}{T}\right) \left(\frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} + \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} \right) \geq 2(T - t),$$

множество решений системы (6) не является пустым. Осталось доказать справедливость (5).

Предварительно докажем две леммы.

Лемма 1. «Точки»

$$A^0 = \left(2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}; \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}\right) \quad \text{и}$$

$$A^t = \left(2(T - t) - \left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}; \left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}\right)$$

лежат на одной прямой.

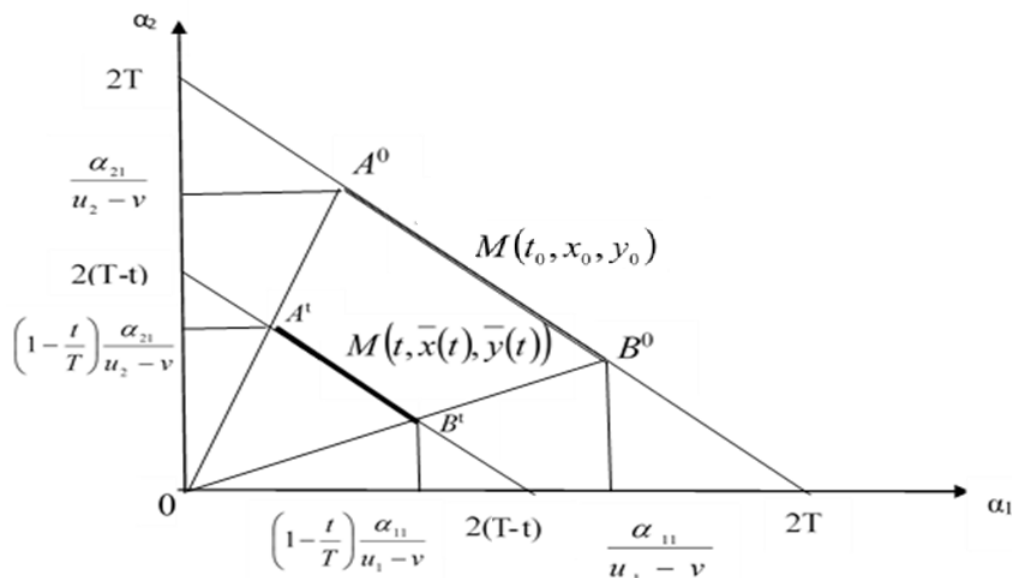
Доказательство. Составим уравнение прямой OA^0 (см. рис. 2, система координат xOy):

$$\begin{aligned} \frac{y}{\frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}} &= \frac{x}{2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}}, \\ y &= \frac{\alpha_{21}}{2T(u_2 - v) - \alpha_{21}} x, \\ k^0 &= \frac{\alpha_{21}}{2T(u_2 - v) - \alpha_{21}}. \end{aligned}$$

Составим уравнение прямой OA^t :

$$\begin{aligned} \frac{y}{\left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}} &= \frac{x}{2(T - t) - \left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}}, \\ y &= \frac{\left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}}{2(T - t) - \left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}} x = \\ &= \frac{\alpha_{21}}{2T(u_2 - v) - \alpha_{21}} x, \\ k^t &= \frac{\alpha_{21}}{2T(u_2 - v) - \alpha_{21}}. \end{aligned}$$

Поскольку $k^0 = k^t$ и прямые OA^0 и OA^t пересекаются, то они совпадают.



Р и с. 2. Прямые OA^0 и OA^t (OB^0 и OB^t) совпадают
 F i g. 2. Straights lines OA^0 and OA^t (OB^0 and OB^t) coincide

Лемма 2. «Точки» $B^0 = \left(\frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}; 2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} \right)$ и $B^t = \left(\left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}; 2(T-t) - \left(1 - \frac{t}{T}\right) \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} \right)$ лежат на одной прямой.

Доказательство леммы 2 аналогично доказательству леммы 1.

В силу выпуклости множества дележей достаточно доказать справедливость (6) только для двух дележей:

$$\xi(T) = \{\xi_1(T), \xi_2(T)\} = \left\{ 2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}, \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} \right\},$$

$$\eta(T) = \{\eta_1(T), \eta_2(T)\} = \left\{ \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}, 2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} \right\};$$

$$\xi(T) = \{\xi_1(T), \xi_2(T)\}:$$

$$\xi_1(T) = 2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} = \int_0^T \beta_1^{(1)}(\tau) d\tau;$$

в качестве $\beta_1^{(1)}(\tau)$ примем $\frac{1}{T} \left(2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} \right),$

$$\beta_1^{(1)}(\tau) = \frac{1}{T} \left(2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} \right) = 2 - \frac{\alpha_{21}}{(u_2 - v)T};$$

$$\begin{aligned}
 \xi_2(T) &= \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} = \int_0^T \beta_2^{(1)}(\tau) d\tau, & \beta_2^{(2)}(\tau) &= \\
 \text{в качестве } \beta_2^{(1)}(\tau) &\text{ примем } \frac{\alpha_{21}}{(u_2 - v)T}, & &= \frac{1}{T} \left(2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} \right) = 2 - \frac{\alpha_{11}}{(u_1 - v)T}. \\
 \beta_2^{(1)}(\tau) &= \frac{\alpha_{21}}{(u_2 - v)T}, & \xi(T) &\in \left\{ \xi(t) + M(t, \bar{x}(t)) \right\} \subset M(t_0, x_0) \\
 \eta(T) &= \{ \eta_1(T), \eta_2(T) \}: & \text{и } \eta(T) &\in \left\{ \eta(t) + M(t, \bar{x}(t)) \right\} \subset M(t_0, x_0) \\
 \eta_1(T) &= \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} = \int_0^T \beta_1^{(2)}(\tau) d\tau; & \text{в силу справедливости лемм 1 и 2} \\
 \text{в качестве } \beta_1^{(2)}(\tau) &= \frac{\alpha_{11}}{(u_1 - v)T}, & \text{эквивалентно системе линейных нера-} \\
 \beta_1^{(2)}(\tau) &= \frac{\alpha_{11}}{(u_1 - v)T}; & \text{венств} \\
 \eta_2(T) &= 2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} = \int_0^T \beta_2^{(2)}(\tau) d\tau; & \left. \begin{aligned} \xi_1(T) &\leq \xi_1^t + \int_0^t \beta_1^{(2)}(\tau) d\tau \leq \eta_1(T), \\ \eta_2(T) &\leq \xi_2^t + \int_0^t \beta_2^{(2)}(\tau) d\tau \leq \xi_2(T), \\ \xi_1(T) &\leq \eta_1^t + \int_0^t \beta_1^{(1)}(\tau) d\tau \leq \eta_1(T), \\ \eta_2(T) &\leq \eta_2^t + \int_0^t \beta_2^{(1)}(\tau) d\tau \leq \xi_2(T) \end{aligned} \right\} \cdot (7) \\
 \text{в качестве } \beta_2^{(2)}(\tau) &= \frac{1}{T} \left(2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} \right), & \text{Распишем (7):}
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} &\leq 2(T - t) - \left(1 - \frac{t}{T} \right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} + \int_0^t \frac{\alpha_{11}}{(u_1 - v)T} d\tau \leq \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}, \\
 2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} &\leq \left(1 - \frac{t}{T} \right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} + \int_0^t \left(2 - \frac{\alpha_{11}}{(u_1 - v)T} \right) d\tau \leq \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}, \\
 2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} &\leq \left(1 - \frac{t}{T} \right) \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} + \int_0^t \left(2 - \frac{\alpha_{21}}{(u_2 - v)T} \right) d\tau \leq \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}, \\
 2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} &\leq 2(T - t) - \left(1 - \frac{t}{T} \right) \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} + \int_0^t \frac{\alpha_{21}}{(u_2 - v)T} d\tau \leq \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}
 \end{aligned} \right\}$$

или

$$\left. \begin{aligned}
 2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} &\leq 2(T - t) - \left(1 - \frac{t}{T} \right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} + \frac{\alpha_{11}t}{(u_1 - v)T} \leq \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}, \\
 2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} &\leq \left(1 - \frac{t}{T} \right) \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} + 2t - \frac{\alpha_{11}t}{(u_1 - v)T} \leq \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}, \\
 2T - \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} &\leq \left(1 - \frac{t}{T} \right) \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} + 2t - \frac{\alpha_{21}t}{(u_2 - v)T} \leq \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v}, \\
 2T - \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} &\leq 2(T - t) - \left(1 - \frac{t}{T} \right) \frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} + \frac{\alpha_{21}t}{(u_2 - v)T} \leq \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v}
 \end{aligned} \right\} \cdot (8)$$



Легко показать, что система двойных линейных неравенств (8) имеет решение только в том и только том случае, когда

$$\frac{\alpha_{11}}{u_1 - v} + \frac{\alpha_{21}}{u_2 - v} \geq 2T. \quad (9)$$

Поскольку (9) действительно имеет место, то сильная устойчивость множества дележей доказана.

Обсуждение и заключения

В работе приводятся оптимальные стратегии, а также оптимальные тра-

ектории движения игроков. Выбранный принцип оптимальности оказался сильно динамически устойчивым и, следовательно, игроки не имеют оснований для окончания игры.

Попытки применить динамически неустойчивые (несостоятельные во времени) принципы оптимальности для прикладных задач в области экономики, менеджмента, охраны окружающей среды и т. д., как правило, приводят к грубым ошибкам, в результате которых принятые «оптимальные» решения оказываются нереализованными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петросян Л. А., Ширяев В. Д. Групповое преследование одним преследователем нескольких преследуемых // Вестник ЛГУ (Сер. «Математика, механика и астрономия»). 1980. № 13. С. 50–57.
2. Петросян Л. А., Томский Г. В. Геометрия простого преследования. Новосибирск : Наука, 1983. 144 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=27332819>
3. Петросян Л. А., Рихсиев Б. Б. Преследование на плоскости. М. : Наука, гл. ред. физ.-мат. литер., 1981. 96 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26228842>
4. Ширяев В. Д., Бикмурзина Р. Р. Динамическая устойчивость решения в простой дифференциальной игре четырех лиц // Науч. тр. SWorld. 2015. Т. 7, вып. 2 (39). С. 60–64. URL: <http://www.sworld.com.ua/konfer39/97.pdf>
5. Ширяев В. Д., Бикмурзина Р. Р. Сильная динамическая устойчивость в простой дифференциальной игре четырех лиц // Науч. тр. SWorld. 2015. Т. 7, вып. 2 (39). С. 64–68. URL: <http://sworld.com.ua/konfer39/98.pdf>
6. Петросян Л. А. Устойчивость решений в дифференциальных играх со многими участниками // Вестник Ленингр. ун-та (Сер. 1). 1977. Вып. 4, № 19. С. 46–52. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23664524>
7. Петросян Л. А. Построение сильно динамически устойчивых решений в кооперативных дифференциальных играх // Вестник Санкт-Петербург. ун-та (Сер. «Математика, механика и астрономия»). 1992. № 4. С. 33–38.
8. Петросян Л. А., Данилов Н. Н. Устойчивость решений в неантагонистических дифференциальных играх с трансферабельными выигрышами // Вестник Ленинград. ун-та, 1979. № 1. С. 46–54. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25699423>
9. Петросян Л. А. Сильно динамически устойчивые принципы оптимальности в многокритериальных задачах оптимального управления // Техническая кибернетика. 1993. № 1. С. 169–175.
10. Петросян Л. А. Сильно динамически устойчивые дифференциальные принципы оптимальности // Вестник Санкт-Петербург. ун-та. 1993. № 22. С. 35–40.
11. Петросян Л. А., Кузютин Д. В. Устойчивые решения позиционных игр. СПб. : Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 2008. 326 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19456679>
12. Petrosjan L. A. Strongly time consistent optimality principles in the games with discount payoffs // Lecture notes in control and information sciences. 1994. № 197. P. 513–520. URL: https://www.researchgate.net/publication/266335984_Strongly_time-consistent_differential_optimality_principles
13. Kreps D. M., Ramey G. Structural consistency, consistency and sequential rationality // Econometrica. 1987. Vol. 55. P. 1331–1348. URL: <https://ideas.repec.org/a/ect/emetrp/v55y1987i6p1331-48.html>

14. **Peleg B., Tijs S.** The consistency principle for Games in strategic form // Intern. J. Game Theory. 1996. Vol. 25. P. 13–34. DOI: 10.1007/BF01254381
15. **Kidland F. E., Prescott E. C.** Rules rather than decisions: the inconsistency of optimal plan // J. of Political Economy. 1977. Vol. 85. P. 473–490. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.603.6853&rep=rep1&type=pdf>
16. **Кузютин Д. В.** К проблеме устойчивости решений позиционных игр // Вестник Санкт-Петербурга: ун-та (Сер. 1). 1995. Вып. 4, № 22. С. 18–23.
17. **Kuzutin D., Osokina O., Romanenko I.** On the consistency of optimal behavior in extensive games // Game Theory and Applications. 1997. Vol. 3. P. 107–116. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23576894>

Поступила 14.03.2017; принята к публикации 28.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Ширяев Виктор Дмитриевич, профессор кафедры фундаментальной информатики, факультет математики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат физико-математических наук, доцент, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0497-3769>**, shiryayevvd@mail.ru

Бикмурзина Равиля Ряшитовна, доцент кафедры фундаментальной информатики, факультет математики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат педагогических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7651-6340>**, bravilya@mail.ru

Вклад соавторов: В. Д. Ширяев: постановка задачи, научное руководство, подготовка начального текста с последующей доработкой; Р. Р. Бикмурзина: работа с литературой, компьютерные работы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Petrosyan L. A., Shiryayev V. D. [Group pursuit of several pursues by one pursuer]. *Vestnik LGU: Matematika, mekhanika i astronomiya* = LGU Bulletin: Mathematics, Mechanics and Astronomy. 1980; 13:50-57. (In Russ.)
2. Petrosyan L. A., Tomskiy G. V. [Geometry of simple pursuit]. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1983. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=27332819> (In Russ.)
3. Petrosyan L. A., Rikhsiev B. B. [Pursuit on the plane]. Moscow: Nauka Publ.; 1981. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26228842> (In Russ.)
4. Shiryayev V. D., Bikmurzina R. R. Dynamic stability of solution in a simple differential game for four individuals. *Nauchnyye trudy SWorld* = Scientific papers SWorld. 2015; 2(39):60-64. Available at: <http://www.sworld.com.ua/konfer39/97.pdf> (In Russ.)
5. Shiryayev V. D., Bikmurzina R. R. Strong dynamic stability in a simple differential game for four individuals. *Nauchnyye trudy SWorld* = Scientific papers SWorld. 2015; 2(39):64-68. Available at: <http://sworld.com.ua/konfer39/98.pdf> (In Russ.)
6. Petrosyan L. A. [Stability of solutions in differential games with many participants]. *Vestnik Leningradskogo universiteta: Seriya 1* = Leningrad University Bulletin: Series 1. 1977; 4(19):46-52. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23664524> (In Russ.)
7. Petrosyan L. A. [Construction of strongly dynamically stable solutions in cooperative differential games]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta: Matematika, mekhanika i astronomiya* = St. Petersburg University Bulletin: Mathematics, Mechanics and Astronomy. 1992; 4:33-38. (In Russ.)
8. Petrosyan L. A., Danilov N. N. [The stability of the solutions in nonantagonistic differential games with transferable wins]. *Vestnik Leningradskogo universiteta* = Leningrad University Bulletin. 1979; 1:46-54. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25699423> (In Russ.)



9. Petrosyan L. A. [Strongly dynamically stable optimality principles in multicriterial problems of optimal control]. *Tekhnicheskaya kibernetika* = Technical Cybernetics. 1993; 1:169-175. (In Russ.)
10. Petrosyan L. A. [Strongly dynamically stable differential optimality principles]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* = St. Petersburg University Bulletin. 1993; 22:35-40. (In Russ.)
11. Petrosyan L. A., Kuzutin D. V. [Stable solutions of positional games]. St. Petersburg: St. Petersburg University Publ.; 2008. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19456679> (In Russ.)
12. Petrosyan L. A. Strongly time consistent optimality principles in the games with discount payoffs. Lecture notes in control and information sciences. 1994; 197:513-520. Available at: https://www.researchgate.net/publication/266335984_Strongly_timeconsistent_differential_optimality_principles
13. Kreps D. M., Ramey G. Structural consistency, consistency and sequential rationality. *Econometrica*. 1987; 55:1331-1348. Available at: <https://ideas.repec.org/a/ecm/emetrp/v55y1987i6p1331-48.html>
14. Peleg B., Tijs S. The consistency principle for Games in strategic form. *Intern. J. Game Theory*. 1996; 25:13-34. DOI: 10.1007/BF01254381
15. Kidland F. E., Prescott E.C. Rules rather than decisions: the inconsistency of optimal plan. *J. of Political Economy*. 1977; 85:473-490. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.603.6853&rep=rep1&type=pdf>
16. Kuzutin D. V. [To the problem of stability of solutions of positional games]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta: Seriya 1* = St. Petersburg University Bulletin: Series 1. 1995; 22(4):18-23. (In Russ.)
17. Kuzutin D., Osokina O., Romanenko I. On the consistency of optimal behavior in extensive games. *Game Theory and Applications*. 1997; 3:107-116. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23576894>

Submitted 14.03.2017; revised 28.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Viktor D. Shiryayev, Professor of Chair of Fundamental Informatics, Faculty of Mathematics and Information Technology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Physics and Mathematics), docent, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0497-3769>**, shiryayevvd@mail.ru

Ravilya R. Bikmurzina, Associated Professor of Chair of Fundamental Informatics, Faculty of Mathematics and Information Technology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Pedagogy), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7651-6340>**, bravilya@mail.ru

Contribution of the co-authors: V. Shiryayev: formulation of the problem, scientific supervision, writing the draft with subsequent revision; R. Bikmurzina: reviewing of literature, computer processing of data.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.



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

УДК 004.413.4

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.250-263

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РИСКАМИ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ

О. А. Гущина*ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия)**motuzoa@mail.ru*

Введение. В статье выявляются основные риски программного проекта; исследуются применение различных видов интеллектуальных систем в процессе управления рисками программных проектов; рассматриваются основополагающие методы, используемые для процессов оценивания и прогнозирования в области программной инженерии; выявляются используемые в настоящее время пустые экспертные системы, программные комплексы анализа и управления рисками программных проектов.

Материалы и методы. В статье раскрываются особенности управления рисками в области программной инженерии с привлечением интеллектуальных систем. Интеллектуальные методы, положенные в основу систем искусственного интеллекта, позволяют частично и/или полностью решать задачу управления с экспертной точностью без привлечения людей-экспертов.

Результаты исследования. Выявлены основные риски программного проекта (налоговые, юридические, финансовые, торговые, IT-риски, риски персонала, риски, связанные конкурентами, поставщиками, маркетингом, спросом и рынком). Исследованы современные, применяемые для управления рисками программных проектов системы искусственного интеллекта, в частности экспертные системы и программные средства оценивания результатов процесса. Выявлены наиболее востребованные пустые экспертные системы (Clips, G2 и Leonardo) и программные продукты анализа больших баз данных (Orange, Weka Rattle GUI, Apache Mahout, SCAViS, RapidMiner, Databionic ESOM Tools, ELKI, KNIME, Pandas и UIMA). Рассмотрены кластерный, корреляционный, регрессионный, факторный и дисперсионный анализы как методы, на основы которых выполняется оценивание и прогнозирование процессов программной инженерии.

Обсуждение и заключения. Результаты, полученные в ходе проведенного исследования, показывают целесообразность применения различных интеллектуальных систем в процессе управления рисками обозначенных в статье программных проектов. Проведенный анализ методов оценивания рисков, а также тенденции их применения в современных системах интеллектуального анализа могут служить базой для создания единой системы управления рисками программных проектов средней и высокой сложности с заранее заданной структурой проекта.



Ключевые слова: риск, управление программными проектами, система искусственного интеллекта, экспертная система

Для цитирования: Гушина О. А. Применение интеллектуальных систем при управлении рисками программных проектов // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 250–263. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.250-263

THE USE OF INTELLIGENT SYSTEMS FOR RISK MANAGEMENT IN SOFTWARE PROJECTS

O. A. Gushchina

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

motuzoa@mail.ru

Introduction. The article identifies the main risks of a software project, examines the use of different types of intelligent systems in the risk management process for software projects, discusses the basic methods used for process estimation and forecasting in the field of software engineering, identifies currently used empty expert systems, software systems for analysis and risk management of software projects.

Materials and Methods. The author describes the peculiarities of risk management in the field of software engineering with involvement of intelligent systems. The intelligent techniques allow solving the control task with expert precision without the involvement of human experts.

Results. The result of this work: identification of the key risks of a software project (tax, legal, financial and commercial risks, IT risks, personnel risks, risks related to competitors, suppliers, marketing and demand and market); investigation of the current, applied to risk management of software system projects, artificial intelligence, particularly expert systems and software tools for evaluation of the process results; identification of the most popular empty expert systems (Clips, G2 and Leonardo) and software products of the analysis of large databases (Orange, Weka, Rattle GUI, Apache Mahout, SCAViS, RapidMiner, Databionic ESOM Tools, ELKI, KNIME, Pandas and UIMA); consideration of the cluster, correlation, regression, factor and dispersion analysis methods for the estimation and prediction of the processes of software engineering.

Discussion and Conclusions. The results show the feasibility of the application of various intelligent systems in the risk management process. The analysis of methods of evaluating risks and the tendency of their application in the modern systems of intellectual analysis can serve as a start point for creating a unified system of risk management for software projects of medium and high complexity with a predetermined structure of the project.

Keywords: risks, software project management, artificial intelligence systems, expert systems

For citation: Gushchina O. A. The use of intelligent systems for risk management in software projects. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 2(27):250-263. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.250-263

Введение

Год от года происходит экспоненциальный рост сложности выпускаемых программных продуктов. Соответственно возрастает организационная сложность современных программных проектов, что приводит к увеличению

количества рисков малых, средних и больших IT-проектов. В целях повышения успешности программного проекта необходимо улучшать управление рисками программного проекта как основной процесс, интегрирующий процессы внутренней и/или внешней среды.

Сложность процесса управления рисками IT-проекта приводит к увеличению и/или усложнению деятельности лиц, связанных с этим процессом. Эта проблема может быть решена несколькими способами:

- увеличением численности привлекаемого персонала;
- повышением компетентности персонала в области управления рисками и увеличением их прав при непосредственном влиянии на рискованные ситуации;
- разработкой и совершенствованием методов оценивания, методологий выработки управленческих решений и методов прогнозирования, реализуемых в виде прикладных программных средств.

Последний подход имеет целый ряд преимуществ. Во-первых, он стабилен и в меньшей степени зависит от уровня компетентности лиц, принимающих решения. Во-вторых, качество работы при нем не может со временем ухудшаться. В-третьих, он опосредованно зависит от сложности проекта (что заключается во времени выполнения оценивания и/или качестве выработки управленческих решений и/или качестве сформированного прогноза).

Целью данного исследования является выявление актуальных систем искусственного интеллекта, применяемых для улучшения процесса принятия

решений при управлении рисками программных проектов, методов, на которых они строятся, а также непосредственных задач, допускающих получение решения программными средствами.

Актуальность выбранной тематики обусловлена потребностью интеллектуальной поддержки процессов управления рисками для мелких, средних и крупных программных проектов.

Результаты исследования востребованы в программной инженерии при управлении жизненным циклом IT-проекта.

Обзор литературы

Базисом теории управления рисками программных проектов служит риск-менеджмент. Анализ научной литературы¹⁻⁵ по данной тематике позволил составить перечень актуальных рисков IT-проектов. Необходимо отметить, что в каждом источнике выделяются определенные риски (наиболее значимые для авторов в момент издания).

Анализ данных, приведенных в [1–3], помог выявить стержневые разновидности систем искусственного интеллекта, применяемых для решения творческих задач, в т. ч. анализа⁶ и прогнозирования.

Анализ математического аппарата показал наибольшую востребованность кластерного, корреляционного, регрессионного, факторного и дисперсионного анализов⁶⁻⁸ [4–5].

¹ Балабанов И. Т. Риск-менеджмент. М. : Финансы и статистика, 1996. 192 с. URL: <http://padaread.com/?book=9017>

² Де Марко Т., Листер Т. Вальсируя с медведями: управление рисками в проектах по разработке программного обеспечения. М. : Компания р. m. Office, 2005. 196 с. URL: <http://www.libros.am/book/read/id/106831/slug/valsiruya-s-medvedyami>

³ Коновальчук Е. В., Новиков Д. А. Модели и методы оперативного управления проектами. М. : ИТУ РАН, 2004. 63 с. URL: <http://www.studfiles.ru/preview/1098750/>

⁴ Липаев В. В. Программная инженерия: методологические основы : учеб. М. : ТЕИС, 2006. 608 с. URL: <http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=1329147>

⁵ Липаев В. В. Процессы и стандарты жизненного цикла сложных программных средств : справочник. СПб. : Синтег, 2006. 276 с. URL: <http://elibrary.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUbooks123108>

⁶ 50 лучших бесплатных программ для интеллектуального анализа данных программного обеспечения. URL: <http://www.predictiveanalyticstoday.com/top-free-data-mining-software>

⁷ Калашников В. В. Сложные системы и методы их анализа. М. : Знание, 1980. 64 с. URL: <http://padabum.com/d.php?id=36181>

⁸ Таганов А. И., Гильман Д. В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости. М. : Телеком, 2014. 168 с. URL: http://spisok-literaturi.ru/books/metodologicheskie-osnovyi-analiza-i-attestatsii-urovney-zrelosti-protsessov-programmnyih-proektov-v-usloviyah-nechetkosti_27596780.html



Различные авторы для процесса управления рекомендуют методики, отличающиеся по процессу применения, объекту применения и другим характеристикам. Например, А. Л. Гусев рассматривает каскадное управление [3], В. И. Кордович – субъект-ориентированное [6], В. А. Кунин – превентивное [7], Р. Томсетт⁹ – радикальное, М. М. Гончаров – комплексное [8].

В [1–2; 4–5; 8–9] описаны принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению рисками, особенности их математического аппарата, принципов структурирования информации, реализации машины логического вывода. Причем в [8] описание выполняется для узкой проблемной области.

Особое место при управлении имеет задача прогнозирования. В работах^{10–13} рассматриваются различные аспекты методик прогнозирования и их применения, в т. ч. при прогнозировании развития рискованных ситуаций¹³.

Применение на практике методики управления рисками описаны в работах^{2–3; 8} [10–11].

Практическое применение программных средств управления рисками ИТ-проектов приведено в работах^{6; 8} [1–2].

Материалы и методы

В представленном исследовании показываются особенности управления рисками ИТ-проектов с использованием прикладных систем искусственного интеллекта. Положенные в их

основу интеллектуальные методы позволяют решать неоднозначные задачи в процессе управления. Данные методы с успехом применяются в областях с нечеткой, неточной, неполной и/или многозначной информацией, а также при решении задач, не имеющих однозначности в решении.

Результаты исследования

С каждым годом программные средства становятся все сложнее, повышается продуктивность и качество программных продуктов. Это, в свою очередь, приводит к повышению наукоемкости и трудоемкости программных проектов. Соответственно, усложняются технологии производства программных средств. Все это приводит к росту рисков программных проектов. В целях повышения успешности проекта необходимо управление данными рисками. В данном случае будем рассматривать только негативные риски, приводящие к сбоям.

Управление рисками включает в себя 5 этапов:

- 1) идентификация рисков;
- 2) оценивание рисков:
 - 2.1) качественный анализ рисков;
 - 2.2) количественный анализ рисков;
- 3) прогнозирование тенденций развития рискованных ситуаций;
- 4) планирование (разработка стратегий управления рисками);
- 5) контроль рисков.

Каждый из них содержит подпроцессы, возникающие в проекте минимум

⁹ Томсетт Р. Радикальное управление ИТ-проектами. М. : Лори, 2005. 294 с. URL: <http://www.labirint.ru/books/299608>

¹⁰ Научно-методические рекомендации по вопросам диагностики социальных рисков и прогнозирования вызовов, угроз и социальных последствий. Российский государственный социальный университет. М., 2010. 38 с. URL: <http://mirznani.com/a/279279/metodicheskie-rekomendatsii-po-voprosam-dagnostiki-sotsialnykh-riskov-i-prognozirovaniya-vyzovov-ug>

¹¹ Владимирова Л. П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка : учеб. пособие. М. : Дашков и Ко, 2001. 279 с. URL: <http://6J-7x3fcd6zzmysW501QhSP-dnXuWqUvzAJsdXJxWN0Zdg2mN4nwx1Jf-owp2mUXpCB3BTXM6-MSSM16ecGXkbU6M-y3>

¹² Новикова Н. В., Поздеева О. Г. Прогнозирование национальной экономики : учеб.-метод. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2007. 70 с. URL: http://www.studmed.ru/view/novikova-nv-pozdeeva-og-prognozirovanie-nacionalnoy-ekonomiki_d7b82ccc4af.html

¹³ Слуцкий Л. Н. Курс МБА по прогнозированию в бизнесе. М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. 280 с. URL: <http://www.ozon.ru/context/detail/id/135845727>

один раз. Причем большинство из них носят итерационный характер и могут реализовываться на нескольких этапах жизненного цикла программного проекта. Следует отметить, что набор процессов и входящих в него подпроцессов, а также их функционал уникальны для каждого конкретного программного проекта

При общем рассмотрении рисков программных проектов (на стадии идентификации рисков) выделяются 10 основных групп рисков:

- 1) налоговые риски;
- 2) риски персонала:
 - 2.1) риски оценивания персонала;
 - 2.2) риски разработки и внедрения комплексной системы работы с персоналом;
 - 2.3) системная работа с персоналом по внедрению и сопровождению изменений в проекте;
 - 2.4) подбор и обучение персонала;
 - 2.5) риски, связанные со здоровьем персонала;
- 3) IT-риски:
 - 3.1) технологические риски;
 - 3.2) инструментальные риски;
 - 3.3) риски, связанные с системными требованиями;
 - 3.4) риски оценивания параметров проекта;
- 4) риски, связанные с конкурентами;
- 5) риски, связанные с поставщиками:
 - 5.1) риски, вызванные перебоями и задержками поставок;
 - 5.2) риски, вызванные банкротством поставщика;
 - 5.3) риски, вызванные увеличением расходов;
 - 5.4) риски, вызванные нехваткой сырья и оборудования для производства и/или, товаров для продажи;
 - 5.5) риски, вызванные низким качеством выпускаемой продукции;
 - 5.6) риски, вызванные низким качеством сырья и/или оборудования;
 - 5.7) риски, вызванные затруднениями у поставщика;
 - 5.8) риски, вызванные отсутствием конкуренции;

5.9) риски, вызванные дополнительными расходами;

5.10) риски, вызванные снижением прибыли;

6) риски, связанные со спросом и рынком;

7) юридические риски;

8) финансовые риски;

9) торговые риски;

10) риски, связанные с маркетингом.

Кроме вышеперечисленных, на программный проект оказывают влияние инвестиционные риски; риски, связанные с покупательной способностью денег; политические риски; имущественные риски и т. д. Вероятность наступления этих рисковых событий мала по сравнению с основными. Поэтому их оценивание либо не проводится, либо проводится как дополнительное исследование, подтверждающее или усиливающее влияние более вероятных рисков.

Однако необходимо отметить, что встречаются ситуации, при которых неосновной риск (или синергетическая совокупность неосновных рисков) начинает оказывать существенное влияние на программный проект. В этом случае необходимо перевести соответствующий риск в категорию основных и оценивать новую, расширенную, рисковую ситуацию.

В случае введения дополнительных рисков в состав основных необходимо перераспределить степени влияния каждого риска в новой совокупности рисковых ситуаций, пересмотреть вероятности их наступления и определить пессимистический, оптимистический и наиболее вероятный ущерб каждого риска.

В зависимости от потребностей лица, принимающего решения, вероятности могут оцениваться в процентах или соответствующем им уровне вероятности наступления события (низкий, средний, высокий). Ущерб также может оцениваться в процентном отношении к общей стоимости проекта



или соответствующей степени ущерба (незначительная, средняя, терпимая, катастрофическая).

Экспертное заключение строится исходя из значений вероятностей наступления рисков события в целом и каждого отдельного риска с указанием величины ущерба и очага возникновения риска.

В процессе постоянного мониторинга рисков ситуаций выявляется тенденция изменения каждого риска и рисков ситуации в целом. Это позволяет лицу, принимающему решение, оценивать текущее состояние дел и разрабатывать действия в соответствии с методикой, используемой для сложившейся ситуации в данном проекте.

Руководство управлением рисками осуществляется лицом, принимающим решение, в ведение которого входят области возникновения, дислокации и влияния рисков ситуации (объединенной в область рисков ситуации). Каждому сочетанию уровня риска, области рисков ситуации и степени риска соответствует определенный сотрудник, осуществляющий руководство управлением данной рисков ситуации. Им может быть руководитель проекта, менеджер-архитектор комплекса программ и др.

Методы прогнозирования позволяют на основе анализа динамики конкретных рисков или рисков ситуации в целом строить вероятностные прогнозы дальнейшего развития этих ситуаций. Для формирования качественного прогноза рисков программных проектов наилучшими являются эвристический (интуитивный) метод, экстраполяционные методы (метод скользящей средней, метод экспоненциального сглаживания, метод наименьших квадратов и др.), метод прогнозирования по аналогии, методы информационного моделирования.

Для средних и больших программных проектов анализ и прогнозирование тенденций развития рисков ситуаций

сопряжено со сложностями, связанными с интеллектуальной обработкой больших объемов информации. Для каждого конкретного программного проекта решаются следующие задачи:

1) задача формирования структурированных потоков полной достоверной информации по каждому риску в большие базы данных;

2) задача разработки методов и инструментария обработки больших баз данных;

3) задача анализа больших баз данных каждого риска и рисков ситуации в целом;

4) задача разработки динамических баз данных результатов проведенных анализов;

5) задача составления прогноза на основе данных динамических баз данных.

При оценивании рисков важен как количественный, так и качественный анализ рисков ситуации.

Количественный анализ позволяет определить основные показатели определенных рисков (уровень риска, степень риска, величина ущерба, вероятность наступления рисков ситуации и др.). Для количественного анализа рисков ситуаций часто используются методы, основанные на кластерном, корреляционном, регрессионном, факторном или дисперсионном анализе. Методы, основанные на кластерном анализе, чаще всего используются при выявлении рисков ситуаций. Методы, в основу которых положен регрессионный анализ, применяются для выявления области рисков ситуации. Методы факторного анализа используются для выявления области возникновения риска и формировании стратегии устранения или минимизации риска. Методы корреляционного анализа применяются практически на всех этапах управления рисками. Дисперсионный анализ – один из самых часто используемых методов при выявлении, качественном анализе и мониторинге рисков ситуации.

Качественный анализ позволяет выявить существующие опасности, определить конкретные риски, их источники и последствия. Качественный анализ основывается на экспертной оценке, опирающейся на логико-графические методы анализа.

Метод экспертной оценки лучше всего программно реализуется интеллектуальными системами, использующими технологии экспертных систем. Данные технологии позволяют не столько оценивать численную информацию, сколько анализировать текстовую и графическую информацию, определяющую рисковую ситуацию. Для экспертных систем характерно использование продукций (правил):

ЕСЛИ <условие>
ТО <действие>

При необходимости в правила вводятся дополнительные параметры, определяющие различные вероятности и модальности алетической, деонтической, эпистимической, временной логики, а также логики Лукасевича.

Современное развитие вычислительной техники позволяет быстро находить решения при качественном анализе рисков с использованием динамических экспертных систем, база знаний которых включает значительное количество (> 500) правил вывода. Машины логического вывода большинства таких систем работают с n -слойной структурой распределения данных и/или знаний. Для повышения эффективности в последнее время данные машины начинают поддерживать возможность распараллеленной обработки информации. При оценивании рисков можно использовать структурно более простую статическую экспертную систему, позволяющую, в данном случае, убыстрить процесс формирования экспертного заключения.

Экспертные системы либо дают жизнь пустым оболочкам экспертных

систем (пустым экспертными системами), либо разрабатываются на базе существующих оболочек. Наиболее распространенными, доступными, качественными оболочками систем, обрабатывающих однослойную структуру знаний и поддерживающих прямой и обратный вывод (в большинстве случаев), являются последние версии Clips, G2, Leonardo.

Необходимо также отметить, что экспертные системы для качественного анализа и поддержки принятия управленческих решений крайне редко применяются в целях комплексного управления рисками. Это связано со значительной величиной проблемной области (учитывающей технологические, экономические, юридические и другие аспекты), ее сложностью и неоднозначностью, а также необходимостью работы с большими базами данных. Каждая из перечисленных причин приводит к усложнению экспертной системы управления рисками на один или несколько порядков относительно проблемных областей, общепринятых для экспертной поддержки.

При оценивании каждого вида риска программного проекта используются специально разработанные методы, также как для управления определенным видом риска – адаптированные именно для него стратегии. Например, основными стратегиями для управления IT-рисками являются снижение, уклонение и принятие, что обусловлено уровнем риска в каждом конкретном случае. В свою очередь, выбор стратегии управления определенным риском оказывает прямое или косвенное влияние на внутренние и внешние условия проекта, и, следовательно, на текущий и последующие этапы жизненного цикла проекта.

Еще раз подчеркнем необходимость постоянного итерационного комплексного управления рисками как весомой части управления программным проектом на протяжении каждо-



го его этапа. Величина доли каждого отдельного риска в рамках суммарного риска проекта определяется в зависимости от внутренних и внешних условий программного проекта. К внешним условиям относятся обстоятельства, не зависящие от структуры проекта (современные тенденции дизайна пользовательского интерфейса и др.). Внутренние условия прямо или косвенно зависят от структуры проекта (требования заказчика, требования пользователей и др.). Изменение внешних и/или внутренних условий приводит к возникновению или изменению рисков ситуаций в течение всего проекта.

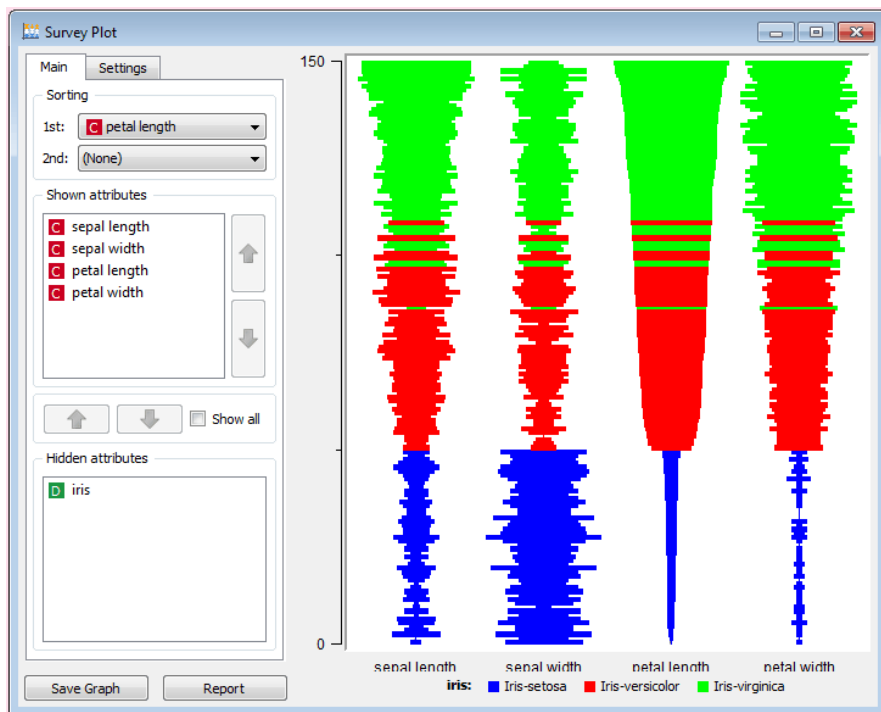
В каждой группе рисков присутствуют риски, вызванные как внешними, так и внутренними причинами. Ярким примером являются риски персонала:

с одной стороны, они могут быть вызваны недостаточной компетентностью специалистов, устраивающихся на работу (внешний фактор); с другой (или одновременно) – низкой информированностью сотрудников об изменениях в проекте (внутренний фактор).

При управлении рисками программных проектов важную роль играет интеллектуальный анализ данных. В современной мировой практике самыми популярными программными средствами такого анализа являются:

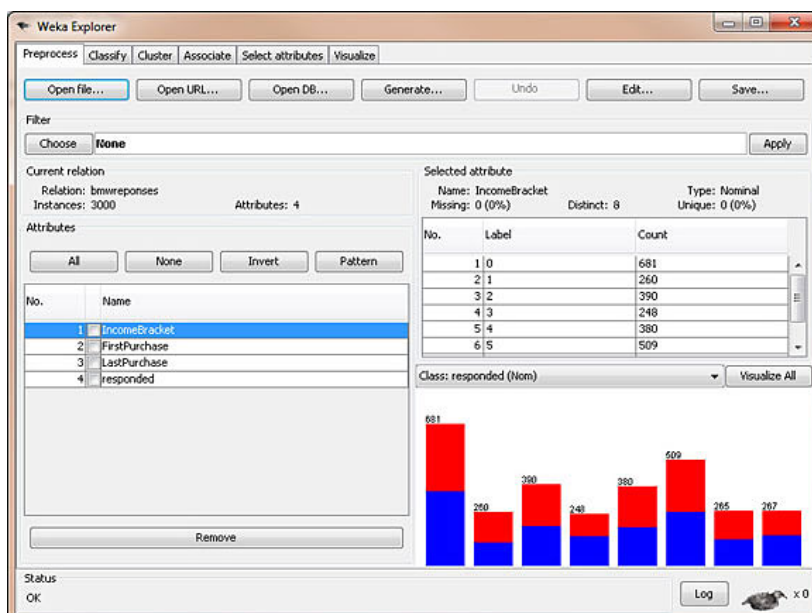
1) Orange – инструмент визуализации и анализа данных с открытым исходным кодом (рис. 1);

2) Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) – набор программных приложений машинного обучения для интеллектуального анализа данных задач (рис. 2)



Р и с. 1. Интерфейс ПС Orange⁶

F i g. 1. PS Orange interface⁶



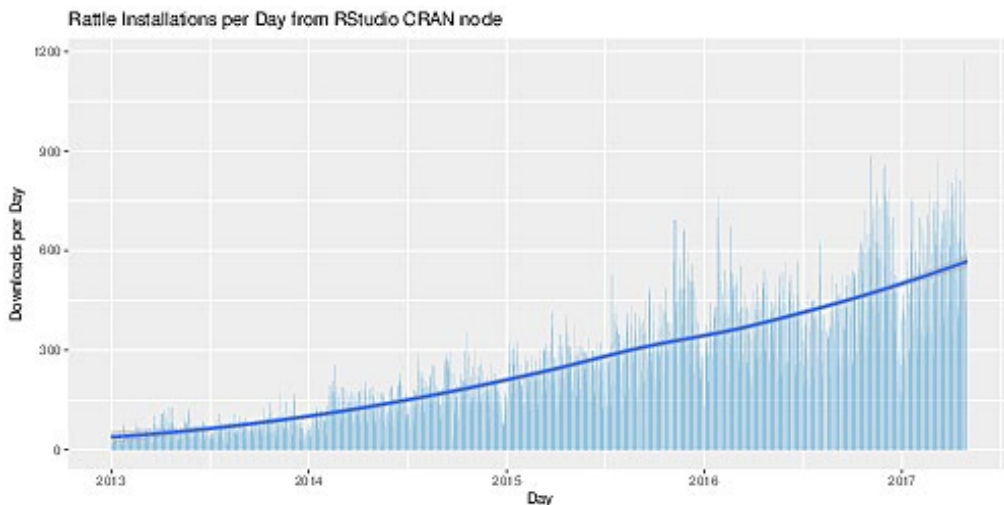
Р и с. 2. Интерфейс ПК Weka⁶

F i g. 2. PS Weka interface⁶

3) Rattle GUI – средство, обеспечивающее визуализированный интеллектуальный анализ данных (рис. 3);

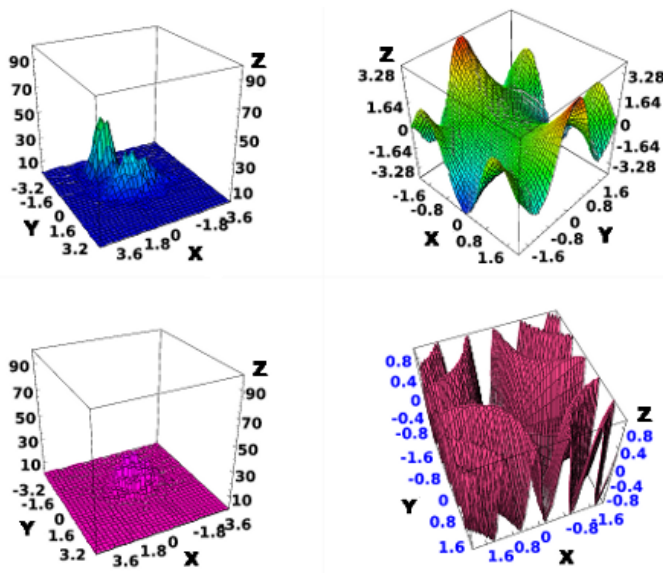
4) Apache Mahout – проект, позволяющий выполнять кластеризацию и категоризацию анализируемых данных;

5) SCAViS – кросс-платформа Java, предназначенная для интеллектуального анализа данных, проведения статистических тестов и регрессионного анализа данных (рис. 4);



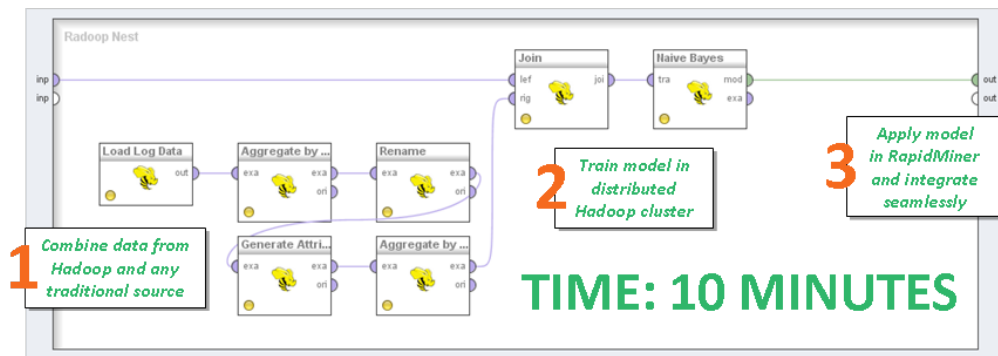
Р и с. 3. Интерфейс ПК Rattle GUI⁶

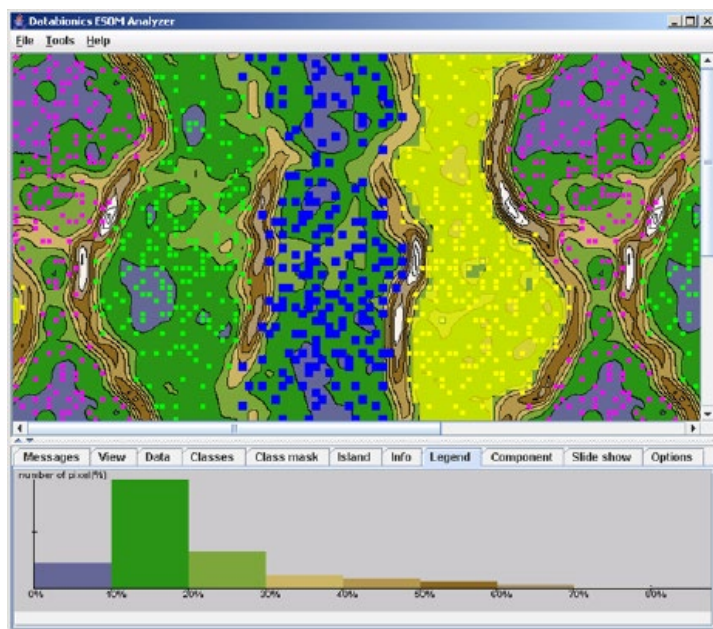
F i g. 3. PS Rattle GUI interface⁶

Р и с. 4. Интерфейс ПК SCAViS⁶F i g. 4. PS SCAViS interface⁶

6) RapidMiner – средство, предоставляющее интегрированную среду для машинного обучения, интеллектуального анализа данных, анализа текста, прогнозирования и бизнес-аналитики (рис. 5);

7) Databionic ESOM Tools – набор программных средств для кластеризации, визуализации и классификации данных с самоорганизующимися картами (рис. 6);

Р и с. 5. Интерфейс ПК RapidMiner⁶F i g. 5. PS RapidMiner interface⁶



Р и с. 6. Интерфейс PC Databionics ESOM Tools⁶

Fig. 6. PS Databionics ESOM Tools interface⁶

8) ELKI – проект для углубленного кластерного анализа данных выбираемым методом с возможностью управления этими данными;

9) KNIME (Konstanz Information Miner) – программное средство для интеллектуального анализа данных с возможностью управления данными, позволяющее выполнять прогнозирование (рис. 7);

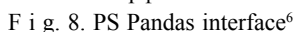
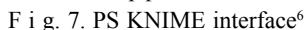
10) Pandas – программная библиотека с открытым исходным кодом, обеспечивающая обработку данных различной структуры с возможностью их статистического и временного анализов (рис. 8);

11) UIMA (Unstructured Information Management Architecture) – для анализа неструктурированных данных.

Обсуждение и заключения

В результате проведенного в статье исследования были выявлены основные риски программного проекта (налоговые, юридические, финансовые и торговые, IT-риски, риски персонала, риски, связанные с конкурентами,

поставщиками, маркетингом, спросом и рынком). Также был проведен анализ основных видов интеллектуальных систем, применяемых для решения творческих (неоднозначных) задач, к которым относятся задачи, решаемые при управлении рисками программных проектов. Описаны распространенные в данной проблемной области системы интеллектуального интеллекта: экспертные системы и прикладные программные средства оценивания рисков. Выявлены наиболее используемые в настоящее время пустые экспертные системы (Clips, G2 и Leonardo) и системы анализа больших баз данных (Orange, Weka Rattle GUI, Apache Mahout, SCAViS, RapidMiner, Databionics ESOM Tools, ELKI, KNIME, Pandas и UIMA). Рассмотрены базисные методы, позволяющие реализовать оценивание и прогнозирование результатов управления рисками (в частности, кластерный, корреляционный, регрессионный, факторный и дисперсионный анализы).



Актуальность заявленной темы подтверждается большим интересом разработчиков программных проектов к автоматизации процесса управления рисками, разнообразием подходов и основанных на них программных продуктов, применяемых при оценивании рисков IT-проектов,

а также отсутствием стандартизированной методологии.

Полученная информация может послужить отправной точкой для создания единой системы управления рисками программных проектов произвольной сложности с заранее заданной структурой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Глушенко С. А. Анализ функциональной полноты программных систем управления рисками // Вестник РГЭУ (РИНХ). 2012. № 2 (38). С. 53–62. URL: <http://old.rsue.ru/vestnik/archive.aspx>
2. Шевцова Ю. В. Байесовские технологии в управлении операционными рисками // Электросвязь. 2010. № 10. С. 58–61. URL: <https://www.rucont.ru/efd/255278>
3. Гусев А. Л. Сложные правила остановки непрерывного контроля // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 3. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9605>
4. Яковенко Д. О., Целищев М. А. Диверсификация и ее связь с мерами риска // Информатика и ее применение. 2011. Т. 5, вып. 3. С. 21–26. URL: <http://www.studfiles.ru/preview/4269507>
5. Таганов А. И. Методика анализа и сокращения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества // Вестник РГПТУ. 2010. Вып. 31, № 1. С. 77–82. URL: <http://vestnik.rsreu.ru/ru/archive/2010/1-vypusk-31>
6. Кордович В. И. Техника агрегирования рисков методом Монте-Карло // Известия СПбГАУ. 2013. № 33. С. 142–147. URL: http://spbgau.ru/izvestiya/numbers/Zhurnal_33
7. Кунин В. А. Стержневые задачи превентивного управления рисками промышленного предпринимательства // Мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. «Социально-экономическая роль денег в обществе». СПб.: Изд-во СПбГАУЭ, 2011. С. 130–134. URL: <http://www.spbume.ru/file/pages/79/kunin2011.pdf>
8. Гончаров М. М. Гибридная нечеткая модель управления рисками систем обработки информации // Научное образование. 2014. № 1. С. 123–129. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21457341>
9. Тарасов А. Д. Управление рисками и безопасностью // Труды ИСА РАН. 2014. Т. 64, № 2. С. 27–41. URL: http://www.isa.ru/proceedings/index.php?option=com_content&view=article&id=830
10. Зинкевич В., Штатов Д. Информационные риски: анализ и количественная оценка: начало // Бухгалтерия и банки. 2007. № 1. С. 50–55. URL: <http://base.garant.ru/5334264>
11. Зинкевич В., Штатов Д. Информационные риски: анализ и количественная оценка: окончание // Бухгалтерия и банки. 2007. № 2. С. 48–53. URL: <https://www.lawmix.ru/bux/73392>

Поступила 15.03.2017; принята к публикации 24.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторе:

Гущина Оксана Александровна, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования, факультет математики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2978-9028>**, mutuzoa@mail.ru

Автор прочитала и одобрила окончательный вариант рукописи.



REFERENCES

1. Glushenko S. A. [Analysis of the functional completeness of software risk management systems]. *Vestnik RGEU (RINKh) = Rostov State University of Economics Bulletin*. 2012; 2(38):53-62. Available at: <http://old.rsue.ru/vestnik/archive.aspx> (In Russ.)
2. Shevtsova Yu. V. [Bayesian technologies in operational risk management]. *Elektrosvyaz = Telecommunications*. 2010; 10:58-61. Available at: <https://www.rucont.ru/efd/255278> (In Russ.)
3. Gusev A. L. Complex rules stop continuous monitoring. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2013; 3. Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9605> (In Russ.)
4. Yakovenko D. O., Tselishchev M. A. [Diversification and its relationship to risk measures]. *Informatika i yeye primeneniye = Informatics and its Application*. 2011; 3(5):21-26. Available at: <http://www.studfiles.ru/preview/4269507> (In Russ.)
5. Taganov A. I. [Methodology for analyzing and reducing the risks of projects of complex software systems in terms of quality characteristics]. *Vestnik RGRTU = Ryazan State Radio Engineering University Bulletin*. 2010; 1(31):77-82. Available at: <http://vestnik.rsreu.ru/ru/archive/2010/1-vypusk-31> (In Russ.)
6. Kordovich V. I. [Monte Carlo risk aggregation technique]. *Izvestiya SPbGAU = St. Petersburg State Agrarian University Bulletin*. 2013; 33:142-147. Available at: http://spbgau.ru/izvestiya/numbers/Zhurnal_33 (In Russ.)
7. Kunin V. A. [The core tasks of preventive risk management of industrial entrepreneurship]. In: *Mat-ly VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Sotsialno-ekonomicheskaya rol deneg v obshchestve" = Socio-Economic Role of Money in Society International Conference: Proceedings*. St. Petersburg: SPbAUE; 2011; 130-134. Available at: <http://www.spbume.ru/file/pages/79/kunin2011.pdf> (In Russ.)
8. Goncharov M. M. Hybrid fuzzy model of managing the risks of information processing systems. *Nauchnoye obrazovaniye = Scientific Education*. 2014; 1:123-129. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21457341> (In Russ.)
9. Tarasov A. D. Fuzzy information processing mathematical methods development and research in a problem of potentially-dangerous objects protection estimate. *Trudy ISA RAN = Proceedings of Institute of Systems Analysis of RAS*. 2014; 2(64):27-41. Available at: http://www.isa.ru/proceedings/index.php?option=com_content&view=article&id=830 (In Russ.)
10. Zinkevich V., Shtatov D. [Information risks: Analysis and quantification: Beginning]. *Bukhgalteriya i banki = Accounting and Banks*. 2007; 1:50-55. Available at: <http://base.garant.ru/5334264> (In Russ.)
11. Zinkevich V., Shtatov D. [Information risks: Analysis and quantification: Ending]. *Bukhgalteriya i banki = Accounting and banks*. 2007; 2:48-53. Available at: <https://www.lawmix.ru/bux/73392> (In Russ.)

Submitted 15.03.2017; revised 24.04.2017; published online 14.06.2017

About the author:

Oksana A. Gushchina, Associate Professor of the Department of Computer Aided Design Systems, Faculty of Mathematics and Information Technology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2978-9028>**, motuzoa@mail.ru

The author have read and approved the final version of the manuscript.



ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

М. В. Тумбинская

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А. Н. Туполева»*

(г. Казань, Россия)

tumbinskaya@inbox.ru

Введение. Социальные сети позволяют получить большой объем информации о пользователях. Этот процесс называется разведка на основе открытых источников. Пользователь социальных сетей самостоятельно предоставляет информацию о себе, публикуя данные о местах работы и учебы, косвенно рассказывает об интересах списком страниц и групп, в которых он состоит, публикуемыми записями и, таким образом, предоставляет сведения злоумышленникам, организующим целевые атаки на пользователей с помощью таргетированной информации.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны социальные сети Twitter, Facebook, ВКонтакте. Методами анализа и сравнения, а также путем моделирования были определены угрозы безопасности социальных сетей.

Результаты исследования. В работе формализован алгоритм распространения таргетированной информации в социальных сетях; определены его параметры, вариация которых позволит детализировать различные сценарии атак; предложена классификация угроз информационной безопасности, а также методика защиты от таргетированной информации, распространяемой в социальных сетях на основе исследования социальной информации.

Обсуждение и заключения. Перспективы дальнейшего исследования проблемы защиты от таргетированной информации мы видим в детальной проработке методики и разработке на ее основе модели защиты от таргетированной информации. Детализация сценариев атак позволит выработать меры противодействия. Методика защиты от таргетированной информации, распространяемой в социальных сетях, позволит разработать модель борьбы с такой информацией и реализовать специальное программное обеспечение для его интегрирования в социальных сетях.

Ключевые слова: информационная безопасность, социальная информационная система, таргетированная информация, злоумышленник, сценарий атаки

Для цитирования: Тумбинская М. В. Обеспечение защиты от нежелательной информации в социальных сетях // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 264–288. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.264-288



PROVIDING PROTECTION FROM TARGETED INFORMATION IN SOCIAL NETWORKS

M. V. Tumbinskaya

*Tupolev Kazan National Research Technical University
(Kazan, Russia)*

tumbinskaya@inbox.ru

Introduction. Social networks provide massive information about users through the so-called open data mining. The social network users voluntarily disclose their personal information about their work, education, interests through pages and groups, which they join. Thus, important personal data become available for intruders, organizing network attacks against users through targeted information.

Materials and Methods. The social networks Twitter, Facebook, VKontakte are chosen as the objects of research. The methods of analysis, comparison and modeling identified threats to the security of social networks.

Results. The article formalizes the algorithm for the distribution of targeted information in social networks, defines its parameters, which allow detailing the various attack scenarios, and offers a classification of threats to information security. The technique of protection from targeted information in social networks is also offered.

Discussion and Conclusions. Detailing the scenarios of attacks allows developing countermeasures. The method of protection from the targeted information distributed in social networks allows developing a model of protection from targeted information and implementing special software for the integration into social networks.

Keywords: information security, social information system, targeted information, the attacker, the attack scenario

For citation: Tumbinskaya M. V. Providing protection from targeted information in social networks. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(2):264-288. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.264-288

Введение

В настоящее время большинство людей являются пользователями интернет-пространства, в котором активно развиваются виртуальные социальные сети – Online Social Network (OSN), или «микроблоггинг». OSN характеризуются простотой реализации продвижения бизнеса, распространения рекламы товаров и услуг, досуга, хобби, личного общения, обмена информацией и, таким образом, являются открытым источником информации для злоумышленников. Как правило, злоумышленники в OSN для достижения своих целей применяют мошеннические схемы, что подтверждается исследованиями [1–2].

В качестве одного из способов получения конфиденциальной информации они используют распростра-

нение таргетированной информации в OSN на основе методов манипуляции пользователями [3–4] и социальной инженерии. Под таргетированной информацией понимают нежелательную информацию, содержащуюся в информационных сообщениях пользователя или группы пользователей (сообщества) OSN.

Злоумышленники также могут использовать лидеров OSN (например, для вовлечения в террористические группировки [5–8]). Чаще всего лидеры имеют высокий уровень доверия среди большого количества пользователей; являются создателями (администраторами) сообществ.

Научная новизна работы заключается в формализации обобщенного алгоритма распространения таргетированной информации в OSN, который

положен в основу методики защиты от таргетированной информации, апробации предложенной методики на основе статистического исследования.

Обзор литературы

В результате анализа научной литературы было выявлено, что OSN в настоящее время находят широкое применение в различных сферах деятельности [9]. Обзор киберпреступников и кибермошенников представлен в работах [10–14]. Другие исследователи рассматривают различные способы мошенничества в наиболее распространенных OSN (Facebook, WhatsApp, Twitter и т. д.) и методы борьбы с ними [15–16].

Исследования, посвященные таргетированной рекламе в OSN, представлены в работах [18–20]. Вопросы распространения информации в системах микроблоггинга поднимаются в исследованиях [21–22]. Модель поведения пользователей в системах микроблоггинга освещена в работе [22].

Вопросы доверия лидеру и информации, обрабатываемой в системах микроблоггинга, рассмотрены в статье [23]. Одной из целей злоумышленника при распространении таргетированной информации может быть конкурентная разведка, обзор способов которой представлен в исследованиях [24–26]. В настоящее время большое внимание уделяется защите информации в OSN. Например, в работах [27–31] рассмотрены основы информационной безопасности, способы потери данных, распространенных угрозах и уязвимостях OSN.

Материалы и методы

Рассмотрим примеры реализации кибератак злоумышленниками мето-

дами социальной инженерии в OSN, формализация которых представлена с применением методологии структурного анализа IDEF0. Функциональная модель (диаграмма A0) реализации кибератаки похищения денежных средств на основе методов социальной инженерии представлены на рис. 1. Данная кибератака подразумевает, что злоумышленник рассылает сообщение вредоносного содержания пользователю на электронную почту или в системе микроблоггинга. В случае успеха (т. е. если пользователь открывает сообщение вредоносного содержания) вирус заражает компьютер и похищает персональные данные.

На рис. 2 представлена диаграмма реализации кибератаки хищения конфиденциальных данных на основе метода социальной инженерии «кви про кво». Злоумышленник создает вредоносное программное обеспечение (ПО) под видом программы, повышающей быстродействие; осуществляет поиск заинтересованных пользователей на различных ресурсах и получает их контактные данные. Связывается с пользователями, убеждает их установить ПО и в случае успеха получает доступ к конфиденциальным данным.

На рис. 3 представлена диаграмма реализации кибератаки получения денежных средств методами социальной инженерии. Злоумышленником разрабатывается вредоносное ПО и отправляется сообщение, содержащее ссылку на него. Запуск программы позволяет злоумышленнику получить компрометирующую информацию, после чего он устанавливает связь с пользователем и средствами социальной инженерии вымогает денежные средства.

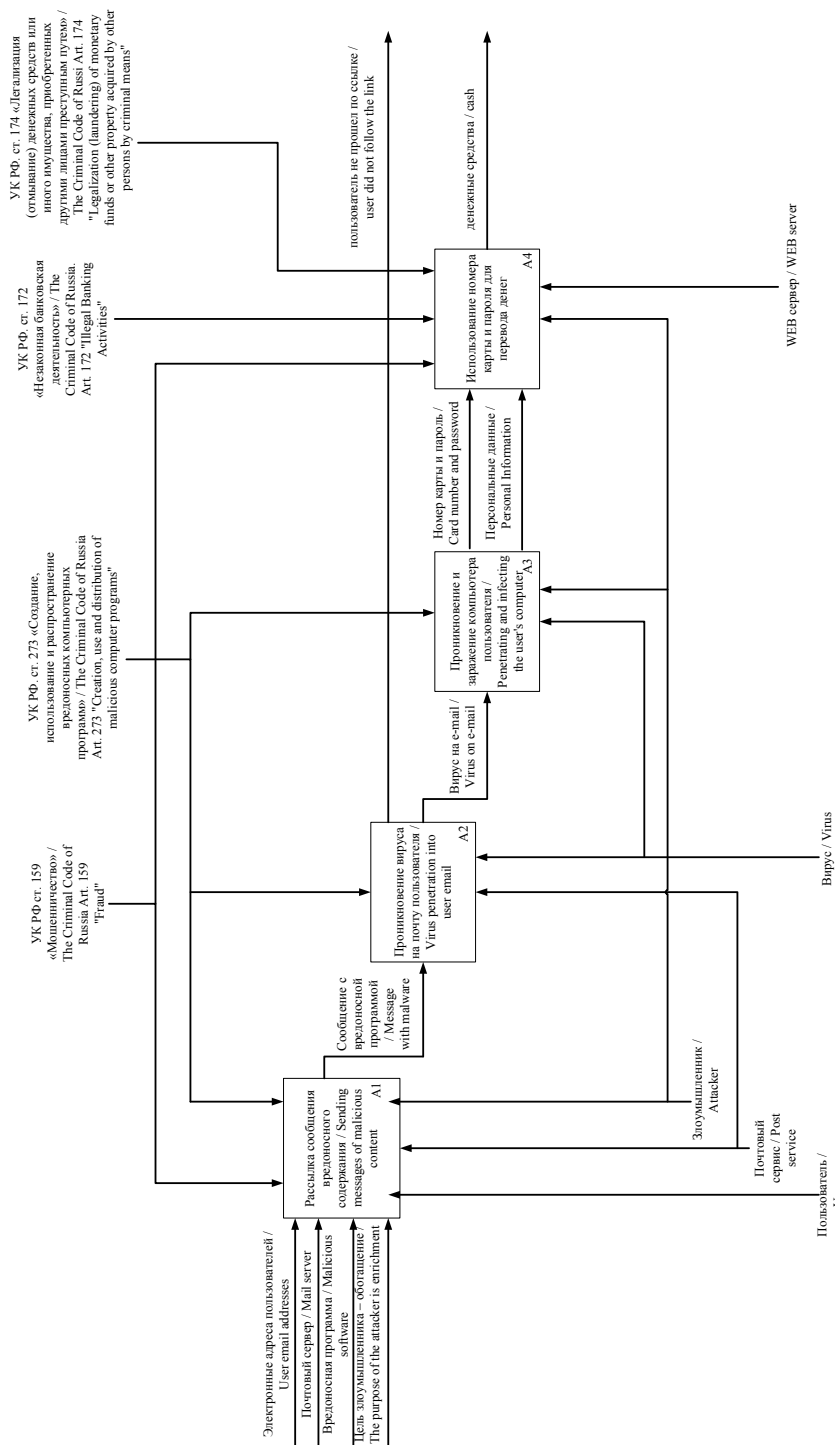


Рис. 1. Диаграмма A0 реализации кибератаки похищения денежных средств на основе методов социальной инженерии
Fig. 1. Diagram A0 of the implementing the cyberattack of stealing money based on the methods of social engineering

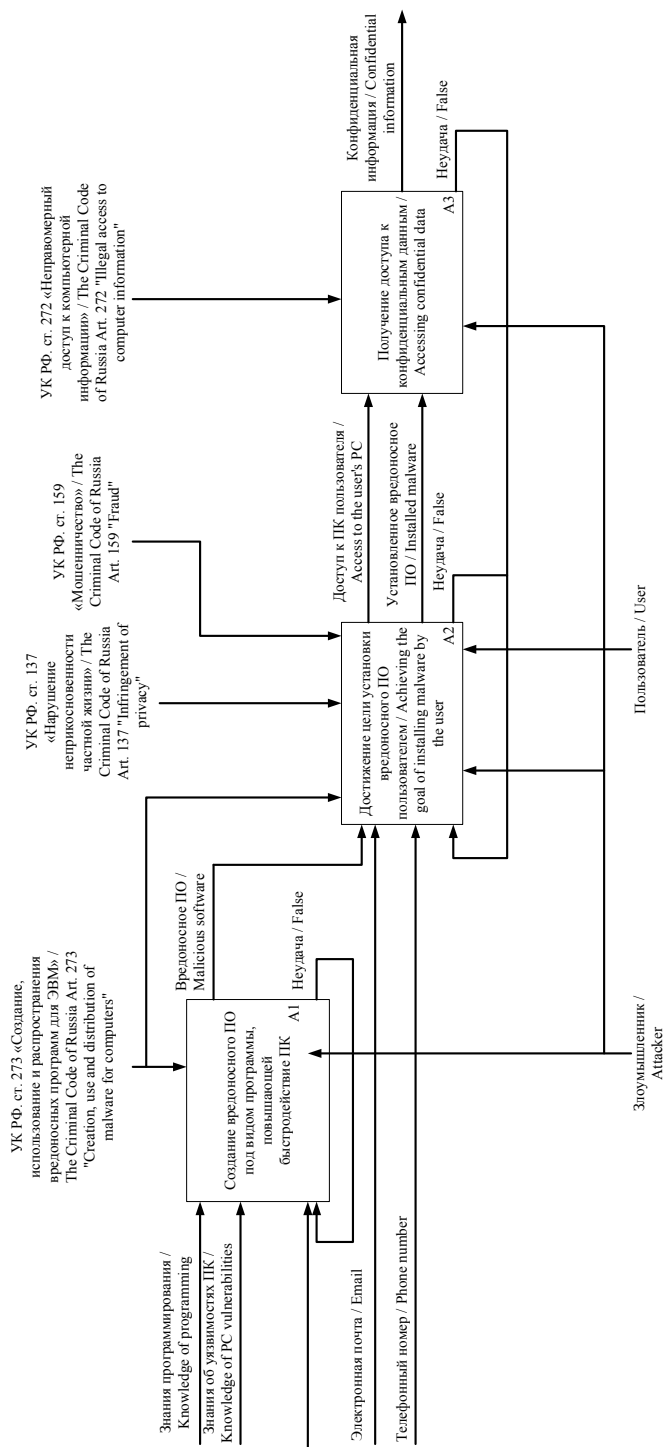


Рис. 2. Диаграмма A0 реализации кибератаки хищения конфиденциальных данных на основе метода социальной инженерии «кви про кво»
Fig. 2. Diagram A0 of the implementing of the cyber attack of stealing confidential data on the basis of the social engineering method "qui pro quo"

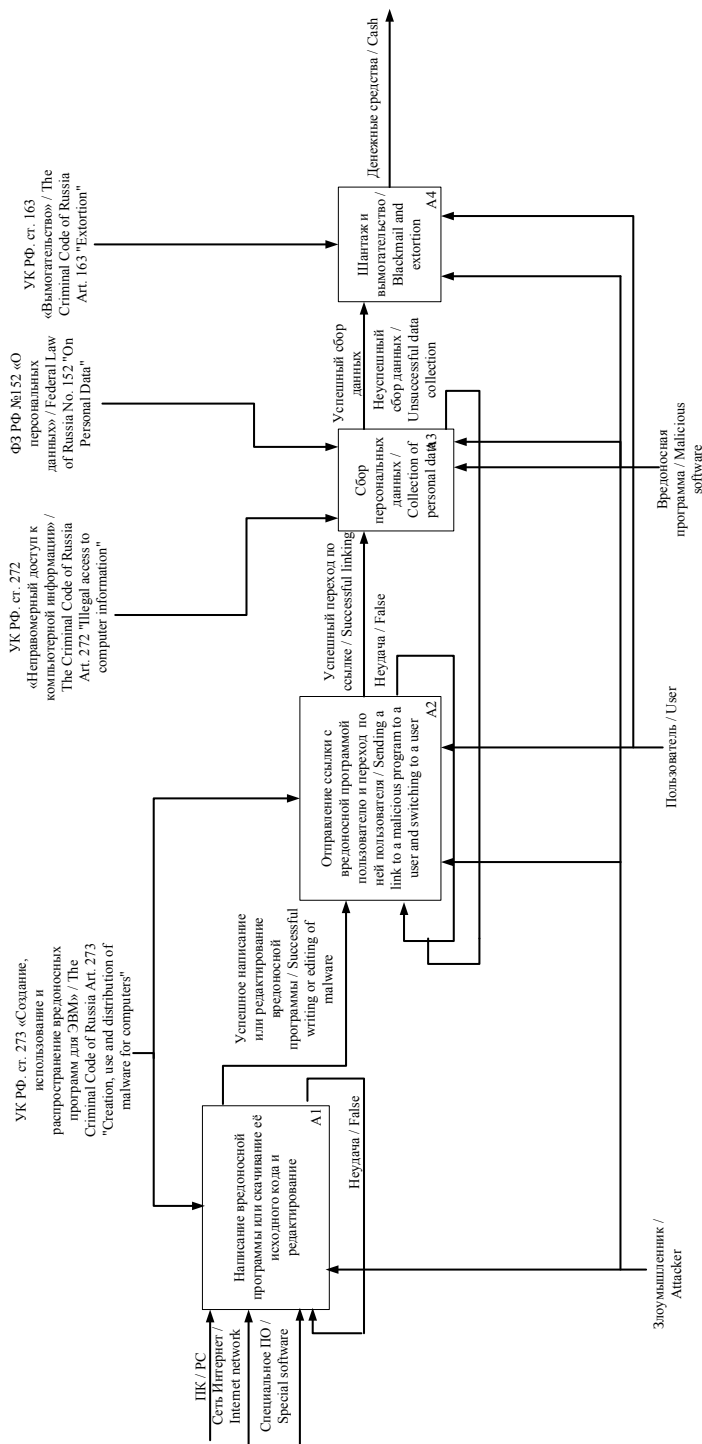


Рис. 3. Диаграмма A0 реализации кибератаки получения денежных средств методами социальной инженерии
Fig. 3. Diagram A0 of the implementing of the cyber attack of obtaining financial means by methods of social engineering

На основе анализа литературных источников [1–32] были выявлены основные уязвимости систем OSN:

1. Анализ сетевого трафика – исследование характеристик сетевого трафика, перехват передаваемых данных, в том числе идентификаторов и паролей пользователей.

2. Сканирование сети – определение протоколов, доступных портов сетевых служб, законов формирования идентификаторов соединений, активных сетевых сервисов, идентификаторов и паролей пользователей.

3. Угроза выявления пароля – выполнение любого действия, связанного с получением несанкционированного доступа.

4. Подмена доверенного объекта сети – изменение трассы прохождения сообщений, несанкционированное изменение маршрутно-адресных данных. Несанкционированный доступ к сетевым ресурсам, навязывание ложной информации.

5. Внедрение ложного объекта сети – перехват и просмотр трафика. Несанкционированный доступ к сетевым ресурсам, навязывание ложной информации.

6. Отказ в обслуживании – частичное истощение ресурсов (снижение пропускной способности каналов связи, производительности сетевых устройств. Снижение производительности серверных приложений), истощение ресурсов (невозможность передачи сообщений из-за отсутствия доступа к среде передачи, отказ в установлении соединения. Отказ в предоставлении сервиса (электронной почты, файлового и т. д.), нарушение логической связанности между атрибутами, данными, объектами (невозможность передачи сообщений из-за отсутствия корректных маршрутно-адресных данных). Невозможность получения услуг ввиду несанкционированной модификации идентификаторов, паролей и т. д., использование ошибок в программах (нарушение работоспособности сетевых устройств);

7. Удаленный запуск приложений – рассылка файлов, содержащих деструктивный исполняемый код, вирусное заражение (нарушение конфиденциальности, целостности, доступности информации), использование возможностей удаленного управления системой, предоставляемых скрытыми программными и аппаратными закладками либо используемыми штатными средствами (скрытое управление системой).

На рис. 4 представлена схема угроз в системах OSN. Модель угроз информационной безопасности должна определять:

– защищаемые объекты;

– основные угрозы безопасности информации, включая угрозы технологического характера, стихийные бедствия и угрозы, реализуемые нарушителями;

– критерии уязвимости и устойчивости информационных систем к деструктивным воздействиям [33].

Обобщенный алгоритм распространения таргетированной информации в OSN

Предложенный алгоритм распространения был разработан на основе анализа работ [2–4; 29; 34–37].

1. Начало.

2. Шаг 1: выявить пользователя (группу пользователей), для которого предназначена таргетированная информация – объект атаки.

3. Шаг 2: определить влиятельного пользователя – лидера распространения таргетированной информации.

4. Шаг 3: принудить лидера распространить таргетированную информацию или распространить информацию от лица лидера, используя методы социальной инженерии.

5. Конец.

Алгоритм распространения таргетированной информации в OSN можно представить совокупностью исходных данных и результатов работы, которые позволят формализовать различные сценарии атак (табл. 1).

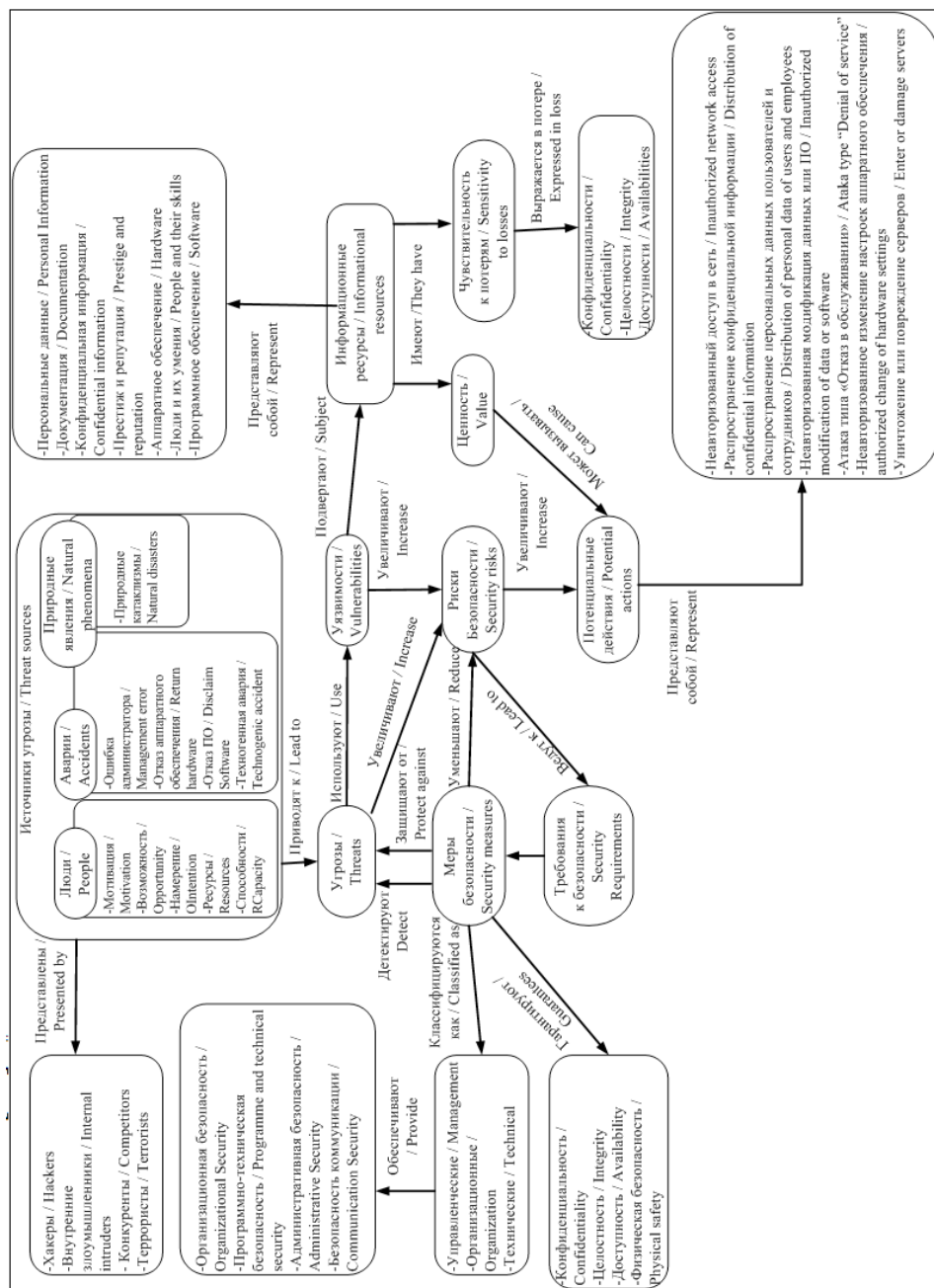


Рис. 4. Схема угроз в системах OSN

Fig. 4. Threat Scheme in OSN Systems

Т а б л и ц а 1

**Параметры обобщенного алгоритма распространения
таргетированной информации в OSN**

Вид группы параметров	Обозначение параметра	Интерпретация параметра
1	2	3
Входные параметры $X = \{x_1, \dots, x_j\}$ – пользователи OSN	$x_1 = \{x_1^i \mid i = \overline{1, n}\}$ – идентификатор пользователя	x_1^1 – графическое изображение пользователя, x_1^2 – ФИО, x_1^3 – логин пользователя, x_1^4 – возраст, x_1^5 – характеристика пользователя (интересы, принадлежность к сообществам OSN, образование, место проживания и т. д.)
	$x_2 = \{x_2^j \mid j = \overline{1, m}\}$ – посты пользователя социальной сети	x_2^1 – количество постов, x_2^2 – количество комментариев к постам, x_2^3 – геолокация постов
	$x_3 = \{x_3^\gamma \mid \gamma = \overline{1, s}\}$ – оценки постов и сообщений	x_3^1 – количество оценок других пользователей «мне нравится», x_3^2 – количество репостов сообщений другими пользователями сообществ, x_3^3 – количество сообщений в других OSN, x_3^4 – количество сообщений личного диалога пользователя
	$x_4 = \{x_4^\lambda \mid \lambda = \overline{1, \beta}\}$ – друзья и подписчики	x_4^1 – количество подписчиков пользователя, x_4^2 – количество друзей пользователя
	$x_5 = \{x_5^\sigma \mid \sigma = \overline{1, p}\}$ – профиль страницы пользователя	x_5^1 – закрытый профиль, x_5^2 – открытый профиль
	$x_6 = \{x_6^k \mid k = \overline{1, \tau}\}$ – посты	x_6^1 – количество постов пользователя, x_6^2 – ссылки на собственные сайты, другие OSN, x_6^3 – количество репостов
	$x_7 = \{x_7^d \mid d = \overline{1, w}\}$ – цель злоумышленника	x_7^1 – финансовая выгода, x_7^2 – самоутверждение перед самим собой, x_7^3 – самоутверждение перед лицом какого-либо сообщества/общества OSN, x_7^4 – возмездие знакомым пользователям, сообществу, мировой системе, x_7^5 – возмездие предприятию-работодателю, x_7^6 – преимущество в конкурентной борьбе, x_7^7 – удовлетворение хулиганских мотивов, x_7^8 – удовлетворение интереса, исследовательских целей



1	2	3
Параметры внутренних состояний алгоритма $Z = \{z_1, \dots, z_y\}$ – использование методов социальной инженерии пользователем OSN	$z_1 = \{z_1^i \mid i = \overline{1, k}\}$ – использование методов получения доступа к данным авторизации	z_1^1 – использование новых уязвимостей OSN и различных протоколов передачи данных, z_1^2 – использование известных уязвимостей и протоколов передачи данных, z_1^3 – распространение ссылок на сайты, содержащие известные вредоносные программы, z_1^4 – распространение копий известных вредоносных программ, z_1^5 – распространение ссылок на сайты, содержащие новые самописные вредоносные программы, z_1^6 – распространение копий новых самописных вредоносных программ, z_1^7 – распространение ссылок на фишинговые сайты, z_1^8 – использование атаки прямого перебора, z_1^9 – использование атаки по словарю, z_1^{10} – использование радужных таблиц, z_1^{11} – взлом аккаунта пользователя, z_1^{12} – взлом почтового ящика пользователя, z_1^{13} – кража и ознакомление с файлами конфиденциальной информации путем использования доступа к сети организации, z_1^{14} – кража и ознакомление с файлами конфиденциальной информации путем использования физического доступа к компьютеру пользователя.
	$z_2 = \{z_2^x \mid x = \overline{1, s}\}$ – использование методов социальной инженерии для получения доступа к данным авторизации	z_2^1 – использование различных предложений для получения пароля личных знакомых, z_2^2 – использование легенды для получения пароля пользователя, z_2^3 – распространение вредоносного программного обеспечения, маскирующегося в системе защиты, z_2^4 – использование инфицированных физических носителей информации для получения паролей («Дорожное яблоко»), z_2^5 – использование подхода установления доверительных отношений, z_2^6 – использование шантажа, z_2^7 – установление договоренностей с лидером OSN под предлогом распространения благотворительной информации социальной направленности, z_2^8 – установление договоренностей с лидером OSN под предлогом распространения рекламной информации с последующим вознаграждением, z_2^9 – установление договоренностей с лидером OSN для распространения информации путем апелляции к иным скрытым мотивам (самоутверждение, обладание информацией)

1	2	3
	$z_3 = \{z_3^{\tau} \mid \tau = \overline{1, \omega}\}$ – использование методов социальной инженерии, направленных на друзей лидера социальной сети	z_3^1 – использование методов получения доступа к данным авторизации ($z_1 = \{z_1^i \mid i = \overline{1, k}\}$) для взлома друга лидера, z_3^2 – установление договоренностей с другом лидера OSN под предлогом распространения благотворительной информации социальной направленности, z_3^3 – установление договоренностей с другом лидера социальной сети под предлогом распространения рекламной информации с обещаниями вознаграждения как лидеру, так и другу, z_3^4 – установление договоренностей с другом лидера OSN для распространения информации путем апелляции к иным скрытым мотивам (нематериальная выгода, самоутверждение, осведомленность)
Выходные параметры: $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$ – реализованные цели злоумышленника	y_1^1 – материальный интерес, y_1^2 – самоутверждение перед самим собой, y_1^3 – самоутверждение перед лицом сообщества/общества, y_1^4 – месь знакомым, y_1^5 – месь сообществу, y_1^6 – месь мировой системе, y_1^7 – месь предприятию-работодателю, y_1^8 – преимущество в конкурентной борьбе, y_1^9 – хулиганство, y_1^{10} – интерес	

Table 1

Parameters of the generalized algorithm of the targeted information distribution in OSN

View of a group of parameters	Parameter designation	Parameter interpretation
1	2	3
Input parameters $X = \{x_1, \dots, x_j\}$ – OSN users	$x_1 = \{x_1^i \mid i = \overline{1, n}\}$ – user ID	x_1^1 – graphical user image, x_1^2 – full name, x_1^3 – user's login, x_1^4 – age, x_1^5 – characteristics of the user (interests, belonging to social networking communities, education, place of residence, etc.)
	$x_2 = \{x_2^j \mid j = \overline{1, m}\}$ – posts of the user of social network	x_2^1 – number of posts, x_2^2 – number of comments on posts, x_2^3 – geolocation of posts
	$x_3 = \{x_3^{\gamma} \mid \gamma = \overline{1, s}\}$ – posts and messages assess	x_3^1 – number of likes, x_3^2 – number of messages from other community users, x_3^3 – number of messages in other social networks, x_3^4 – number of messages of the user's personal dialogue
	$x_4 = \{x_4^{\lambda} \mid \lambda = \overline{1, \beta}\}$ – friends and subscribers	x_4^1 – number of subscribers, x_4^2 – number of friends



Table 1 continuation

1	2	3
	$x_5 = \{x_5^\sigma \mid \sigma = \overline{1, p}\}$ – user's profile	x_5^1 – closed profile, x_5^2 – open profile
	$x_6 = \{x_6^k \mid k = \overline{1, \tau}\}$ – posts	x_6^1 – number of posts, x_6^2 – links to own sites, other social networks, x_6^3 – number of reposts
	$x_7 = \{x_7^d \mid d = \overline{1, w}\}$ – target of attacker	x_7^1 – financial benefit, x_7^2 – self-assertion before oneself, x_7^3 – self-assertion in the face of any community/social network society, x_7^4 – revenge to familiar users, the community, the world system, x_7^5 – revenge to the employing enterprise, x_7^6 – advantage in competition, x_7^7 – hooliganism, x_7^8 – personal interest, research objectives
Parameters of the internal states of the algorithm $Z = \{z_1, \dots, z_y\}$ – using the social engineering methods by OSN user	$z_1 = \{z_1^i \mid i = \overline{1, k}\}$ – using the methods for accessing authorization data	z_1^1 – using the new vulnerabilities of the social network and various data transfer protocols, z_1^2 – using the known vulnerabilities and data transfer protocols, z_1^3 – distribution of links to sites containing known malicious programs, z_1^4 – distribution of copies of known malware, z_1^5 – distribution of links to sites containing new self-described malicious programs, z_1^6 – distribution of copies of new malicious programs, z_1^7 – distribution of links to fishing sites, z_1^8 – using a direct attack, z_1^9 – using a dictionary attack, z_1^{10} – using a rainbow tables, z_1^{11} – hacking user account, z_1^{12} – hacking user's mailbox, z_1^{13} – theft and review of confidential information files by using access to the organization's network, z_1^{14} – theft and review of confidential information files by using physical access to the user's computer

	$z_2 = \{z_2^x \mid x = \overline{1, s}\}$ – using the social engineering techniques to gain access to authorization data	z_2^1 – using various pretexts for obtaining the password of personal acquaintances, z_2^2 – using a legend to retrieve a user password, z_2^3 – distribution of malicious software masquerading in the protection system, z_2^4 – using the infected physical media for obtaining passwords - Road apple, z_2^5 – using the trust relationship approach, z_2^6 – blackmail, z_2^7 – agreements with a leader of the social network under the pretext of distribution of charity social information, z_2^8 – agreement with a leader of a social network under the pretext of distributing advertising information with subsequent reward, z_2^9 – agreement with a leader of the OSN for the dissemination of information, appealing to other hidden motives (self-assertion, possession of information)
	$z_3 = \{z_3^r \mid r = \overline{1, \omega}\}$ – using the social engineering techniques aimed at the friends of the leader of the social network	z_3^1 – using the methods of access to authorization data ($z_1 = \{z_1^i \mid i = \overline{1, k}\}$) for hacking the leader's friend, z_3^2 – agreement with a friend of the OSN leader under the pretext of distributing charity social information, z_3^3 – agreement with a friend of the leader of the social network under the pretext of distributing advertising information with promises of reward to both the leader and a friend, z_3^4 – agreement with a friend of the leader of the OSN for the distribution of information, appealing to other hidden motives (non-material gain, self-affirmation, awareness)
Output parameters: $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$ – realized targets of attacker	y_1^1 – money, y_1^2 – self-assertion before oneself, y_1^3 – self-assertion in the face of community/society, y_1^4 – revenge to friends, y_1^5 – revenge to community, y_1^6 – revenge to world system, y_1^7 – revenge to employer, y_1^8 – advantage in competition, y_1^9 – hooliganism, y_1^{10} – interest	

Параметры $X = \{x_1, \dots, x_j\}$, представленные табл. 1, могут характеризовать одну из двух моделей потенциального нарушителя информационной безопасности OSN:

– пользователи, осуществляющие преднамеренные действия с целью доступа к информации (воздействия на информацию), содержащейся в OSN, или нарушения функционирования

OSN или обслуживающей ее инфраструктуры (преднамеренные угрозы);

– пользователи, непреднамеренные действия которых могут привести к нарушению безопасности информации (непреднамеренные угрозы).

Целью моделирования нарушителя безопасности информации является формирование предположений о потенциальных возможностях реальных



нарушителей при реализации ими угроз в OSN. Модель нарушителя является частью модели угроз безопасности OSN и содержит:

- уровень физического доступа к информации в OSN;
- уровень логического доступа к информации в OSN;
- уровень компетенции нарушителя безопасности информации;
- уровень оснащенности нарушителя безопасности информации;
- мотивацию (цель) нарушителя безопасности информации [38].

В статье детализация внутренних состояний обобщенного алгоритма распространения таргетированной информации в OSN заложена в основу методики защиты от таргетированной информации.

Для разработки методики защиты от таргетированной информации необходимо выявить современное состояние информационного обмена в OSN. Для этого необходимо исследовать поведение пользователей в различных ситуациях, связанных с распространением таргетированной информации в OSN.

Обработка социальной информации в ситуациях распространения таргетированной информации в OSN

В исследовании приняли участие 2 499 пользователей социальных сетей Twitter, Facebook, ВКонтакте, являющихся модераторами (администраторами) сообществ пользователей Российской Федерации; возраст – от 17 до 30 лет. Все они участвовали в тестовом опросе, касающемся ситуаций распространения нежелательной информации в OSN и противодействия распространению таргетированной информации. Пользователи OSN участвуют в многочисленных ситуациях, связанных с распространением нежелательной информации как в роли жертвы, так и в роли потенциального злоумышленника. Благодаря этому они могут служить объектом изучения процесса принятия решения, фактов в ситуациях повышенного

риска распространения нежелательной информации в OSN.

Анонимные тестовые опросы проводились в течение 6 месяцев в 2016–2017 гг. Один тестовый опрос пользователя длился ~ 1 ч. Опрос проводился с помощью тестовых бланков; результаты обрабатывались в статистическом пакете Statistica 10.0. Все респонденты дали добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

Было изучено влияние обработки социальной информации, ситуационных и личностных параметров на повышение вероятности распространения нежелательной информации. Для этого была собрана информация от респондентов о ситуациях получения, распространения нежелательной информации и купирования тех, в которых они участвовали.

Ситуация получения таргетированной информации определяется как принудительное доведение потенциальным злоумышленником информационного сообщения средствами OSN и систем микроблоггинга до потенциальной жертвы для достижения своей цели. Ситуация распространения нежелательной информации предполагает массовую передачу потенциальным злоумышленником информационных сообщений пользователям OSN для достижения своей цели. Ситуация противодействия распространению нежелательной информации – это ситуация, в которой распространение информации, воспринимавшееся пользователем как возможное, не произошло по любой причине (например, блокировка подозрительного аккаунта, рассылающего спам).

Значения параметров тестового опроса представлены в бинарной шкале. Все параметры принимают значения либо «0», либо «1», что позволяет выявлять меры связи между ними. В соответствии с теорией обработки социальной информации (ТОСИ) проанализируем процесс принятия решения злоумышленником в ситуации распространения таргетированной информации. ТОСИ –

это социальный когнитивный подход, основанный на допущении, что человек «вступает в социальную ситуацию с набором биологически ограниченных возможностей и с базой данных о своем прошлом опыте» [39].

Средний возраст респондентов составил 22 года. Из них 74,99 % – мужчины, остальные – женщины. Более половины респондентов имеют законченное высшее образование (65,98 %). Большинство указали на принадлежность к низшему классу (70,99 %), поскольку респонденты являются студентами с основным источником доходов в виде стипендии и случайного заработка. Остальные респонденты относят себя к среднему классу (в 26 % случаев это магистранты и аспиранты, которые имеют возможность полноценно трудиться и заниматься наукой). 69,03 % респондентов не состоят в браке; 23,97 % имеют гражданского партнера; 7 % состоят в официальном браке. 81,03 % респондентов сообщили, что обладают средним уровнем знаний в IT-сфере, что объяснимо стремлением получить качественные знания в процессе обучения в вузе, а также возможностью совершенствования «безобидных» кибератак. Практически равномерным распределением процентного отношения респондентов к общему числу респондентов оказался параметр «принадлежность к социаль-

ной сети»: к группам OSN «хобби, развлечения» относится 21,93 %, «образование» – 23,01 %, «религия» – 23,09 %, «знакомства» – 25,21 %, «бизнес» – 23,41 %, «проблема, беда» – 22,09 %.

Массовая популяризация основ информационной безопасности пользователей в OSN дает эффект фильтрации пользователем случайных аккаунтов в числе подписчиков и друзей: 39,98 % респондентов указали, что имеют < 50 аккаунтов-подписчиков, а 40,02 % – от 100 до 200 аккаунтов.

Респондентов сообщили о более чем 20 тыс. нежелательных сообщений, поступивших от различных пользователей OSN (табл. 2). За анализируемый промежуток времени 33,41 % пользователей получали от 4 до 10 сообщений, содержащих нежелательную информацию; 11,72 % отметили, что не получали подобные сообщения. В 39,98 % случаев отправителем сообщений, содержащих нежелательную информацию являются неизвестных пользователей; в 30,01 % – «фейковые» аккаунты. Реже всего такие сообщения приходят от друзей (5,00 %) и администраторов (модераторов) различных сообществ OSN (5,00 %). Данная статистика характеризуется тем, что друзья редко подвергают друг друга такого рода рассылкам, а администраторы (модераторы) сообществ дорожат своей репутацией.

Т а б л и ц а 2

Table 2

Описательная статистика (за 6 месяцев) выборки из 2 499 пользователей о возможных ситуациях распространения таргетированной информации в социальных сетях

Descriptive statistics (for 6 months) sample of 2 499 users about possible situations of distribution of targeted information in social networks

Переменная / Variable	Частотность / Frequency	%
1	2	3
Количество получаемых сообщений нежелательного содержания / Number of unwanted content messages received		
не получал / did not receive	293	11,72
менее 3 раз / less than 3 times	732	29,29



Продолжение табл. 2 / Table 2 continuation

1	2	3
от 4 до 10 раз / from 4 to 10 times	835	33,41
от 11 до 15 раз / from 11 to 15 times	328	13,13
от 16 до 20 раз / from 16 to 20 times	210	8,40
более 20 раз / more than 20 times	101	4,04
Отправитель сообщений нежелательного содержания / Who is the sender of unwanted messages in the social network?		
пользователи сообществ OSN / users of social network communities	500	20,01
модератор (администратор) OSN / Moderator (administrator) of the social network	125	5,00
фейковый аккаунт / fake account	750	30,01
друг / friend	125	5,00
неизвестный пользователь / unknown user	999	39,98
Содержание сообщений нежелательного содержания / Content of unwanted messages		
ссылка на вредоносный код / malicious code link	343	13,73
ссылка на фишинг сайт / link to fishing site	404	16,17
вовлечение в террористические группы / involvement in terrorist groups	362	14,49
вовлечение в сомнительные группы / involvement in suspicious groups	372	14,89
спам / spam	377	15,09
реклама товаров, услуг / advertising of goods and services	369	14,77
Количество кибератак на ваш аккаунт / Number of cyber attacks on the account		
нет / no	2 145	85,83
менее 3 раз / less than 3 times	353	14,13
от 4 до 10 раз / from 4 to 10 times	1	0,04
от 11 до 15 раз / from 11 to 15 times	0	0,00
более 15 раз / more than 15 times	0	0,00
Количество обращений в службу технической поддержки / Number of calls to technical support services		
не обращался / did not apply	1 994	79,79

Продолжение табл. 2 / Table 2 continuation

1	2	3
менее 5 раз / less than 5 times	266	10,64
от 5 до 20 раз / from 5 to 20 times	204	8,16
от 20 до 30 раз / from 20 to 30 times	35	1,40
от 30 до 50 раз / from 30 to 50 times	0	0,00
более 50 раз / more than 50 times	0	0,00
Количество обращений к модератору (администратору) OSN для блокировки определенного пользователя / Number of calls to the moderator (administrator) of the social network to block a specific user		
не обращался / did not apply	1 637	65,51
менее 5 раз / less than 5 times	676	27,05
от 5 до 20 раз / from 5 to 20 times	142	5,68
от 20 до 30 раз / from 20 to 30 times	0	0,00
от 30 до 50 раз / from 30 to 50 times	44	1,76
более 50 раз / more than 50 times	0	0,00
Сколько раз вам поступали предложения, как модератору (администратору) сообщества OSN сделать рассылку информационных сообщений нежелательного содержания пользователям вашего сообщества / How many times have you received suggestions, as a moderator (administrator) of the social network community, to send out information messages with unwanted content to users in your community?		
не поступали / did not arrive	337	13,49
менее 5 раз / less than 5 times	980	39,22
от 5 до 20 раз / from 5 to 20 times	690	27,61
от 20 до 30 раз / from 20 to 30 times	152	6,08
от 30 до 50 раз / from 30 to 50 times	171	6,84
более 50 раз / more than 50 times	169	6,76
Достигли ли вы своей цели путем распространения нежелательной информации, согласившись на рассылку информационных сообщений / Did you achieve your goal through disseminating unwanted information by agreeing to send out information messages?		
да / yes	1 646	65,87
нет / no	516	20,65
Количество обращений в службу технической поддержки с просьбой заблокировать аккаунт пользователя, распространяющего нежелательную информацию / How many times have you contacted the technical support service to block the user account that is distributing unwanted information?		
не обращался / did not apply	250	10,00



Окончание табл. 2 / End of table 2

1	2	3
менее 5 раз / less than 5 times	874	34,97
от 5 до 20 раз / from 5 to 20 times	1 000	40,02
от 20 до 30 раз / from 20 to 30 times	250	10,00
более 30 раз / more than 30 times	125	5,00
Количество ключевых словосочетаний/слов в базе данных сообщества (где вы являетесь модератором) для фильтрации сообщений / How many key phrases / words in the community database (where you are a moderator) for message filtering?		
менее 10 / less than 10	250	77,01
от 10 до 15 / from 10 to 15	249	9,96
от 15 до 20 / from 15 to 20	500	10,01
более 20 / more than 20	1 500	3,02

Респонденты отметили наличие всех предложенных вариантов содержания нежелательных сообщений (в приблизительно равном соотношении: 15 ± 1 %). Это вредоносные программы, ссылки на фишинг-сайты, вербовка в террористические группировки, вовлечение в сомнительные группы, спам, реклама товаров и услуг. 85,83 % респондентов отметили отсутствие кибератак на их аккаунты и, следовательно, обращений в службу технической поддержки (79,79 %). Вероятнее всего, это обусловлено недостаточным промежутком времени исходной выборки (6 месяцев).

Пользователи OSN часто просят друг друга помочь в рассылке какой-либо информации (например, призыва о помощи). По статистике, большинству респондентов сообщения подобного рода поступали < 5 раз (39,22 %) или не поступали вовсе (13,49 %). Соглашаясь на рассылку таких сообщений, многие респонденты преследуют финансовую выгоду (71,67 %) или цель самоутвердиться (54,94 %). 65,87 % респондентов отметили, что достигли своих целей средствами рассылки информации нежелательного содержания. Рассылку таргетированной информации можно предотвратить путем

фильтрации информационных сообщений пользователей OSN. Так 77,01 % респондентов отметили, что ключевых словосочетаний/слов в базе данных фильтрации сообщений составляет < 10. Кроме того, следует учитывать семантику ключевых словосочетаний/слов для фильтрации сообщений.

Согласно результатам исследования, потенциальный злоумышленник может использовать различные способы распространения нежелательной информации в зависимости от поставленных целей. Самыми простыми и краткосрочными являются принуждение и привлечение администраторов (модераторов) сообществ в OSN, поскольку они чаще всего обладают высоким уровнем доверия среди пользователей и вероятность достижения своих целей злоумышленником в данном случае высока.

Результаты исследования

На основе исследования социальной информации в ситуациях распространения таргетированной информации в OSN в статье предложена методика защиты от распространения таргетированной информации в OSN (рис. 5), которая представляет собой последовательность шагов:

1. Классификация пользователей OSN.
2. Защита лидеров OSN.
3. Совершенствование правил фильтрации сообщений пользователей.
4. Выработка рекомендаций по защите от распространения таргетированной информации в OSN.

Формально данную методику можно представить в следующем виде:

$K = \{k_1, k_2, k_3, k_4\}$ – множество функциональных блоков методики, где k_1 – классификация пользователей OSN, k_2 – защита лидеров OSN, k_3 – совершенствование правил фильтрации сообщений пользователей, k_4 – выработка рекомендаций по защите от распространения таргетированной информации в OSN.

$\tilde{O} = \{x_i \mid i = \overline{1, n}\}$ – множество входных параметров, где x_1 – образы злоумышленников; x_2 – критерии классификации потенциальных злоумышленников; x_3 – антивирусное ПО; x_4 – параметры пользователя-лидера OSN; x_5 – параметры, характеризующие поведение пользователя-лидера OSN; x_6 – множество сообщений пользователей; x_7 – критерии оцени-

вания информации сообщений пользователей; x_8 – правила классификации информационных сообщений пользователей; x_9 – правила формирования рекомендаций по защите от таргетированной информации; x_{10} – множество пользователей OSN.

$Z = \{z_\varphi \mid \varphi = \overline{1, s}\}$ – множество внутренних параметров методики, где z_1 – перечень лидеров OSN; z_2 – информационные сообщения о необходимости соблюдения мер безопасности; z_3 – аутентификация с использованием технических средств связи; z_4 – профиль пользователя-лидера OSN; z_5 – база данных действий пользователя-лидера OSN; z_6 – принятие решений о блокировке аккаунта; z_7 – база данных сообщений таргетированной информации; z_8 – ожидаемые сообщения пользователя OSN; z_9 – нежелательные сообщения пользователя OSN.

$Y = \{y_j \mid j = \overline{1, m}\}$ – множество выходных параметров методики, где y_1 – заблокированные пользователи; y_2 – информационное сообщение о возможной реализации атаки; y_3 – рекомендации о принятии необходимых мер обеспечения информационной безопасности.

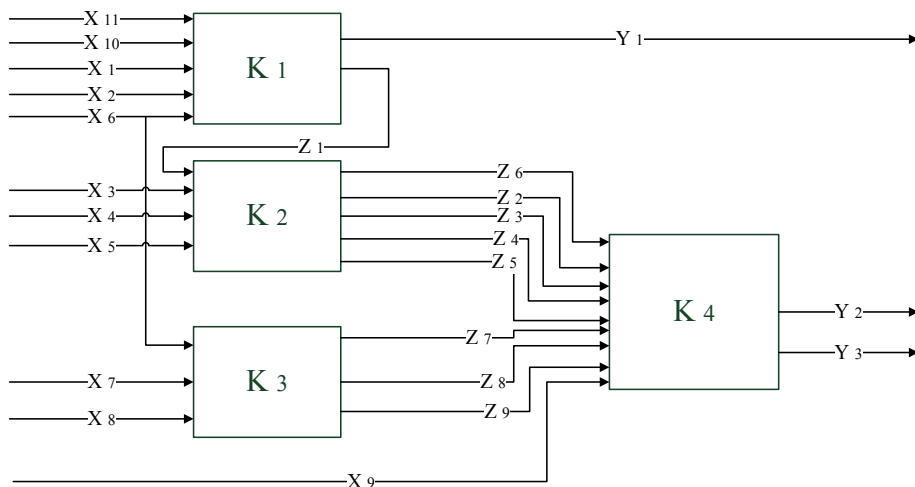


Рис. 5. Структурная схема методики защиты от таргетированной информации
Fig. 5. Structural diagram of the method for protection against targeted information



Функциональный блок «Классификация пользователей OSN» включает:

1) классификацию пользователей на основе образов злоумышленников и выявление подозрительных пользователей;

2) классификацию потенциальных злоумышленников на основе уровня активности (действий) в отношении пользователей OSN за определенное время t_1 ;

3) принятие решения о блокировании пользователей на основе п. 1 и п. 2 данного функционального блока;

4) классификацию пользователей OSN на основе образов «пользователь-лидер OSN».

Функциональный блок «Защита лидеров OSN» включает:

1) обучение и предостережение лидеров сети – введение мер по обучению лидеров OSN основам информационной безопасности (аккаунты лидеров являются критическими ресурсами, при получении доступа к которым злоумышленник сможет распространить таргетированную информацию большому количеству пользователей) путем рассылки информационных сообщений, содержащих напоминания о необходимости соблюдения мер информационной безопасности;

2) осуществление технических мер защиты: аутентификация с помощью смартфона (телефона), использование антивирусного ПО, аутентификация с помощью аппаратных средств, автоматическая проверка пароля на соответствие рекомендациям информационной безопасности;

3) анализ поведения лидера в OSN: разработка профиля пользователя (определение параметров пользователей и их граничных значений), создание базы данных действий пользователей с последующим обновлением, классификация поведения пользователя в OSN, разработка модели динамического изменения профиля пользователя и алгоритма определения аномально-

го поведения пользователя. В случае, если поведение пользователя в сети является аномальным, то осуществляется информационное уведомление о том, что он является подозрительным, с последующей блокировкой аккаунта.

Функциональный блок «Совершенствование правил фильтрации сообщений пользователей» включает этапы:

1) формирование базы данных сообщений пользователей, содержащих таргетированную информацию, распространяемую в OSN на основе анализа данных заблокированных пользователей;

2) разработка критериев оценивания информации сообщений пользователей;

3) формирование базы правил классификации информации сообщений пользователей;

4) детализация базы данных сообщений пользователей, содержащих таргетированную информацию, и их классификация на ожидаемые и нежелательные на основе критериев оценивания;

5) совершенствование базы правил классификации;

6) разработка модели фильтрации сообщений пользователей OSN.

Функциональный блок «Выработка рекомендаций по защите от таргетированной информации в OSN»:

1) формирование базы правил выработки рекомендаций по защите от таргетированной информации;

2) информирование пользователя OSN о возможной реализации атаки (вероятность реализации);

3) выработка рекомендаций о принятии необходимых мер обеспечения информационной безопасности.

Обсуждение и заключения

Перспективы дальнейшего исследования проблемы защиты от таргетированной информации мы видим в детальной проработке методики и разработке на ее основе модели защиты от таргетированной информа-

ции. Модель защиты от таргетированной информации в OSN позволит реализовать специальное ПО для его интегрирования в наиболее распространенные OSN, а пользователям – повысить безопасность использования личной информации в OSN и не попадаться на уловки злоумышленников. Предполагается, что специальное ПО будет представлять собой программный модуль – приложение, позволяющее:

- фильтровать личные сообщения пользователей, сообщений-записей (постов) пользователей сообществ OSN на основе модели фильтрации сообщений;

- в автоматизированном режиме блокировать пользователей, рассылающих нежелательную информацию на основе образов злоумышленников,

базы правил о блокировании пользователей;

- предоставлять рекомендации администраторам (модераторам) OSN о возможных угрозах реализации атак злоумышленниками и принятии контрмер по предотвращению кибератак в OSN.

Все это позволит проводить внешний мониторинг событий в OSN, а также осуществлять поиск уязвимостей в механизмах обмена мгновенными сообщениями для возможности реализации атак злоумышленниками, защите личной информации пользователей OSN. Результаты исследования позволяют на новом уровне применить активно развивающийся в настоящее время сетевой подход к исследованию неформальных сообществ.

Исследования в данном направлении будут продолжены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Bradbury D.** Spreading fear on facebook // *Network security*. 2012. Vol. 10. P. 15–17. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353485812700946>
2. **Kim Hak J.** Online social media networking and assessing its security risks // *International journal of security and its applications*. 2012. Vol. 6, no. 3. P. 11–18. URL: http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/32964814/onl_ine_sns.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1492687149&Signature=B%2FAelWq4LJCG61nlkV3Ihi9Beis%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DOnline_Social_Media_Networking_and_Asses.pdf
3. *Advanced social engineering attacks* / K. Krombholz [et al.] // *Journal of information security and applications*. 2014. Vol. 22. P. 1–10. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214212614001343>
4. **Fire M., Goldschmidt R., Elovici Y.** Online Social Networks: threats and solutions // *Journal of latex class files*. 2012. Vol. 16, no. 4. P. 1–19. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6809839/?reload=true>
5. **Coppock V.** Can you spot a terrorist in your classroom? Problematising the recruitment of schools to the «War on Terror» in the United Kingdom // *Global Studies of Childhood*. 2014. Vol. 4, no. 2. P. 115–125. DOI: <http://dx.doi.org/10.2304/gsch.2014.4.2.115>
6. **Ennaji M.** Recruitment of foreign male and female fighters to Jihad: Morocco's multifaceted counter-terror strategy // *International Review of Sociology*. 2016. Vol. 26, no. 3. P. 546–557. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03906701.2016.1244954>
7. **Klein G. R.** Ideology isn't everything: transnational terrorism, recruitment incentives, and attack casualties. // *Terrorism and Political Violence*. 2016. Vol. 26, no. 5 P. 868–887. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09546553.2014.961635>
8. **Mahood S., Rane H.** Islamist narratives in ISIS recruitment propaganda. // *The Journal of International Communication*. 2017. Vol. 23, no. 1. P. 1–21. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13216597.2016.1263231>
9. **Rodriguez A. B., Garcia J. S.** Social networks in 20 minutos, the one survivor of free distribution press in Spain // *Media and Metamedia Management*. 2017. P. 429–434. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-46068-0_56



10. **Akbari A., Mousavi S. M. A.** Criminological analysis of fraud in cyberspace // International journal of humanities and cultural studies. 2016. Special April. P. 56–64. URL: <https://www.ijhcs.com/index.php/ijhcs/article/view/543>
11. **Fedushko S., Bardyn N.** Algorithm of the cyber criminals identification // Global journal of engineering, design & technology. 2013. Vol. 4, no. 2. P. 56–62. URL: https://www.researchgate.net/profile/Solomia_Fedushko/publication/287646809_Algorithm_of_the_cyber_criminals_identification/links/56787f5e08ae502c99d5727e.pdf
12. **Nash R., Bouchard M., Malm A.** Investing in people: the role of social networks in the diffusion of a large-scale fraud // Social networks. 2013. Vol. 35, no. 4. P. 686–698. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873313000567>
13. Cybercrime and cybercriminals: a comprehensive study / R. Sabillon [et al.] // International journal of computer networks and communications security. 2016. Vol. 6, no. 4. P. 165–176. URL: http://www.ijcnscs.org/published/volume4/issue6/p1_4-6.pdf
14. **Yosefi Z., Ahmadi A.** Investigating computer fraud in criminal justice system of iran // Cumhuriyet science journal. 2015. Vol. 36, no. 3. P. 3556–3565. URL: <http://dergi.cumhuriyet.edu.tr/cumuscij/article/view/5000130788>
15. Online frauds: learning from victims why they fall for these scams / M. Button [et al.] // Australian & New Zealand journal of criminology. 2014. Vol. 47, no. 3. P. 391–408. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0004865814521224>
16. Anomaly detection in online social networks / D. Savage [et al.] // Social networks. 2014. Vol. 39. P. 62–70. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873314000331>
17. **Terlutter R., Capella M. L.** The gamification of advertising: analysis and research directions of in-game advertising // Advergaming, and Advertising in Social Network Games, The Gamification of Advertising. 2013. Vol. 42, no. 2-3. P. 95–112. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00913367.2013.774610>
18. Entertainment matters! The relationship between challenge and persuasiveness of an advergame for children / K. J. Martin [et al.] // Journal of Marketing Communications. 2012. Vol. 18. P. 69–89. URL: <http://sci-hub.cc/10.1080/13527266.2011.620766>
19. **Li S., Peitz M., Zhao X.** Information disclosure and consumer awareness // Journal of Economic Behavior & Organization. 2016. Vol. 128. P. 209–230. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268116300804>
20. **Johnson J. P.** Targeted advertising and advertising avoidance // Journal of Economics. 2013. Vol. 44, no. 1. P. 128–144. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1756-2171.12014/full>
21. Microblog sentiment orientation detection using user interactive relationship / L. Wang [et al.] // Journal of Electrical and Computer Engineering. 2016. P. 167–181. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7282913>
22. Model study of information dissemination in microblog community networks / L. Wang [et al.] // Discrete Dynamics in Nature and Society. 2016. P. 331–354. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2016/8393016/abs>
23. **Pellissier R., Tshilidzi E., Nenzhelele.** Towards a universal competitive intelligence process model: original research // South African Journal of Information Management. 2013. Vol. 15, no. 2. P. 1–7. URL: <http://www.sajim.co.za/index.php/SAJIM/article/view/567>
24. Actionable social media competitive analytics for understanding customer experiences / W. He [et al.] // Journal of Computer Information Systems. 2016. Vol. 56, no. 2. P. 145–155. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/08874417.2016.1117377>
25. **Trong Tuan Luu.** Competitive intelligence and other levers of brand performance // Journal of strategic marketing. 2013. Vol. 21, no 3. P. 217–239. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0965254X.2013.765501>
26. **Trong Tuan Luu.** Organizational social capital as a moderator for the effect of entrepreneurial orientation on competitive intelligence. // Journal of Strategic Marketing. 2015. Vol. 25, no. 4. P. 1–15. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0965254X.2015.1076884>
27. **Tucker C. E.** Social networks, personalized advertising, and privacy controls // Journal of Marketing Research. 2014. Vol. 51, no. 5. P. 546–562. DOI: <http://dx.doi.org/10.1509/jmr.10.0355>

28. **Najafloo Y., Jedari B., Xia F.** Safety Challenges and Solutions in Mobile Social Networks // IEEE Systems Journal. 2015. Vol. 9, no. 3. P. 834–854. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6642041>
29. **Fire M., Goldschmidt R., Elovici Y.** Online social networks: threats and solutions // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2014. Vol. 16, no. 4. P. 2019–2036. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6809839>
30. **Young A. L., Quan-Haase A.** Privacy protection strategies on Facebook // Information, Communication & Society. 2013. Vol. 16, no. 4. P. 479–500. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1369118X.2013.777757>
31. **Heatherly R., Kantarcioglu M., Thuraisingham B.** Preventing private information inference attacks on social networks // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2013. Vol. 25, no. 8. P. 1849–1862. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/829c/bf93318b1e2917740b8d368f85fb922ba97f.pdf>
32. **Тультаева И. В., Каптюхин Р. В., Тультаев Т. А.** Воздействие OSN на коммуникационные процессы в современном обществе // Вестник Волгоградского института бизнеса. 2014. № 4. С. 84–88. URL: <http://vestnik.volbi.ru/upload/numbers/429/article-429-970.pdf>
33. **Назаров А. Н., Галушкин А. И., Сычев А. К.** Риск-модели и критерии информационного противоборства в OSN // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10, № 7. С. 81–86. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26528114>
34. **Федоров П.** ВКонтакте опережает Instagram по числу зарегистрированных пользователей [Электронный ресурс]. URL: <http://siliconrus.com/2014/01/vkontakte-operezhaet-instagram-po-chislu-zaregistirovannyih-polzovateley>
35. Eset: аккаунты соцсетей 60 % пользователей рунета взламывались хакерами [Электронный ресурс]. URL: <http://www.securitylab.ru/news/442581.php>
36. Эмпирическая проверка теории обработки социальной информации и влияние эмоций в ситуациях насилия / К. Н. Боуэн [и др.] // Актуальные проблемы экономики и права. 2017. № 1. С. 189–207. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/empiricheskaya-proverka-teorii-obrabotki-sotsialnoy-informatsii-i-vliyaniye-emotsiy-v-situatsiyah-nasiliya>

Поступила 15.03.2017; принята к публикации 24.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторе:

Тумбинская Марина Владимировна, доцент кафедры систем информационной безопасности, Институт компьютерных технологий и защиты информации, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева» (Россия, г. Казань 420111, ул. К. Маркса, д. 10), кандидат технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3738-5242>**, tumbinskaya@inbox.ru

Автор прочитала и одобрила окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Bradbury D. Spreading fear on facebook. Network security. 2012; 10:15-17. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353485812700946>
2. Kim Hak J. Online social media networking and assessing its security risks. International Journal of Security and its Applications. 2012; 6(3):11-18. Available at: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32964814/onl_in_sns.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=149-2687149&Signature=B%2FAeIWq4LJCG61nlkV3Ihi9Beis%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DOnline_Social_Media_Networking_and_Asses.pdf
3. Krombholz K., Hobel H., Huber M., Weippl E. Advanced social engineering attacks. Journal of Information Security and Applications. 2014; 22:1-10. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214212614001343>
4. Fire M., Goldschmidt R., Elovici Y. Online social networks: threats and solutions. Journal of Latex Class Files. 2012; 16(4):1-19. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6809839/?reload=true>



5. Coppock V. Can you spot a terrorist in your classroom? Problematising the recruitment of schools to the “War on Terror” in the United Kingdom. *Global Studies of Childhood*. 2014; 4(2):115-125. DOI: <http://dx.doi.org/10.2304/gsch.2014.4.2.115>
6. Ennaji M. Recruitment of foreign male and female fighters to Jihad: Morocco’s multifaceted counter-terror strategy. *International Review of Sociology*. 2016; 26(3):546-557. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03906701.2016.1244954>
7. Klein G. R. Ideology isn’t everything: transnational terrorism, recruitment incentives, and attack casualties. *Terrorism and Political Violence*. 2016; 26(5):868-887. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09546553.2014.961635>
8. Mahood S., Rane H. Islamist narratives in ISIS recruitment propaganda. *The Journal of International Communication*. 2017; 23(1):1-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13216597.2016.1263231>
9. Rodriguez A. B., Garcia J. S. Social networks in 20 minutos, the one survivor of free distribution press in Spain. *Media and Metamedia Management*. 2017. P. 429-434. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-46068-0_56
10. Akbari A., Mousavi S. M. A. Criminological analysis of fraud in cyberspace. *International Journal of Humanities and Cultural Studies*. 2016. Special issue. April: 56-64. Available at: <https://www.ijhcs.com/index.php/ijhcs/article/view/543>
11. Fedushko S., Bardyn N. Algorithm of the cyber criminals identification. *Global Journal of Engineering, Design & Technology*. 2013; 4(2):56-62. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Solomia_Fedushko/publication/287646809_Algorithm_of_the_cyber_criminals_identification/links/56787f5e08ae502e99d5727e.pdf
12. Nash R., Bouchard M., Malm A. Investing in people: the role of social networks in the diffusion of a large-scale fraud. *Social Networks*. 2013; 35(4):686-698. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873313000567>
13. Sabillon R., Cano J., Cavaller V., Serra J. Cybercrime and cybercriminals: a comprehensive study. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*. 2016; 6(4):165-176. Available at: http://www.ijcnscs.org/published/volume4/issue6/p1_4-6.pdf
14. Yosefi Z., Ahmadi A. Investigating computer fraud in criminal justice system of Iran. *Cumhuriyet Science Journal*. 2015; 36(3):3556-3565. Available at: <http://dergi.cumhuriyet.edu.tr/cumuscij/article/view/5000130788>
15. Button M., McNaughton C., Kerr J. N., Owen R. Online frauds: learning from victims why they fall for these scams. *Australian & New Zealand Journal of Criminology*. 2014; 47(3):391-408. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0004865814521224>
16. Savagea D., Zhanga X., Yua X., Choua P., Wanga Q. Anomaly detection in online social networks. *Social Networks*. 2014; 39:62-70. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873314000331>
17. Terlutter R., Capella M. L. The gamification of advertising: analysis and research directions of in-game advertising, advergames, and advertising in social network games. *Journal of Advertising*. 2013; 42(2-3):95-112. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00913367.2013.774610>
18. Waiguny M. K. J., Nelson M. R., Terlutter R. Entertainment matters! The relationship between challenge and persuasiveness of an advergame for children. *Journal of Marketing Communications*. 2012; 18:69-89.
19. Li S., Peitz M., Zhao X. Information disclosure and consumer awareness // *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2016; 128:209-230. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268116300804>
20. Johnson J. P. Targeted advertising and advertising avoidance. *Journal of Economics*. 2013; 44(1):128-144. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1756-2171.12014/full>
21. Wang L., Wang M., Guo X., Qin X. Microblog sentiment orientation detection using user interactive relationship. *Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2016; 167-181. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7282913>
22. Wang B., Zhang J., Guo H., Zhang Y., Qiao X. Model study of information dissemination in microblog community networks. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2016; 331-354. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2016/8393016/abs>

23. Pellissier R., Nenzhelele T. E. Towards a universal competitive intelligence process model: original research. *South African Journal of Information Management*. 2013; 15(2):1-7. Available at: <http://www.sajim.co.za/index.php/SAJIM/article/view/567>
24. He W., Tian X., Chen Y., Chong D. Actionable social media competitive analytics for understanding customer experiences. *Journal of Computer Information Systems*. 2016; 56(2):145-155. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/08874417.2016.1117377>
25. Luu T. T. Competitive intelligence and other levers of brand performance. *Journal of Strategic Marketing*. 2013; 21(3):217-239. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0965254X.2013.765501>
26. Luu T. T. Organizational social capital as a moderator for the effect of entrepreneurial orientation on competitive intelligence. *Journal of Strategic Marketing*. 2015; 25(4):1-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0965254X.2015.1076884>
27. Tucker C. E. Social networks, personalized advertising, and privacy controls. *Journal of Marketing Research*. 2014; 51(5):546-562. DOI: <http://dx.doi.org/10.1509/jmr.10.0355>
28. Najafloo Y., Jedari B., Xia F. Safety Challenges and Solutions in Mobile Social Networks // *IEEE Systems Journal*. 2015; 9(3):834-854. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6642041>
29. Fire M., Goldschmidt R., Elovici Y. Online social networks: threats and solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2014; 16(4):2019-2036. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6809839>
30. Young A. L., Quan-Haase A. Privacy protection strategies on Facebook. *Information, Communication & Society*. 2013; 16(4):479-500. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1369118X.2013.777757>
31. Heatherly R., Kantarcioglu M., Thuraisingham B. Preventing private information inference attacks on social networks. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2013; 25(8):1849-1862. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/829c/bf93318b1e2917740b8d368f85fb922ba97f.pdf>
32. Tultaeva I. V., Kaptyukhin R. V., Tultaev T. A. [The impact of social networks on communication processes in modern society]. *Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa = Volgograd Institute of Business Bulletin*. 2014. № 4. S. 84-88. Available at: <http://vestnik.volbi.ru/upload/numbers/429/article-429-970.pdf> (In Russ.)
33. Nazarov A. N., Galushkin A. I., Sychev A. K. [Risk-models and criteria of information confrontation in social networks]. *T-Comm: Telekommunikatsii i Transport = T-Comm: Telecommunications and Transportation*. 2016; 10(7):81-86. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26528114> (In Russ.)
34. Fedorov P. [VKontakte ahead of Instagram by the number of registered users]. Available at: <http://siliconrus.com/2014/01/vkontakte-operezhaet-instagram-po-chislu-zaregistrirovannyih-polzovateley> (In Russ.)
35. [Eset: Accounts of social networks of 60 % of users of RuNet were hacked by hackers]. Available at: <http://www.securitylab.ru/news/442581.php> (In Russ.)
36. Bartula A., Koushen A., Roberts J. J., Bouen K. N. [An empirical test social information processing theory and emotions in violent situations]. *Aktualnyye problemy ekonomiki i prava = Actual Problems of Economics and Law*. 2017; 1:189-207. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/empiricheskaya-proverka-teorii-obrabotki-sotsialnoy-informatsii-i-vliyanie-emotsiy-v-situatsiyah-nasiliya> (In Russ.)

Submitted 15.03.2017; revised 24.04.2017; published online 14.06.2017

About the author:

Marina V. Tumbinskaya, Associate Professor of Information Security Systems Chair, Institute of Computer Technologies and Information Protection, Tupolev Kazan National Research Technical University (10 Karl Marks St., Kazan 420111, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3738-5242>, tumbinskaya@inbox.ru

The author have read and approved the final version of the manuscript.



Информация для авторов и читателей

1. Редакция журнала «Вестник Мордовского университета» принимает оригинальные научные статьи на русском и английском языках, соответствующие профилю Журнала и отражающие результаты теоретических и/или экспериментальных исследований авторов кандидатов и докторов наук, преподавателей и аспирантов по следующим направлениям:

- 01.04.00 Физика
- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление
- 05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем
- 14.01.00 Клиническая медицина
- 14.03.00 Медико-биологические науки

Не допускается направление в редакцию ранее опубликованных статей или статей, отправленных на публикацию в другие журналы. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий опубликованная статья будет ретрагирована (отозвана из печати). Мониторинг несанкционированного цитирования осуществляется с помощью систем «Антиплагиат» и «CrossCheck». Журнал приветствует статьи, содержащие материал о значительных достижениях в указанных направлениях.

2. Особое внимание следует уделить качеству перевода. Желательно, чтобы он был выполнен носителем английского языка.

3. Необходимо указать **УДК**.

4. **Заголовок статьи** должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. *Приводится на русском и английском языках.*

5. **Аннотация** (200–250 слов) выполняет функцию расширенного названия статьи и повествует о ее содержании. В ней должны быть четко обозначены следующие составные части:

- 1) Введение (Introduction);
- 2) Материалы и методы (Materials and Methods);
- 3) Результаты исследования (Results);
- 4) Обсуждение и заключения (Discussion and Conclusions).

Приводится на русском и английском языках.

6. **Ключевые слова** (5–10) являются поисковым образом научной статьи. В связи с этим они должны отражать основные положения, достижения, результаты, терминологию научного исследования. *Приводятся на русском и английском языках.*

7. **Благодарности.** В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам. *Приводятся на русском и английском языках.*

8. **Основной текст** статьи излагается на русском или английском языках.

1) Введение (1–2 стр.) – постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности.

2) Обзор литературы (1–2 стр.). Необходимо описать основные (последние по времени) исследования и публикации, на которые опирается автор; современные взгляды на проблему; трудности при разработке данной темы; выделение нерешенных вопросов в пределах общей проблемы, которым посвящена статья.

3) Материалы и методы (1–2 стр.). В данном разделе описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, использованная аппаратура; даются подробные сведения об объекте исследования; указывается последовательность выполнения исследования и обосновывается выбор используемых методов (наблюдение, опрос, тестирование, эксперимент, лабораторный опыт и т. д.).

4) Результаты исследования. Это основной раздел, цель которого – при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных



выводов. Также должно быть обосновано, почему для анализа были выбраны именно эти данные. **Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.**

5) Обсуждение и заключения. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области.

9. **Список использованных источников** (оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа Р 7.0.5–2008). Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 30–40 источников. Из них за последние 3 года – не менее 20, иностранных – не менее 15. Следует указать DOI или адрес доступа в сети Интернет. *Оформляется на русском и английском языках.*

10. **Аффилиация авторов.** Ф.И.О., организация(и), адрес организации(й) (требуется указать все места работы автора, в которых выполнялись исследования (постоянное место, место выполнения проекта и др.)), должность и ученое звание, ORCID ID, Researcher ID, электронная почта, телефон, почтовый адрес для отправки авторского экземпляра. *Приводится на русском и английском языках.*

11. **Вклад соавторов.** В конце рукописи необходимо включить примечания, в которых разъясняется фактический вклад каждого соавтора в выполненную работу. *Приводится на русском и английском языках.*

При подаче статьи в редакцию автор соглашается с положениями размещенного на сайте лицензионного договора.

В журнале «Вестник Мордовского университета» принято «двустороннее слепое» рецензирование (рецензент и автор не знают имен друг друга).

Рецензент на основании анализа статьи принимает решение или о рекомендации ее к публикации (без доработки или с доработкой), или о ее отклонении. В случае несогласия автора статьи с замечаниями рецензента его мотивированное заявление рассматривается редакционной коллегией.

Политика редакционной коллегии журнала базируется на современных юридических требованиях в отношении клеветы, авторского права, законности и плагиата, поддерживает Кодекс этики научных публикаций, сформулированный Комитетом по этике научных публикаций, и строится с учетом этических норм работы редакторов и издателей, закрепленных в Кодексе поведения и руководящих принципах наилучшей практики для редактора журнала и Кодексе поведения для издателя журнала, разработанных Комитетом по публикационной этике (COPE).

Допускается свободное воспроизведение материалов журнала в личных целях и свободное использование в информационных, научных, учебных и культурных целях в соответствии со ст. 1273 и 1274 гл. 70 ч. IV Гражданского кодекса РФ. Иные виды использования возможны только после заключения соответствующих письменных соглашений с правообладателем.

Электронные версии статей размещаются на сайте Научной электронной библиотеки. Журнал распространяется по подписке, заявкам высших учебных заведений, учреждений образования и отдельных лиц, а также путем рассылки номеров наложенным платежом.

Вдовин Сергей Михайлович – главный редактор. Тел.: +7 (8342) 24-48-88.

Полутин Сергей Викторович – заместитель главного редактора. Тел.: +7 (8342) 32-81-57.

Гордина Светлана Викторовна – ответственный секретарь. Тел.: +7 (8342) 48-14-24.

Редактор – Л. А. Пудовкина

Перевод С. В. Голованова, Н. Н. Плеханковой

Компьютерная верстка А. С. Полутина

Информационная поддержка Р. В. Карасева

Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

Подписано в печать 29.05.2017 г. Дата выхода в свет 30.06.2017 г.

Формат 70 × 100 1/16. Усл. печ. л. 12,03.

Тираж 1 000 экз. 1 завод – 250 экз. Заказ № 703. Свободная цена.

Отпечатано в типографии Издательства Мордовского университета
430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Советская, 24



Information for authors and readers of the journal

1. "Mordovia University Bulletin" accepts scholarly articles and debatable academic materials in Russian, English from holders of the following degrees: Ph.D., Dr.Sci., lecturer, postgraduate student. Articles should conform to the subject of the journal and report on the results of theoretical and/or experimental studies of the authors.

The journal covers the following specialties:

01.04.00 Physics

05.13.00 Computer Science, Computer Engineering and Computer Facilities and Management

05.20.00 Agroengineering System Processes and Machines

14.01.00 Clinical Medicine

14.03.00 Medical and Biological Sciences

Submission of a manuscript implies that the work described has not been published previously. In the case of simultaneous submission of manuscripts to several journals, the published article may later be retracted (i.e. withdrawn from the press). Monitoring of unauthorized citations is provided by services "AntiPlagiat" and "CrossCheck". The journal gives preference to the articles with containing significant advances in considered areas of science.

2. If you translate your text into English, please do so in correct English (either American or British usage is accepted, but not a mixture of both).

3. It is necessary to indicate the **UDC** code.

4. The title of the article should be short and informative (less than 10 words) and should convey your essential points clearly.

The title is to be provided in Russian and English.

5. **The abstract** plays a role of an enhanced title. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions (200-250 words). It consists of 4 distinct parts:

1) Introduction

2) Materials and Methods

3) Results

4) Discussion and Conclusions

The abstract is to be provided in Russian and English.

6. The structure of the paper should contain the **list of keywords** (5–10 words) *in Russian and English*. They should reflect basic statements, results achieved and the terminology of the investigation.

7. **Acknowledgements:** List in this section those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.). *The acknowledgements are to be provided in Russian and English.*

8. **The main body** of the article should be presented in Russian or in English.

1) Introduction (1-2 pp.) is the challenge of the problem treated, its relevance, its connection with the chief tasks to be solved, its importance for the development of a definite area of science or for practical activity.

2) Literature review (1-2 pp.): It is necessary to describe the recent principal studies and publications relied upon by the author; modern views on the issue; difficulties in the development of the subject; the allotment of the outstanding issues within the general problem of the article.

3) Materials and methods (1-2 pp.): This section describes the process of the experiment, using techniques and equipment; provides detailed information about the target of research; indicates the sequence of research and justifies the choice of methods used (observation, survey, test, experiment, laboratory experience, analysis, modeling, learning and generalization, etc).

4) Results: In this section should be presented systematic analytical and statistical material. The research results should be described adequately, so that the reader can trace the process and assess the validity of the conclusions made by the author. This is the main section, which aims to prove a working hypothesis (or hypotheses) by analysis, synthesis and data clarification. All titles, signatures, and structural elements of graphs, tables, charts etc. should be in Russian and in English.

5) Discussion and conclusion: The conclusion must contain a brief summary of research results. The main points of the work must be repeated. It is better to present any repetition of the material with new formulations. It is necessary to compare the results with the target, indicated at the beginning of the article. In conclusion, the results are to be summarized from a theoretical and practical point of view; the main directions for further research are indicated in this area.

9. **Bibliography:** The bibliography should be drawn up strictly according to the GOST P 7.0.5-2008 and in uniform format (*in Russian and English*).

It would be desirable to refer to papers published in indexed journals with impact factor.

It is advisable to refer to 30-40 sources (at least 20-30 recent sources).



Citations of articles published in "Mordovia University Bulletin" should include author, title, volume number, year, and page number, DOI and/or URL.

The bibliography is to be provided in Russian and English.

10. **Institutional affiliation of authors:** Last name, first name, the name of the institution, the address of the institution, the place where the project occurred, the position and academic title of the author, ORCID ID, Researcher ID, e-mail, phone, postal address for delivery of obligatory copy (*in Russian and in English*).

11. **Authors' contributions.** At the end of the manuscript, authors should explain in the notes the actual contribution of each collaborator in the work performed. The order of the authors and co-authors of the article must be consistent in itself (*in Russian and in English*).

The author agrees to the terms of the enclosed license agreement by submission of the article.

The journal has adopted a "double blind" reviewing (reviewer and author are not familiar with each other).

A reviewer analyses an article and decides recommending it for publication (after revision of without it), additional reviewing or refusing of it. In case of noncompliance of an author with the comment of a reviewer, they can address a motivated statement to editorial council.

Editorial staff's policy is based on modern legal requirements concerning libel, copyright, legitimacy, plagiarism, ethical principles, kept in community of leading scientific issues publishers. Journal's editorial policy is based upon traditional ethical principles of Russian academic periodicals; it supports Academic Periodicals Ethical Codex, stated by Committee on Publication Ethics (Russia, Moscow) and it is formed in account of standards of ethics of editors' and publishers' work confirmed by Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors and Code of Conduct for Journal Publishers, developed by Committee on Publication Ethics (COPE).

Free reproduction of journal's material is allowed for personal purposes. Free use is permitted for informational, academic, educational and cultural purposes in compliance of paragraphs 1273 and 1274 of chapter 70, part IV of Civil Codex of Russia. Other types of use are possible only after making agreements in writing with copyright holder.

Electronic copies of the journal with full text of the articles in PDF are in free access at the website of Academic Electronic Library. The journal is distributed by subscription, requests of universities, educational institutions and individuals and pay-on-delivery mailing.

Sergey M. Vdovin – Editor in Chief. Tel.: +7 (8342) 24-48-88.

Sergey V. Polutin – Deputy Editor in Chief. Tel.: +7 (8342) 32-81-57.

Svetlana V. Gordina – Executive Editor. Tel.: +7 (8342) 48-14-24.

Editor *L. A. Pudovkina*

Translation *S. V. Golovanov, N. N. Plekhankova*

Desktop publishing *A. S. Polutin*

Informational support *R. V. Karasev*

Distributed in Russian Federation and foreign countries.

Signed to print 29.05.17. Date of publishing 30.06.17.

Sheet size 70 × 100 ^{1/16}. Conventional printed sheets 12,03.

Number of copies 1 000. Factory 1 – 250 copies. Order no. 703. Free price.

Publishing House of Mordovia State University
24 Sovetskaya St., Saransk 430005, Republic of Mordovia